

Вершинская М.Е., В.В. Шабанов, В.Н. Маркин

ЭКОЛОГО-ВОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВОДНЫХ СИСТЕМ



Москва 2016

ФГБОУ ВО РГАУ МСХА им. К.А.ТИМИРЯЗЕВА
ИНСТИТУТ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА им. А.Н. КОСТЯКОВА

М.Е. Вершинская, В.В. Шабанов, В.Н. Маркин

ЭКОЛОГО-ВОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВОДНЫХ СИСТЕМ

МОНОГРАФИЯ

Москва
Издательство РГАУ – МСХА
2016

УДК 628.1,504.064.2.001.18

ББК 31.5

Вершинская М.Е., Шабанов В.В., Маркин В.Н. Эколого-водохозяйственная оценка водных систем: Монография / М.Е. Вершинская, В.В. Шабанов, В.Н. Маркин. – М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2016. – с.148.

В монографии рассматриваются вопросы экологической и водохозяйственной оценки водных объектов и их водосборных площадей, как единых систем.

Экологическая оценка водосбора сделан на основе анализа потенциала активности самоочищения почвенного покрова. Это определяет опасность загрязнения водного объекта со стороны диффузных стоков.

Оценка водного объекта основана на взаимосвязи гидрологических, химических и биологических параметров, характеризующих состояние гидробионтов и среды их обитания.

Дано обоснование и примеры оценки системы «водосбор – река» для условий бассейна реки Иртыш.

In the monograph questions of an ecological and water management assessment of water objects and their catchment, as indivisible system are considered.

The ecological assessment of a catchment is made with the help of an analysis of self-purification activity potential of a soil cover. It defines danger of water object pollution by diffusion drains.

The assessment of water object is based on a relationship of hydrological, chemical and biological parameters characterizing a condition of water organisms and their environment.

An assessment of the system "catchment – water object" for Irtysh basin is given.

Фотография на обложке из сайта

http://pravdaurfo.ru/sites/default/files/1300491593_ladybower-1.jpg

Таб. 40, ил. 60. Библиогр. назв. 26

ISBN

©Вершинская М.Е., Шабанов В.В., Маркин В.Н.
©Издательство РГАУ-МСХА, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	6
ВВЕДЕНИЕ	12
1. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ «ВОДОСБОР – РЕКА»	16
1.1 Основные методические положения оценки самоочищения/загрязнения водосбора реки	16
1.2 Природные факторы формирования почвенно-геохимических условий в бассейне р. Иртыш	20
1.2.1 Формирование климата.....	21
1.2.2 Особенности почвенного покрова	22
1.2.3 Особенности рельефа	24
1.2.4 Болота – как биогеохимический барьер.....	27
1.3 Характеристика почвенно-геохимических районов бассейна р. Иртыш	28
1.3.1 Предгорная пролювиальная равнина Северного Урала (почвенно- геохимический район 1).....	29
1.3.2. Сосьво -Тавдинское плато (почвенно-геохимический район 2)....	30
1.3.3. Зауральское плато (почвенно-геохимический район 2).....	31
1.3.4. Туринская низменность (почвенно-геохимический район 3).....	34
1.3.5 Ишимская равнина (почвенно-геохимический район 3).....	36
1. 3.6. Кондинская низменность (почвенно-геохимический район 4)	40
1.3.7. Среднеобская низменность (Имгытское болото). Почвенно- геохимические районы 4.2.1; 4.2.2	43
1.3.8. Тобол-Иртышская низменность (почвенно-геохимический район 4.3.1).....	44
1.3.9. Барабинская низменность (почвенно-геохимическая равнины 4.4.1; 4.4.2; 4.4.3).....	46
2. ЭКОЛОГО-ВОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ	50
3. ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БАССЕЙНА р. ИРТЫШ	66
3.1 Эколого-водохозяйственная оценка реки Иртыш	67

3.2 Эколого-водохозяйственная оценка реки Ишим.....	72
3.3 ЭКОЛОГО-ВОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РЕКИ ТОБОЛ	76
3.4 Эколого-водохозяйственная оценка реки Тура	82
3.5 Эколого-водохозяйственная оценка реки Исеть	84
3.6 Эколого-водохозяйственная оценка притоков главных рек	87
4. ВОДООХРАННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	92
4.1 Источники загрязнения реки Иртыш.....	93
4.2 Формирование системы уравнений для расчета изменения загрязненности речной воды	94
4.3 Оценка эффективности водоохранных мероприятий с учетом места их проведения, для года обеспеченностью 95%	95
4.4 Оценка требуемой эффективности водоохранных мероприятий с учетом места их проведения. Река Тобол.....	96
4.5 Оценка требуемой эффективности водоохранных мероприятий с учетом места их проведения. Река Исеть	99
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОГО ОБЪЕМА ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ ИЗ РЕКИ.....	101
6.МЕТОДИКА ЭКОЛОГО-ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	122
7. ПРИМЕРЫ ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ЭКОЛОГО- ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ.....	126
7.1 Определение значений показателя загрязненности воды	126
7.2 Построение кривой обеспеченности коэффициентов $K_{пз}$	127
8. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ В MICROSOFT EXCEL	130
8.1 Определение коэффициента предельной загрязненности воды ($K_{пз}$)	130
8.2 Построение кривой обеспеченности коэффициентов предельной загрязненности.....	133
8.3 Пример обоснования водоохранных мероприятий по данным о загрязненности и объемах сточных вод.....	136
8.4 Вариант определения состояния экосистемы	144
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	146

ПРЕДИСЛОВИЕ

Возрастающее значение водных ресурсов для всего мира стало уже очевидным. Несмотря на громадные водные ресурсы нашей страны, опасность возникновения дефицита чистой (качественной) воды в ближайшем будущем может грозить и России. Специалисты сходятся на том, что основное внимание необходимо уделять управлению качеством вод. Государственной системой управления водными ресурсами предпринимаются определенные шаги в этом направлении. Это стимулирование уменьшения водопотребления, путем изменения технологий добычи, транспортировки и использования воды.

Однако все эти попытки пока не привели к желаемым результатам, особенно в районах с развитой хозяйственной деятельностью. Одной из причин такого положения является управление, в основном, количеством водных ресурсов. Управление качеством происходит либо путем ужесточения предельных нормативов, широко используя, например, рыбохозяйственные нормы, либо вообще отказом от управления качеством через неявное разрешение сброса неочищенных вод.

Опасностью для качества вод может оказаться прогнозируемое изменение климата, связанное с изменением количества атмосферных осадков и испарения. В частности, это приведет к проблемам в сельском хозяйстве, особенно в таком водоемком производстве, как орошаемое земледелие. Увеличение водопотребления, в ряде случаев, может отрицательно сказаться на качестве природных водных ресурсов.

Кардинально улучшить качество вод возможно лишь в том случае, если сохранить биоту водного объекта. Тогда, при определенных условиях, возможно «самоочищение» воды и улучшение ее качества. Для этого необходимо знать состояние биоты - ее «здоровье».

В последние годы начал широко использоваться метод биоиндикации особенно по низшим трофическим уровням. Этот метод основан на том, что водные организмы реагируют на изменение условий среды изменением численности и видового состава. Метод очень чувствителен к изменениям в окружающей среде – смена сообщества водорослей может произойти в течение короткого времени (Баринова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. ВНИИприроды). Методы биоиндикации по высшему трофическому звену разработаны еще недостаточно. Хотя есть много попыток сопоставить среду и биоту, но единой системы пока не создано. Кроме того, эти методы применимы скорее для оперативного мониторинга, но не для прогноза состояния водного объекта в перспективе.

В настоящее время существует ряд методик, которые частично определяют состояние биоты, но методики, устанавливающие всестороннюю характеристику «здоровья», и, следовательно, способности к самоочищению, всей водной экосистемы в целом, не доступны из-за своей трудоемкости. Недоступность методик обусловлена, в основном, тем, что, для многих из них, необходимы многолетние натурные эксперименты, которые не могут быть поставлены на ранних этапах планирования водохозяйственной деятельности. Например, в рамках процесса получения информации при создании Схем комплексного использования и охраны водных ресурсов. Кроме того, при планировании деятельности в пределах водосбора водного объекта необходимо «увязывать» состояние водосбора с качеством вод. Следует иметь в виду, что части водосбора, которые имеют хорошую способность к «самоочищению», могут отрицательно влиять на качество вод, так как вещество, сброшенное на поверхность водосбора не депонируется, а транспортируется, с некоторой задержкой в водный объект.

В том случае, если водосбор способен задерживать (депонировать) загрязнения на биогеохимическом барьере, водный объект может на определенное время быть защищенным от них, но до тех пор, пока емкость барьера не будет превышена, и тогда может произойти «массовый выброс» с водосбора в водный объект.

Как любое катастрофическое явление, момент «массового выброса» достаточно сложно прогнозируется. К этому аспекту нужно относиться с наибольшим вниманием.

Для разработки адекватных методов управления количеством и качеством водных ресурсов бассейна реки, необходимо создать методику оценки эколого-водохозяйственного состояния водного объекта с учетом состояния водосбора. Поэтому нужно рассматривать не только водный объект, но и водосбор в процессе их взаимодействия.

В данной работе принято, что водный объект и его водосбор, при выработке количественных показателей, нужно рассматривать как единое целое – **водную систему. Под водной системой понимается генетическая общность водосбора и водного объекта с взаимодействующими экосистемами.**

Функционирование этих экосистем количественно определяется рядом показателей, которые характеризуют прямо или косвенно устойчивость экосистемы и возможность самоочищения водного объекта от загрязнения.

Достаточно сложным и новым вопросом является прогноз качества вод при изменении климата, так как все водохозяйственные расчеты делаются на данных прошлых лет, то и результаты расчетов качества вод и состояния водной экосистемы делаются лишь для существующих в настоящее время условий.

Исходя из сказанного выше при разработке раздела «Оценка эколого-водохозяйственного состояния водной системы» в рамках Схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов на примере бассейна реки Иртыш необходимо было решить следующие задачи:

- описать водную систему бассейна реки Иртыш как генетическую общность водосбора и водного объекта;
- определить показатели экологического состояния водного объекта и выбрать из них наиболее подходящие для данной задачи (схемный этап планирования управления водными ресурсами);
- рассмотреть широкий спектр изменения условий внешней среды через стохастичность процессов и отразить их в структуре показателей;
- при разработке или модификации показателей оценки эколого – водохозяйственного состояния осуществить «преемственность» показателей - переход от одних к другим.

Показатели эколого - водохозяйственного состояния водной системы могут быть использованы для планирования водохозяйственной или иной деятельности в пределах бассейна, например при составлении Схем КИОВР, разработки ОВОС, разработки мероприятий по сохранению биоразнообразия или экосистемы в целом, разработке планов Интегрированного Управления Водными Ресурсами (ИУВР) и др.

Структура показателей должна исходить из имеющейся, на каждом периоде планирования деятельности, информации. Из этого следует, что на этапе планирования (проектирования) деятельности нельзя требовать широкого использования прямых экологических характеристик. Во-первых, потому что для бассейнов больших рек их может просто не быть, а во-вторых, эти характеристики очень динамичны и их значения не всегда могут отражать состояние водного объекта в многолетнем разрезе, что необходимо для долгосрочного планирования. Таким образом, показатель «оценки эколого-водохозяйственного состояния» должен обладать следующими свойствами:

- быть информационно доступным,
- обеспечить быстроту расчетов вариантов,
- быть информационно достаточным на данном этапе планирования деятельности.

Для выбора такого показателя в работе был проведен сравнительный анализ многих показателей и определена их совместимость (преемственность).

Преимущества предлагаемого подхода заключаются в том, что для оценки эколого – водохозяйственного состояния водного объект в бассейне реки можно использовать информацию водохозяйственного баланса и объемов сбрасываемых загрязняющих веществ, т.е. ту информацию, которая доступна на стадии разработки Схемы комплексно использования.

На основании предлагаемого подхода были разработаны основные методические положения и **создана Методика оценки состояния водных объектов по показателю кратности сверхнормативного загрязнения.** Методика была проверена на данных реки Исеть. Далее была проведена оценка состояния водных объектов в бассейне р.Иртыш по створам расположенным как на самом Иртыше, так и на притоках (Ишим, Тобол, Тура, Тагил, Тавда, Вагай). Было рассмотрено изменение загрязненности речной воды в многолетнем разрезе и выполнена оценка требуемой эффективности водоохранных мероприятий для доведения класса качества воды в реке Иртыш до состояния «чистая».

Результаты представлены в виде кривых распределения индекса Шеннона, т.е. характеристики изменения показателя экологического разнообразия в зависимости от водности года.

Что необходимо еще сделать:

- создать систему расчета качества вод и состояния водной экосистемы при изменении климата, с учетом изменений, которые будут происходить и в наземной экосистеме;
- разработать динамическую базу данных для поддержки принятия решений при составлении Схем КИОВР с использованием ГИС-технологий
- провести исследования по сопряжению экологических и водохозяйственных показателей.

- подготовить к утверждению Методику эколого-водохозяйственной оценки водных систем;
- продолжить разработку разделов Эколого-водохозяйственной оценки в бассейновых схемах КИОВР.

ВВЕДЕНИЕ

Река это продукт климата и водосборной площади, на которой под влиянием природных и антропогенных факторов формируется количественный и качественный состав стока. Выпадение дождей и таяние снега приводит к образованию поверхностного и подземного стока. Проходя по территории водосбора, он подвергается воздействиям со стороны почв, растительности, рельефа, условий использования земель и других факторов. Поэтому состояние водного объекта зависит от состояния водосборной площади, что определяется через конкретные гидрологические, физико-химические и биологические параметры.

В отношении некоторых параметров выявлены достоверные связи. Например, зависимость относительной численности видов водных организмов (N) от площади водосбора (F) [Алимов, 2003] (рис. 1).

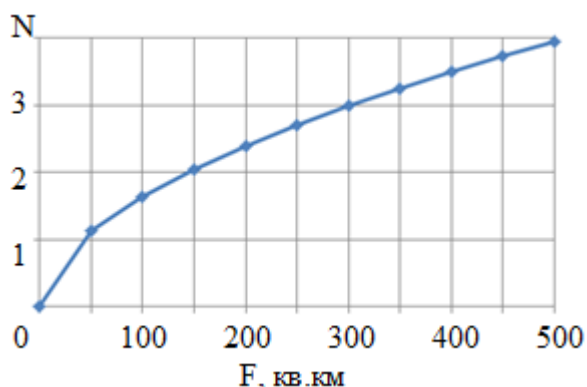


Рис. 1. Изменение показателя численности видов рыб (N) в зависимости от площади водосбора (F)

Потоки воды, проходящие по водосборной площади, выносят все «лишнее» в реки, которые исполняют роль выводящей системы. Таким образом, осуществляется самоочищение водосборов. Потенциал самоочищения, тем выше, чем больше веществ выносятся с территории в водный объект, что в свою очередь усиливает отрицательное влияние на водный объект.

Фоновое качество воды в естественных условиях практически полностью (за исключением питания со стороны межпластовых подземных горизонтов) определяется стоками, поступающими с поверхностного водосбора (рис. 2).

Наблюдается равновесие между наземными и водными объектами, которое должно проявляться и через определенную сбалансированность между самоочищением водосборов и водных объектов. Чем выше естественный потенциал самоочищения водосборов, тем выше должна быть способность к самоочищению у водных объектов.

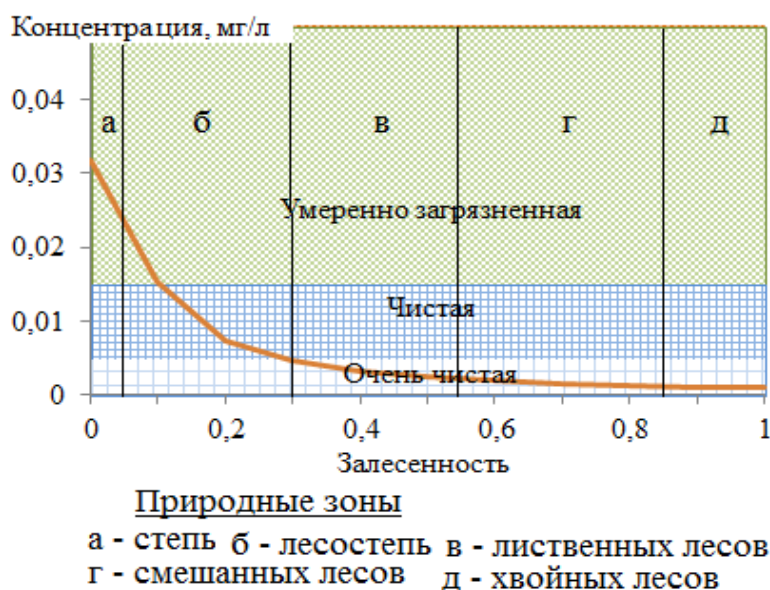


Рис. 2. Изменение фоновой концентраций фосфора в зависимости от залесенности водосбора (результаты модельного расчета)

Антропогенная деятельность, связанная с освоением природных ресурсов, прямо или косвенно влияет на речной сток и тем самым нарушает сложившееся равновесие в системе «водосбор-река».

Прямое влияние оказывают стоки, поступающие от промышленности, коммунального хозяйства и других сосредоточенных источников. Косвенное влияние связано с действием рассредоточенных (площадных) стоков, поступающих с сельскохозяйственных, урбанизированных и других, не канализованных территорий. Их действие проявляется через изменение условий формирования стока на водосборной площади, что способствует загрязнению почв (особенно при низком потенциале самоочищения

водосборов) и загрязнению рек (при высоком потенциале самоочищения водосборов). Это нарушает равновесие в водной системе.

Существенное влияние антропогенной деятельности приводит к снижению роли природных факторов в формировании гидрохимического режима водных объектов. Таким образом, в практике использования и охраны водных объектов необходимо учитывать состояние природно-техногенной системы «водосбор-река», с действующими в ней природными и антропогенными факторами. Это требует специальных подходов к оценке экологического состояния водных объектов и их водосборов.

Проблемы, связанные с охраной природных вод и восстановлением устойчивого экологического состояния водных объектов, относятся к числу наиболее актуальных (рис.3). Для решения задач охраны и восстановления водных объектов, рационального использования водных ресурсов требуются большие объемы информации гидрологического, гидрохимического и гидробиологического характера. Информационное обеспечение осуществляется в рамках системы мониторинга водных объектов. В Концепции федеральной целевой программы "Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах" принято, что одним из определяющих направлений является совершенствование системы государственного мониторинга водных объектов. Решению данной задачи, в отношении оценки состояния системы «водосбор – река» и посвящена данная работа.

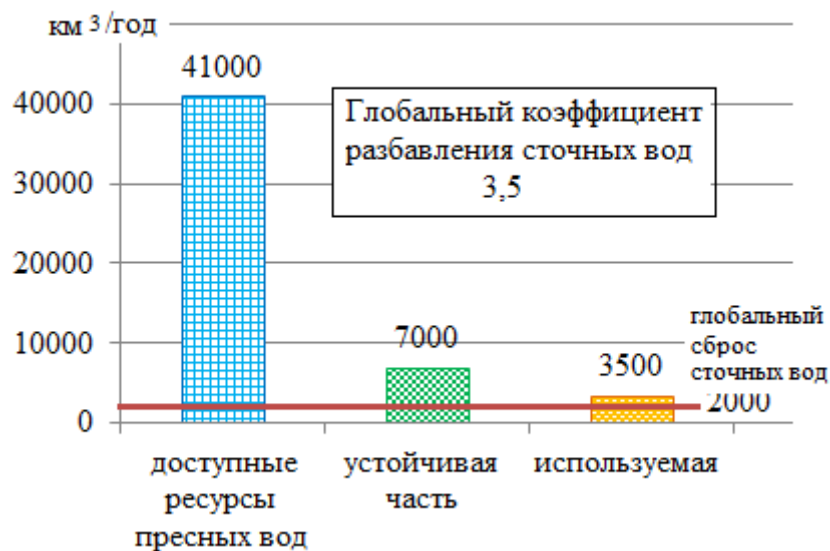


Рис.3. Соотношение запасов пресной воды на Земле и объема сброса сточных вод [Данилов-Данильян В.И. и др. Потребление воды: экологический, экономический, социальный и политический аспекты. М.: Наука, 2006. - 221 с.]

1. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ

«ВОДОСБОР – РЕКА»

1.1 Основные методические положения оценки самоочищения/загрязнения водосбора реки

Интегральной экологической оценкой процессов и явлений, возникающих при техногенном загрязнении природной среды на водосборных площадях водных объектов, служит **потенциал самоочищения**, т.е. **устойчивость среды к воздействиям**. В количественном выражении потенциал позволяет установить степень влияния водосборных площадей на формирование эколого - водохозяйственного состояния водных объектов. Методическое решение данной задачи осуществляется эмпирически, но с использованием фундаментальных понятий и принципов, разработанных в геохимии ландшафтов. В этом случае используется одно из центральных теоретических понятий – **структурная организация природных систем, включающих анализ радиальной (вертикальной) и латеральной геохимической дифференциации миграционных потоков, внутрисистемных и межсистемных связей** [Полынов, 1956; Перельман, 1975; Глазовская 1976, 1981, 1988; Добровольский, 1983; Аржанова, Елпатьевский, 1990].

Экологическое состояние водного объекта (без учета прямого техногенного влияния на него) определяется двумя разнонаправленными факторами:

- способностью природной среды снижать вынос загрязняющих веществ в водные объекты;
- способностью выноса с водосбора (радиальными и латеральными потоковыми структурами) избыточного объема вод совместно с поллютантами (*веществами антропогенного происхождения загрязняющие окружающую среду*) в водные объекты.

Таким образом, в определении потенциала активности самоочищения природной среды на водосборных площадях и влиянии их на экологическое состояние водного объекта существует дуализм. Поэтому решаются два основных вопроса, связанных с разнонаправленностью процессов [Вершинская, Шабанова, Маркин, 2008].

- ✓ Определение потенциала депонирования поллютантов, т.е. возможности и активности закрепления, в природной среде водосборной площади, поступающих продуктов техногенеза (*процесса трансформации окружающей среды под действием технической деятельности человека*).
- ✓ Определение потоков независимых и зависимых мигрантов, и степени активности их функционирования в природной среде водосборных площадей.

Из всех природных компонентов почва обладает наивысшими показателями депонирования загрязнителей. Менее энергично эти же функции выполняют минеральные субстраты почвообразующих и подстилающих пород.

Почвенное тело – это система упорядоченных генетических горизонтов, имеющих различия не только в показателях активности поверхности, но и в ее сложении. В разных генетических горизонтах характер и уровень взаимодействия загрязнителей с почвенной массой меняются неоднозначно. Данное свойство почв может оказать влияние на увеличение или снижение показателей потенциала депонирования загрязнителей. Почвы являются фильтром (биогеохимическим барьером) на пути движения поллютантов, и средой, где осуществляется их физико-химическая и микробиологическая деструкция. Далее, происходит перенос и рассеивание загрязнителей и их продуктов распада, как по радиальным, так и латеральным внутрипочвенным направлениям потоков.

Активность депонирования зависит от внутренних факторов. К ним относятся: показатели активной поверхности компонентов почвенно-грунтовой массы, ее структурная организация (трещиноватость, плотность, характер

упаковки почвенных агрегатов и т.д.), емкость почвенно-поглощающего комплекса, кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия, ботанический состав растений, степень разложения органической массы.

Повышенный потенциал депонирования загрязнителей увеличивает опасность накопления в природной среде (почве) токсичных продуктов и, одновременно, способствует защите водных объектов от загрязнения.

Потенциал активности функционирования миграционных потоков обусловлен многими процессами, к которым относятся:

- разбавление поллютантов и продуктов их распада;
- перераспределение их в пространстве и во времени;
- вынос за пределы рассматриваемого объекта.

Именно эти процессы и участвующие в них потоки принимают на себя функции очищения природной среды водосборов с последующими процессами удаления избыточных объемов вод и содержащихся в них загрязнителями за пределы водосборной площади.

Структура миграционных потоков складывается из радиальных и латеральных внутрипочвенных потоков, а также латеральных, функционирующих на поверхности водосборной площади. Суммарная активность структурных элементов миграционных потоков, зависит от наличия или отсутствия миграционной фазы, т.е. воды, обусловленной атмосферными осадками и другими типами водного питания водосборных площадей. В то же время каждый тип миграционных потоков определяется следующими факторами.

1. Спецификой радиального перемещения поллютантов, которая зависит от гравитации, порового пространства, биогеохимических барьеров в профиле почв и т.д. Процессы радиальной миграции зависимых и независимых мигрантов осложняются наличием в почвах экранирующих (запирающих) геохимических барьеров, переводящих радиальные потоки в латеральные внутрипочвенные, которые могут выйти на поверхность. Отсутствие экранирующих барьеров в почвенном профиле резко увеличивает вероятность поступления загрязнителей в грунтовые воды с последующим возможным их выносом в поверхностные водные объекты. Тем самым экологическое воздействие переносится с водосборной площади на водные объекты. Резкая смена почв определяется контрастностью их латеральных геохимических барьеров, что значительно снижает возможности самоочищения водосборных площадей.
2. Движением миграционных потоков по поверхности водосборной площади, которые происходят по латеральным каналам связей. Каналы формируются в той морфогенетической структуре, которая характерна для водных бассейнов, в данной климатической зоне. Возможность и активность латерального перемещения прямо связана с такими факторами, как: морфометрические показатели водосборов; наличие латеральных каналов связей (их направлением, величиной углов схождения и расхождения потоков); биоклиматическая зона. Латеральные миграционные потоки это естественные дренажные системы водосборной площади. Их генетическое назначение в водной системе - удаление избыточных масс воды с целью поддержания гомеостаза (*способность открытой системы сохранять свое внутреннее состояние посредством реакций направленных на поддержание динамического равновесия*) не только в системе, но и во всех ее элементах и компонентах. Гомеостаз определяет структурный уровень организации водного бассейна, который может измениться только при изменении внешних природных факторов

или техногенного вмешательства. Любое техногенное вмешательство в структуру поверхностных миграционных каналов на водосборной площади влечет за собой прямую и обратную цепную реакцию экологических нарушений природной среды водосбора, а значит и в транс аккумулятивном водном объекте.

3. Наличием гравитационных связей между водными объектами водосборной площади. Каждый водоток водосборной площади находится в едином гравитационном поле с другими водотоками бассейна. Эти связи объединяют их между собой в единую геохимическую катену (*катена -закономерная последовательность расположения на склонах или вокруг водоемов элементарных комплексов, например элементарных ландшафтов, биогеоценозов*), обладающую информацией об экологическом состоянии всей природной среды бассейна и наоборот, имея данные об экологическом состоянии водотока (без учета прямого техногенного воздействия) и, зная характеристики процессов самоочищения водосборной площади, можно судить о её устойчивости к техногенным воздействиям. При этом необходимо учитывать, что в самом водотоке также происходят некоторые процессы самоочищения.

На основании данных методических положений была составлена карта эколого-водохозяйственной оценки водных объектов и водосборных площадей бассейна р. Иртыш, которая вошла в схему КИОВР.

1.2 Природные факторы формирования почвенно-геохимических условий в бассейне р. Иртыш

Территория бассейна р. Иртыш в пределах Российской Федерации расположена в юго-западной части Западно-Сибирской низменной равнины. Границей западного крыла бассейна служит водораздел Южного и Среднего Урала. На севере граница проходит по водоразделу нижнего (положительной морфоструктуры) – Сосьвинско-Тавдинского плато. На севере и северо-востоке границей бассейна является водораздел между Среднеобской низменностью и

Васюганским плато. На юго-востоке она проходит по северной части Барабинской низменности, а на юге по Ишимской равнине рис.1.1.1.

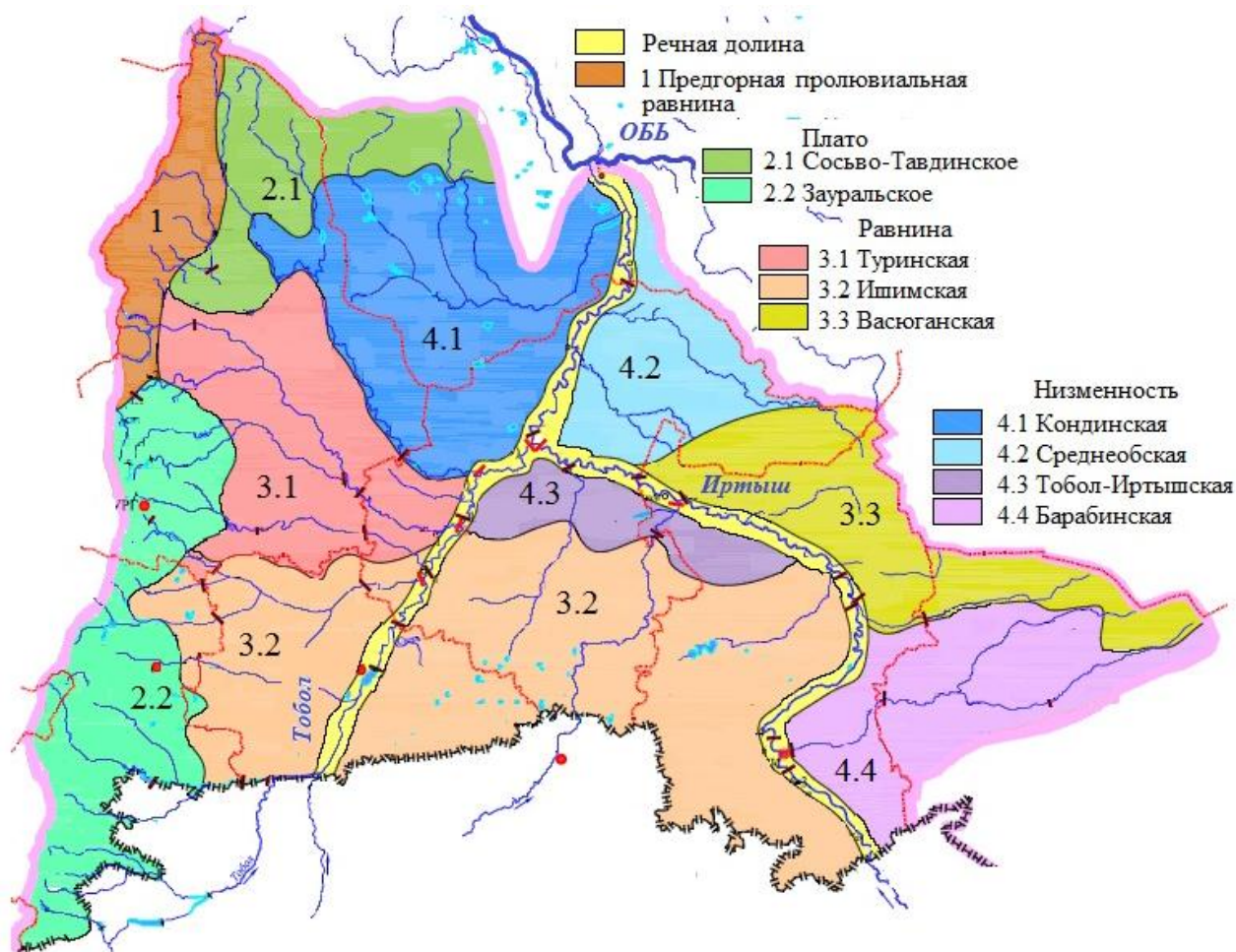


Рис.1.1. Схема бассейна реки Иртыш в пределах Российской Федерации

1.2.1 Формирование климата

Формирование климата бассейна р. Иртыш зависит в первую очередь, от его зонально-регионального местоположения.

- Объект расположен в умеренных широтах. Удален и закрыт от проникновения воздушных масс с океанов, что определяет его континентальность.
- Равнинный характер территории, обуславливает проникновение холодного воздуха с севера на юг и теплого в обратном направлении, из Казахстана и Средней Азии;

–Трансформация влажных воздушных масс атлантического происхождения в континентальные из-за горного обрамления территории бассейна с запада, обуславливает некоторое снижение осадков.

Важнейшими чертами климата являются:

- континентальность;
- неустойчивость тепло и влаго ресурсов, как в многолетнем, так и годовом разрезе;
- изменчивость погодных условий, проявляющаяся в наступлении поздних весенних и ранних осенних заморозков;
- возникновение горячих суховеев летом и резкий переход зимой от метелей к тихой морозной погоде.

Местные климатические различия формируются за счет строения рельефа внутренних частей бассейна и характера его подстилающей поверхности, что имеет отражение в своеобразии почвенно-климатических условий. Геохимические процессы, происходящие в природной среде, обусловлены, прежде всего: температурным режимом воздуха, свойствами почвенно-грунтовой толщи, наличием воды и ее возможности активного функционирования. Ниже приводятся основные климатические показатели за теплый период времени (Табл. 1.1).

1.2.2 Особенности почвенного покрова

Согласно биоклиматическим данным в почвенном покрове бассейна р. Иртыш регистрируются две почвенно-климатические фации (*фация – элементарная неделимая географическая единица, т.е. однородный комплекс*): холодные, длительно промерзающие почвы таежно-лесной области и умеренные длительно-промерзающие почвы лесостепной и степной области.

В тепловом режиме почв существенную роль играют сроки формирования устойчивого снежного покрова и его мощность. В тоже время изменчивость погодных условий, проявляющаяся в ранних осенних заморозках и резких

переходах зимой от тихой морозной погоды к метелям, создают предпосылки потери почвами тепла осенью и зимой из-за перераспределения снега по формам мезорельефа.

Таблица 1.1

Основные показатели климата за теплый период года

Природные зоны и подзоны	Агроклиматическая зона	Радиационный баланс, ккал/см ² (V-VIII)	$\Sigma t \geq 10^0$	Испаряемость (мм)	Атмосферные осадки (мм)	ГТК	$K_{увл.}^*$
Средняя тайга	Прохладная избыточного естественного увлажнения, влажная	17-19	>1600	300-400	500-550	>1,4	2,0
Южная тайга		19-21	1600-1700	400-450	550-500	1,4-1,3	2,0-1,6
Подтайга	Умеренно прохладная избыточного увлажнения	21-23	1700-1800	450-500	500-450	1,3-1,2	1,6-1,4
Лесостепь	Умеренно прохладная достаточного увлажнения	23-24,5	1800-1900	500-550	450-400	1,2-1,0	1,4-1,1
Северная часть степи	Умеренно теплая недостаточного увлажнения	24,5-26	1900-2000	550-600	450-350	1,0-0,9	1,1-0,9

$K_{увл.}$ – коэффициент увлажнения определен по методике Сляднева-Сенникова, как отношение суммы запасов влаги в метровом слое почвы и осадков за март –июнь к испаряемости за этот же период.

Глубина промерзания почв в таежных зонах достигает до 1,0 м, причем на оголенных хорошо дренированных участках может достигать трех метров. В лесостепной зоне и северной части степной, глубина промерзания увеличивается и изменяется, соответственно, от 1,2 м до 2,0 м. Весной, из-за быстрого нарастания положительных температур, основная часть снега переходит в плоскостной сток, который движет по мерзлой поверхности. Это замедляет оттаивание почв, оставляя их холодными на длительный срок.

В средне- и южно- таежной подзонах в суходольных почвах оттаивание до глубины 0,8 м отмечается в середине июня. К югу оттаивание почв на этих глубинах происходит несколько раньше, но при этом они остаются длительно-промерзающими. Такой тепловой режим почв резко сокращает активность и времени интенсивного протекания геохимических и биологических процессов в почвах, тем самым снижая потенциал их самоочищения.

1.2.3 Особенности рельефа

Бассейн Иртыша представляет собой часть огромной Обь-Иртышской котловины Западно-Сибирской равнины, где проходит современная долина р. Иртыш и северная часть долины р. Тобол (рис. 1.1). В рельефе территории бассейна р. Иртыш к наиболее высоким его орографическим элементам (*т.е. отдельным частям внешней формы, рельефа земной поверхности*) относятся: Зауральское, Сосьво-Тавдинское, Васюганское плато. Они образуют высокую ступень котловины, где поверхности имеют пологоволнистый и грядоволнистый характер со средними абсолютными отметками от 170 до 190 м. К средней ступени равнины следует отнести Ишимскую, преобладающие абсолютные отметки которой изменяются в интервале 140÷150 м. Для этой равнины характерны плоские поверхности с развитым мезо и микро рельефом. Наиболее пониженную часть рельефа бассейна Иртыша составляют Тобол-Иртышская и Барабинская низменность.

Тобол-Иртышская низменность представляет собой расширенную часть долины Иртыша [И.Н. Угланов, 1981] и самую низкую часть его бассейна с

абсолютными отметками менее 100 м. К этой же орографической ступени относится и северная часть Барабинской низменности, которая так же сливается с Tobол-Иртышской низменностью. Абсолютные отметки поверхности здесь находятся в пределах до 120 м.

В Барабинской низменности и Ишимской равнине выявлены многочисленные остатки древней речной сети с достаточно четко выраженными долинами часто не связанными с современными реками. Они пересекают современные водоразделы и вместо бывшего водотока образуются цепи озер, болот или мелкие водотоки растекающиеся в разные стороны.

На юге Ишимской равнины, в северной части степной зоны, распространены морфометрически ясно выраженные крупные котловины, образование которых связывают с древними долинами стока и неотектоникой. В настоящее время они представляют собой выположенные котловины, борта которых слабо террасированы. Плоскостной сток с бортов поступает на дно котловины, где аккумулируется в озерах, заболоченных засоленных западинах, часто имеющих связь между собой, но не разгружающихся в речную сеть. Днище долины является зоной разгрузки в грунтовые воды. Наиболее обширная Алаботинская котловина находится на левом берегу р. Иртыш, на территории Русско-Полянского, Нововаршавского и Павлодарского административных районов.

По мнению многих исследователей эрозионно-аккумулятивные процессы в формировании рельефа бассейна играют не менее значимую роль, чем тектонические. Именно эти процессы способствовали оформлению характерных конфигураций и строения речной сети, созданию современного облика рельефа водосборных площадей, а также возникновению аккумулятивной Барабинской низменности и ее озерно-болотно-гривистого рельефа.

Проявление суффузионно-просадочных процессов наиболее характерно для Ишимской равнины, в рельефе которой сосредоточены многочисленные неглубокие западины различных размеров округлой формы, часто образующие

бессточные районы. Их развитие обусловлено распространением лессовидных соленасыщенных пород, слагающих плоские равнинные поверхности, при специфических климатических условиях лесостепных и северостепных зон.

Дефляционные процессы в бассейне Иртыша развиты незначительно и проявляются фрагментарно.

К важнейшим элементам рельефа рассматриваемого бассейна следует отнести речные долины Иртыша, Тобола и их основных притоков. Для них характерны некоторые особенности, которые связаны с особенностями рельефа залегания неоген-четвертичных отложений.

Территория бассейна р. Иртыш характеризуется сложным характером рельефа, что проявляется в условиях естественной дренированности, водного режима почво-грунтовой толщи, в виде неоднородности литологического состава.

Степень естественной дренированности незначительно увеличивается в долинах рек. В этом же направлении изменяется тип водного питания земель. На водоразделах преобладает атмосферный тип, а в крупных долинах рек – грундово-напорный. Вместе с тем отдельные части бассейна (морфогенетические структуры) четко обособлены по сочетанию этих факторов.

Своеобразие почв и почвенного покрова водосборных площадей определяется суровыми климатическими условиями и наличием в профиле почв реликтовых признаков, отсутствующих в почвах Европейской части России. Так в таежной зоне распространены почвы с реликтовым вторым гумусовым горизонтом, что создает предпосылки к их большей сорбционной емкости. В подтаежной и лесостепной зонах отмечается большое распространение солонцеватости и специфические физико-химические свойства почв.

Длительное промерзание почв (особенно суходолов) приводит к периодическому образованию почвенно-грунтовой верховодки, которая вызывает явление поверхностной глееватости и признаки глубинной

глееватости в почвах средней подтайги и процессы оглеения в нижней части профиля почв южной подзоны.

Все указанные свойства почв ухудшают почвенно-геохимические условия, меняют активность потенциала самоочищения из-за создания дополнительных радиальных барьеров.

Основной особенностью географии почв является резкая контрастность почвенного покрова узких приречных дренированных участков и заболоченных плоских или с незначительными уклонами поверхностей междуречий, что определяет наличие латеральных биогеохимических барьеров.

1.2.4 Болота – как биогеохимический барьер

Особо следует рассмотреть болото-образовательные процессы на территории бассейна р. Иртыш. Они интенсивно проходят по всей Западно-Сибирской равнине, с начала голоцена (*последлениковская эпоха четвертичного периода, которая продолжается последние 12 тыс. лет*), образуя обширные болотные системы. Бурное развитие болот продолжается и в наше время.

Разнообразие западносибирских болот обусловлено:

- зонально-региональным положением в бассейне;
- приуроченностью к той или иной морфогенетической структуре;
- происхождением ложа болот;
- химизмом питающих их вод и
- характером водного питания.

Болотные биогеоценозы обладают относительной автономностью по отношению к внешним воздействиям и способностью к гомеостазу. Однако последнее ее свойство чрезвычайно легко теряет свое динамическое равновесие при условии техногенного загрязнения даже отдельного из ее компонентов. По определению М.А. Глазовской, любое попадание загрязнителей в торфяную или торфяно-перегнойную массу приводит к образованию вторичных экологических «бомб» замедленного действия с трудно прогнозируемыми последствиями. Из-за гомогенной структуры торфяной залежи и высокой

степени обводнённости, радиальный вынос поллютантов становится затрудненным или, на продолжительное время, невозможным.

Латеральный вынос заторможен и всегда растянут во времени. В целом процессы потенциальной активности самоочищения почв и почвенного покрова водосборных площадей с одной стороны указывают на сдерживание процессов выноса загрязнителей в водные объекты на какой-то отрезок времени, а с другой указывают, что этот процесс растянут во времени и недостаточно прогнозируем.

Региональные особенности развития болот определяются географической приуроченностью и геоморфологическим положением болот.

Для северной половины подзоны средней тайги, в бассейне р. Иртыш, свойственно прогрессирующее распространение болот. В ее южной части, этот процесс затормаживается и оценивается как умеренно прогрессирующий. Умеренное распространение болот характерно для подзоны южной тайги и подтайги. Переменное распространение болот отмечается в лесостепи, что связано, прежде всего с изменением дефицитов и избытков атмосферного увлажнения, как в годовом разрезе, так и в среднемноголетних циклах, а также с сезонными колебаниями грунтовых вод.

Пойменные территории реки Иртыш имеют слабое заболачивание, несмотря на их зональную принадлежность.

Наиболее площадное распространение болот и заболоченных земель сосредоточено в подзонах средней и южной тайги и подтайги.

Краткое рассмотрение условий природной среды бассейна указывает, что компоненты среды обладают крайней неустойчивостью во времени и изменчивостью в пространстве, что на преобладающей части территории, создает условия снижения интенсивности процессов ее самоочищения при техногенных воздействиях.

1.3 Характеристика почвенно-геохимических районов бассейна р. Иртыш

1.3.1 Предгорная пролювиальная равнина Северного Урала (почвенно-геохимический район 1)

Предгорная пролювиальная равнина восточного склона Северного Урала находится в зоне средней тайги. Данный район резко выделяется своими морфогенетическими характеристиками. Прежде всего, это волнисто-увалистые формы рельефа с максимальными отметками 1300...1600 м, густым линейным расчленением и значительными уклонами поверхности. В структуре рельефа преобладают зоны, интенсивного транзита, поверхностного латерального выноса. Модуль поверхностного стока изменяется в пределах 5,0...7,0 л/с·км². Внутрипочвенные латеральные геохимические барьеры в почвенном профиле отсутствуют. Здесь формируется сток притоков р. Тавды, и расположены зоны питания подземных вод. Таким образом, потенциал активности выноса техногенных загрязнителей латеральными и радиальными потоковыми структурами оценивается как высокий. В структуре почвенного покрова преобладают холодные длительно-промерзающие горные подзолы и сопутствующие им бурые грубо гумусовые почвы средней тайги. Мощность почвенного профиля незначительная, т.к. почвообразующими и подстилающими породами являются эллювиально-проллювиальные отложения на коренных породах. Из этих показателей следует, что депонирующая емкость почвенного покрова незначительна.

Радиальные миграционные структуры почв характеризуются как поверхностно-фронтально трещинно-глубокопроницаемые. Почвенно-геохимические показатели, обосновывающие природный потенциал активности их самоочищения от поллютантов, приводятся в экспликации к карте «Эколого– водохозяйственная оценка водных объектов и водосборной площади бассейна р. Иртыш» (в дальнейшем по тексту – «Экспликация»). В целом потенциальная активность самоочищения почв и почвенного покрова – высокая.

Итак, природная среда водосборных площадей данного района, обладает таким высоким потенциалом самоочищения, что при условии ее техногенного загрязнения, чрезвычайно опасна для поверхностных и подземных водных объектов.

1.3.2. Сосьво -Тавдинское плато (почвенно-геохимический район 2)

Сосьво-Тавдинское плато на территории бассейна р. Иртыш представлено южными отрогами Северо-Сосьинской возвышенности с абсолютными отметками 170-150 м и общим падением уклонов поверхности на север и северо-восток. Преобладающий характер рельефа плоско-волнистый, который к югу становится менее расчлененным. На данной территории формируют свой сток р. Конда и притоки р. Тавды.

Это подзона средней тайги с самыми низкими температурами воздуха за период с температурой выше 10°C , с самым высоким показателем коэффициента увлажнения в бассейне р. Иртыш ($K_{\text{увл}}=2$). Поэтому только здесь в почвенном покрове встречаются органо-криометаморфические почвы, у которых в профиле среди радиальных геохимических барьеров встречаются мерзлотные.

В структуре ведущих почв преобладают автоморфные и полугидроморфные почвы, в то время как сопутствующими почвами в составе почвенного покрова являются торфяно-подзолы иллювиально-гумусовые, торфяно-глееземы, болота верховые, переходные и т.д.

В почвообразовательных процессах принимает активное участие надмерзлотная «верховодка». Тип водного питания почв атмосферный, реже атмосферно-склоновый. Грунтовые воды не принимают участие в почвообразовательных процессах.

Наиболее дренированной частью плато является территория района (2.1.1), где значительные уклоны поверхности 0,04 и выше. Почвообразующие и подстилающие породы – озерно-аллювиальные пески. Сорбционная способность почво-грунтовой толщи незначительна, поэтому высокая

потенциальная активность самоочищения почв осуществляется за счет процессов латерального внутрипочвенного и радиального выносов.

В почвенно-геохимических районах 2.1.2 и 2.1.3 соответственно увеличивается в почвенном покрове доля гидроморфных почв, как в ведущих районах, так и сопутствующих. В районе 2.1.2 до 30% увеличивает доля верховых и переходных болот с торфяно- и перегнойно-глеевыми почвами. В районе 2.1.3 процессы торфообразования усиливаются до образования болотных верховых, торфяных на торфах. Эти процессы свидетельствуют об ухудшении степени дренированности территорий, несмотря на достаточно высокую степень линейного расчленения. Кроме того здесь происходит смена литологического состава подстилающих и почвообразующих пород с песков на пылеватые суглинки ледниковых и водноледниковых отложений. Наличие мерзлотных барьеров несколько снижает активность радиального потенциала самоочищения почв.

В целом, потенциальная активность самоочищения почвенного покрова Сосьво-Тавдинское плато характеризуется, по латеральным и радиальным стокам, как средне-высокая. Такая характеристика позволяет определить достаточно высокую степень опасности выноса загрязнителей с водосборных площадей в водные объекты.

1.3.3. Зауральское плато (почвенно-геохимический район 2)

Рассматриваемые почвенно-геохимические районы расположены в контактной зоне предгорной пролювиальной равнины Урала и озерно-аллювиальной равнины. Формы рельефа равнин меняются с запада на восток от волнисто-увалистых до пологоволнистых и плоских. Районы вытянуты в меридиональном направлении, что делает необходимым их рассмотрение отдельно в границах ландшафтных зон, от подзоны южной тайги до северной части степной зоны.

Территория северного района 2.2.1 является водосборной площадью верховьев притоков реки Тура – р. Ница, Пышма. В структуре миграционных потоков водосборных площадей преобладают зоны интенсивного, реже слабого, латерального выноса. Это, главным образом, верхние части водоразделов, тогда как выположенные пологие длинные склоны характеризуются замедленным и затрудненным транзитом с локальной аккумуляцией. Основные типы водного питания почв – атмосферный и атмосферно-склоновый.

Литологический состав почвообразующих и подстилающих пород создает условия повышенной дренированности почв, за исключением тех случаев, когда имеются локальные местные водоупоры. В структуре почвенного покрова преобладают холодные автоморфные подзолистые на севере и дерново-подзолистые почвы на юге. Они характерны для водораздельных пространств, где создаются худшие условия дренированности. В южной подзоне тайги сопутствующими почвами становятся торфяно-подзолисто-глеевые, а в подтаежной – дерново - подзолисто - глеевые со 2-м гумусовым горизонтом.

Отсутствие контрастных радиальных и латеральных геохимических барьеров позволяет характеризовать активность самоочищения, ведущих почв, как высокую. Для сопутствующих, в составе почвенного покрова водосборных площадей, активность самоочищения - средняя. Такие природные условия водосборных площадей способствуют выносу загрязнителей с поверхности водосборной площади, что повышает потенциал возможности загрязнения водных объектов, особенно в период снеготаяния или летних ливневых дождей.

Южнее расположен почвенно-геохимический район 2.2.2, на площади которого берут начало р. Исеть, Уй и их притоки. Элювиальные ландшафты формируются на незначительных площадях в условиях недостаточно устойчивого увлажнения, слабого эрозионного расчленения. Это междуречные равнины относительно хорошо дренированные, где в почвенном покрове ведущими почвами являются серые лесные и черноземы выщелоченные. Ниже по течению рек, водоразделенные пространства представлены отдельными

фрагментами с меньшими отметками и выположенными склонами. Это снижает интенсивность процессов образования стока и выноса его в водные объекты. Дренированность реками значима только в пределах их долин, поэтому все выположенные зоны транзитных потоков характеризуются замедленными условиями миграции водных потоков и замедленными условиями с локальной аккумуляцией. Такая структура рельефа водосборных площадей, при однородности почвообразующих пород, отражается на почвенном покрове. Так, среди зональных автоморфных почв сопутствующими становятся черноземы оподзоленные и солонцы луговые. Последние, приурочены к западинам. Их площадное распространение незначительно (до 12%).

Контрастность структуры почвенного покрова снижает внутрипочвенный латеральный сток и затормаживает поверхностный латеральный сток, часть которого, аккумулируется в озерах и западинах. Здесь, в условиях техногенного загрязнения водораздельных пространств, интенсивность выноса загрязнителей и продуктов их распада ниже, по сравнению с условиями северного района. Здесь увеличивается доля перехвата загрязненных потоков и их аккумуляция. Тем самым создаются локальные очаги экологического загрязнения на водосборных площадях, но снижается возможность степени загрязнения водотоков.

Почвенно-геохимический район 2.2.3 находится в северной части степной зоны. На данной площади формируют свой сток притоки р. Уй и Тобол. Это плоские междуречные пространства, сложенные глинами неогена и перекрывающими их покровными делювиальными суглинками и глинами. Дренированность территории слабая и характерна для высоких водораздельных участков, с глубоким залеганием грунтовых вод. В почвенном покрове формируются зональные автоморфные лугово-черноземные и лугово-черноземные солонцеватые почвы. Что связано с наличием многочисленных понижений рельефа, чаще всего с опресненными грунтовыми водами, где произрастают разнотравные луга.

Для почв районов 2.2.2 и 2.2.3 потенциальная активность самоочищения, как и всей водосборной площади, несколько ниже, чем в районе 2.2.1. Это связано, прежде всего, с рядом факторов:

- увеличением сорбционной способности почв;*
- уменьшением поступления атмосферной влаги и тем самым снижением степени увлажнения почв;*
- наличием локальных водоупоров, создающих возможность образования верховодок или грунтовых вод близкого залегания.*

Потенциал активности самоочищения ведущих почв оценивается как средний, а сопутствующих – низким, что значительно снижает возможность потенциального выноса загрязнителей внутрипочвенным радиальным и латеральным стоками в водные объекты.

1.3.4. Туринская низменность (почвенно-геохимический район 3)

Территория рассматриваемых районов охватывает правобережную часть бассейна р. Тавды и весь речной бассейн р. Туры. По почвенно-геохимическим условиям она неоднородна в силу изменчивости зональных и региональных природных факторов. Основная часть территории находится в пределах озерно-аллювиальной равнины с плоским и плоско-волнистым рельефом, который в нижнем течении р. Тавды становится плоско-холмистым. Эти формы рельефа типичные для аллювиальных и древне-аллювиальных песчаных равнин (районы 3.1.3; 3.1.5).

В границах озерно-аллювиальных равнин выделены три почвенно-геохимических района, из которых 3.1.1 и 3.1.2 расположены в подзоне южной тайги.

Район 3.1.1, находится в контактной зоне с пролювиальной предгорной равниной. Уклоны поверхности постепенно уменьшаются. Снижается и глубина врезов водотоков, которые становятся более плоскими и низкими. Водораздельные пространства слабо затронуты эрозионными процессами. В условия избыточного увлажнения (подзона южной тайги), слабой

дренированности территории и замедленного поверхностного стока, ведущие автоморфные почвы значительно сокращают свои площади по сравнению с пролювиальными равнинами. Все же они занимают все дренированные участки на высоких водоразделах, хорошо дренированных склонах, по долинам рек. На остальной территории, выделенные как сопутствующие почвы в почвенном покрове, развитие получили торфяно-подзолисто-глеевые, торфяные и торфяно-перегнойно-глеевые.

Таким образом, получить однозначную оценку потенциальной активности самоочищения почв достаточно сложно. Для автоморфных почв она оценивается как высокая, в силу возможности выноса загрязнителей радиальными структурами и низкая для сопутствующих почв.

В целом потенциальная активность самоочищения водосборных площадей оценивается: по радиальному стоку (при возможности загрязнения грунтовых вод) как – средняя; по латеральному стоку, как средне – низкая.

В этой же ландшафтной зоне находится почвенно-геохимический район 3.1.2. Его природные условия сопоставимы с условиями ранее рассмотренного района, но в нем увеличивается площадь дренированных и слабодренированных земель. Это отражается на структуре почвенного покрова, где увеличивается доля автоморфных почв. Их потенциальная активность самоочищения оценивается как высокая – средняя, а для сопутствующих почв, как низкая (заторможенная).

Потенциал активности самоочищения водосборных площадей латеральным стоком несколько выше, в связи с чем, повышается опасность загрязнения водных объектов.

В подзоне подтайги выделено три почвенно – геохимических района. Почвенный покров в районах 3.1.3 и 3.1.5 формируется на аллювиальных, древне-аллювиальных суглинках и песках, а в районе 3.1.4 на покровных суглинках озерно-аллювиальной равнины. Однако такие различия, которые во многом определяют дренированность территории, в данном случае

нивелируются очень сложными условиями мезо (нано)¹– рельефа. Именно рельеф участвует в перераспределении поверхностного стока, что создает значительную неравномерность увлажнения почв и различия в их типах водного питания. Сезонное избыточное переувлажнение, при отсутствии внутри профильных литологических барьеров, вызывает в зональных почвенных разностях процессы осолоделости, выщелоченности, оподзоливания, а при близких слабоминерализованных грунтовых водах – осолонцованности и даже возникновению солонцов луговых, лугово-болотных. Поэтому в почвенном покрове латеральные геохимические барьеры очень контрастные.

Только в районе 3.1.3, из-за их повышенной дренированности, потенциал активности самоочищения водосборной площади радиальным стоком можно оценить как высокий. При условии загрязнения почв это может привести к загрязнению и грунтовых вод. Активность выноса загрязнителей латеральным стоком, в поверхностные водные объекты, низкая и только в районе 3.1.4 средняя.

1.3.5 Ишимская равнина (почвенно-геохимический район 3)

Одной из самых обширных, по площади, морфогенетических структур бассейна р. Иртыш, является Ишимская равнина. С севера на юг она пересекает подзону подтайги, зону лесостепи, подзону северной части степи. Выделяемые здесь почвенно-геохимические районы имеют в структуре почвенного покрова одну особенность. Она связана с морфометрическими характеристиками рельефа равнины, литологическим составом почвообразующих и подстилающих пород, гидрогеологическими условиями. Эта особенность проявляется в наличии резко контрастных, контрастных и слабоконтрастных латеральных геохимических барьеров в почвенном покрове.

¹Нанорельеф - (син.: карликовый рельеф) — самые мелкие элементы рельефа, диаметр которых колеблется в пределах от нескольких см. до 0,5—1,0 м, относительная высота до 10 (реже 30) см. Примеры Н.— мелкие западины, бугорки, сусликовины, мерзлотные полигоны, кочки, неровности, созданные обработкой и т. д.

Выше перечисленные почвенно-геохимические районы сформировались в пределах средней орографической ступени с общим падением уклонов на север. Преобладающие абсолютные отметки поверхности изменяются в интервале 140-150 м. Поверхность равнины плоская, усложненная неглубокими озерными западинами с развитым микро, макрорельефом, что, в первую очередь, и создает сложную неоднородную структуру почвенного покрова. Кроме этого, на левом и правом берегу Тобола, к южной границе рассматриваемой части бассейна р. Иртыш, примыкают зоны закрытого латерального стока, не принимающие участия в формировании стока р. Иртыш и его притоков.

В восточной части рельеф равнины осложнен древними ложбинами стока и древними обширными котловинами, через днище которых осуществляется питание грунтовых вод.

Общая дренированность равнины низкая. Дренированы только лишь долины рек и территории двух почвенно-геохимических районов (3.2.2 и 3.2.3), чей почвенный покров сформировался на аллювиальных и древне-аллювиальных песках, с фрагментами суглинков. И правобережный, и левобережный районы находятся в границах современной и древней долины р. Тобол, на участке перехода средней орографической ступени на самые низкие отметки. На остальных участках почвообразующими породами являются двухслойные отложения – суглинки, лесовидные суглинки различного генезиса на глинистых отложениях неогена. Мощность толщи до регионального водоупора 5-15 м. Здесь отсутствуют грунтовых вод, но широкое распространение имеет пресная верховодка.

Необходимо отметить, что во всех районах, почвогрунты, расположенные над водоупором, имеют двухчленное строение с уровнями засоления грунтов от 0,3 до 0,5%. По химическому составу преобладают содово-сульфатное засоление в комплексе с хлоридно-сульфатным, сульфатно-хлоридным, что указывает на отсутствие глубокого естественного промывания почвогрунтовой толщи.

Для почв подзоны подтайги и зоны лесостепи характерно: чередование промывного, выпотного режимов. Это вызывает развитие процессов оподзоливания, осолодения и реже солонцеватости.

В структуре почвенного покрова гидроморфные почвы – болотные, луговые заболоченные, луговые, луговые солонцеватые, солонцы луговые занимают значительные площади. Они формируются в понижениях, на плоских участках водоразделов, замкнутых или полужамкнутых котловинах, то есть там, где создаются условия либо постоянного воздействия неглубоко залегающих грунтовых вод, либо повышенного склонового увлажнения. К югу содержание солей в почвенном профиле увеличивается. В основном это происходит в зонах замкнутого стока (районы 2.3.5). Основной источник засоления – грунтовые воды, которые в свою очередь повышают свою минерализацию за счет выщелачивания солей из палеогеновых и неогеновых отложений.

Из-за затрудненных условий формирования латерального стока, значительная часть солей не выносится за пределы бессточных зон, а аккумулируется в понижениях, на берегах озер, где присутствуют солончаки, луговые засоленные почвы. Процессы рассоления протекают малоактивно, и активизируются только при наступлении ряда влажных лет, во время которых солончаки трансформируются в солонцы.

Совершенно обособлен почвенно-геохимический район – 3.2.7. В северной части участка находится древняя ложбина стока, расположенная в широтном направлении. На юге участка имеется большая по площади, выположенная бессточная Алаботинская котловина.

Все природные факторы здесь имеют несколько лучшие показатели, чем в лесостепной зоне, поэтому в почвенном покрове преобладают автоморфные почвы, лугово-черноземные солонцеватые; солончаки встречаются только в пониженных ложбинах стока, по берегам озер.

Потенциал активности самоочищения почв в данных почвенно-геохимических районах изменяется следующим образом. Для ведущих почв в районах 3.2.2 и 3.2.3 потенциал – высокий. (Сопутствующим в почвенном

покрове почвам соответствует низкий потенциал). В этом случае активный вынос загрязнителей возможен только с радиальными внутрипочвенными стоками, с переносом загрязнителей в грунтовые воды или верховодку, латеральный вынос оценивается как низкий. В загрязнении линейных водотоков эти территории могут участвовать только опосредованно – через выклинивание грунтовых вод в водотоки.

В остальных районах потенциал активности самоочищения почв резко снижается.

Способность дренирования водосборных площадей проявляется только в пределах их долин. Водоразделы нивелированы настолько, что сливаются с террасными комплексами. Поэтому при характеристике территории по условиям миграции поверхностного стока выделяются только: транс-аккумулятивные зоны замедленного, слабого, очень слабого транзита с локальной, слабой и сильной аккумуляцией в разных их сочетаниях.

Все это указывает на значительную инертность природной среды равнины, относительно процессов самоочищения при техногенном загрязнении водосборных площадей и создает условия ухудшения ее экологического состояния.

При этом водосборная площадь, как бы ограждает линейные водные объекты от ухудшения качества их вод. В то же время, имеются предпосылки образования множества очагов экологического напряжения в водных объектах с замкнутым стоком.

Подтверждением правильности сделанных выводов могут служить данные годовых модулей стока с водосборных площадей рек Ишима, Вагая, Исети, Миасса и Течи (Табл. 1.2).

Значения годовых модулей стока воды с водосборов рек
Ишимской равнины, л/с·км².

Участок	Река		
	Исеть	Миасс	Теча
Устьевой	1,31	1,18	0,89
Верховье	4,40	2,50	2,10

1. 3.6. Кондинская низменность (почвенно-геохимический район 4)

Для Кондинской низменности, в границах бассейна р. Иртыш, характерно прогрессирующее и умеренное прогрессирующее распространение болот. Пути их развития определены географическим расположением (подзона средней и южной тайги) и геоморфологическим положением – низменность, заложение которой находится в переходной зоне со средней орографической ступени на низкую, определенными в соответствии с амплитудами неогено-четвертичных движений. На рассматриваемой территории формируется речной сток Конды и левобережных притоков р. Тавды.

Болотообразующие процессы в Кондинской низменности проходят очень интенсивно в пределах плоских и плоско-волнистых песчано-глинистых аллювиальных и древнеаллювиальных равнин (почвенно-геохимический район 4.1.1).

Для данных климатических и морфогенетических условий характерным является озерково-грядово-мочажинный тип болот в сочетании с озерково-грядовым типом.

Они занимают плоские центральные участки водоразделов и достаточно пологие склоны. Заторфованность болот, с мощностью торфа – 3,5 м, достигает 50%. В пределах Кондинской низменности, которая испытывает постоянное тектоническое опускание, преобладают процессы аккумуляции. Поэтому прогнозы дальнейшего развития болот данного типа показывают, что они будут

характеризоваться постоянным увеличением водных поверхностей в результате разрушения грядовых перемычек и расширения площади мочажин.

Основные типы почв здесь – торфяные и торфяно-перегнойно-глеевые с большой потенциальной сорбционной емкостью, но очень заторможенным выносом как независимых, так и зависимых мигрантов.

Районы 4.1.2 и 4.1.3 занимают водораздельное пространство между р. Тавда и р. Конда. Это южные краевые участки Кондинской низменности, расположенные морфометрически несколько выше. Здесь происходит смена типов болот, а также степень заболоченности территорий. Основной тип болот, наиболее характерный для южной подзоны тайги, является сосново-кустарниково-сфагновый в сочетании с грядово-мочажинным типом болот. Однако в связи с преобладанием денудационных процессов² и удовлетворительному дренированию болот, переход их в озерково-болотную стадию будет затруднителен.

В районе 4.1.2, несмотря на улучшение естественной дренированности территории, все выположенные водораздельные пространства характеризуются слабым латеральным стоком с болотной аккумуляцией. Это почвы болотные верховые (торфяные и торфяно-глеевые). Все склоны по условиям миграции поверхностного стока имеют замедленный транзит с локальной аккумуляцией. И только в долинах рек, где почвообразующими и подстилающими породами становятся суглинки с массивами песков, формируются в почвенном покрове автоморфные почвы.

К югу (район 4.1.3) условия естественной дренированности значительно ухудшаются. Здесь в почвенном покрове преобладают болота выше указанного типа со значительной мощностью торфов. Дренированными остаются только высокие надпойменные террасы, где ложе болот представлено озерно-аллювиальными песчано-супесчаными отложениями.

²Денудация (от лат. denudatio — обнажение), совокупность процессов сноса и переноса (водой, ветром, льдом, непосредственным действием силы тяжести) продуктов разрушения горных пород в пониженные участки земной поверхности, где происходит их накопление. Термин "Д." употребляется иногда и в более узком смысле — для обозначения процессов сноса (удаления) продуктов выветривания только путём плоскостного смыва.

Данная территория приурочена к зоне, где преобладают денудационные процессы, что затрудняет переход болот в озерново-мочажинную стадию. Ведущими почвами района являются торфяные на торфяниках, торфяно- и торфянисто-глеевые, перегнойно-глеевые. Автоморфные почвы характерны в структуре почвенного покрова на высоких надпойменных террасах.

Из-за лучших условий дренированности территории болотные массивы в районе 4.1.2 получили меньшее площадное распространение и все же они остаются ведущими почвами района наравне с дерново-подзолистыми глеевыми со вторым гумусовым горизонтом и как сопутствующее им в структуре почвенного покрова – дерново-подзолистые и подзолы иллювально гумусовые приуроченные к песчаным отложениям речных террас.

Из выше изложенного следует:

– потенциальная активность самоочищения почв и почвенного покрова от поллютантов преимущественно заторможенная и только в почвенно-геохмическом районе 4.1.2 характеризуется как заторможенная – средняя;

– основной вынос загрязняющих среду веществ может происходить практически только с замедленным латеральным стоком (заторможенный) в линейные системы, а в районе 4.1.3 возможен слабый заторможенный радиальный вынос в грунтовые воды;

– из-за большой сорбционной емкости торфяные почвы и торфяники обладают способностью к накоплению техногенных продуктов – загрязнителей, надолго их удерживая, с постепенным выносом в окружающую среду.

При условии загрязнения болот наиболее уязвимыми становятся песчаные гривы и придолинные речные зоны. Здесь вынос поллютантов в водный объектов можно ожидать в достаточно короткий промежуток времени. В тоже время в толще болот, на длительное время, будут формироваться очаги загрязнения с последующим выносом, (рассеиванием) как самого загрязнителя, так и продуктов его распада.

Водосборные площади, обладающие большим потенциалом устойчивости в силу своей инертности, будут оказывать негативное влияние на экологическое состояние водных объектов, но размеры, формы и время проявления этих процессов в настоящее время мало изучены.

1.3.7. Среднеобская низменность (Имгытское болото).

Почвенно-геохимические районы 4.2.1; 4.2.2

На правобережье северного участка реки Иртыш находятся два водных бассейна рек Туртас и Демьянка. Их сток формируется в Имгытском болоте, южной части Среднеобской низменности. На рассматриваемой территории выделены два почвенно-геохимических района – (4.2.1; 4.2.2) достаточно резко различающиеся между собой, как по площади, так по потенциальной активности самоочищения.

В районе 4.2.2 болотные массивы относятся к олиготрофным группам, которые различаются по типу на грядово-мочажинные в сочетании с грядово-мочажинно-озерковые. Как зональный географический вариант эволюции, данное болото характеризуется процессами заболачивания, с умеренно прогрессирующим, в пространстве, торфонакоплением. Заторфованность территории составляет 25-50%, с мощностью торфа в среднем 3,5÷4,0 м. Дренаживание болот – слабое. Грядово-мочажинный тип болот достаточно устойчив, но, в тоже время, это подвижное образование. Незначительные изменения величин и направленности поверхностного стока вызывают быструю реакцию растительного покрова, что в свою очередь сразу изменяет соотношения площадей, занимаемых грядами, мочажинами, озерами. Именно скорость процессов обуславливает относительную устойчивость этих образований во времени и пространстве. Такой тип болот приурочен к территориям с ярко выраженными процессами аккумуляции, поэтому при переувлажнении, площади этих типов болот расширяются. Отмечается хорошая дренированность ложа торфяников, там, где подстилающими породами являются озерно-аллювиальные песчано-супесчаные отложения.

Ведущими почвами зоны являются торфяные, торфяно-торфянисто-глеевые и прегнойно-глеевые. Из-за высокой степени заболоченности территории почвы сильно переувлажнены. На торфах, в долинах рек, в составе почвенного покрова формируются дерново-сильно подзолистые со 2-м гумусовым горизонтом.

Потенциальная активность самоочищения ведущих почв – заторможенная, для почвенного покрова в целом, достаточно высокая, но растянута во времени. Это позволяет активно формироваться речному стоку и не препятствует выносу загрязнителей в водные объекты.

Почвенно-геохимический район 4.2.1 расположен на высоких надпойменных террасах правобережья р. Иртыш при слиянии с Тоболом. Несмотря на повышенную дренированность территории, в структуре почвенного покрова преобладают почвы гидроморфного ряда. На дренированных участках сформированы дерново-подзолистые глубинно-глееватые почвы, что говорит о наличии верховодки. При этом, наличие латеральных внутрипочвенных геохимических барьеров, несколько снижает формирование внутрипочвенных стоков, из-за чего снижена активность формирования поверхностных водных латеральных структур. *Потенциальная активность самоочищения водосборных площадей может происходить преимущественно с радиальными стоками, что делает уязвимыми грунтовые воды к загрязнению.*

1.3.8. Тобол-Иртышская низменность (почвенно-геохимический район 4.3.1)

Тобол-Иртышская низменность расположена в южно-таежной зоне и представляет собой слабодренированную, заболоченную и наклонную к северу аккумулятивную равнину. Это самая низкая территория в границах бассейна Иртыша. Незначительное увлечение дренированности отмечается только в речных долинах, которые также в основном заболочены. В структуре рельефа

преобладают зоны замедленного и слабого транзита с локальной болотной аккумуляцией.

Региональным водоупором преимущественно являются отложения неогенового возраста. Это зеленовато-серые глины с мергелистыми и железисто-марганцевыми стяжениями (новообразованиями) и друзами гипса. Редко встречаются прослойки и линзы: песка, гравия, щебня. Глубина их залегания находится в пределах 10-15 м. Подошва отложений неогена приподнята в районе Кустаная на 20-40 м. Эти отложения занимают все водораздельные пространства, но отсутствуют в крупных речных долинах, древних долинах стока и в глубоких озерных котловинах.

Субаэральные³ лесовидные отложения (сложного генезиса) перекрывают региональный водоупор. К ним приурочены временные горизонты грунтовых вод. Их глубина залегания колеблется от 0 до 10 м, с отдельными участками глубин от 0 до 2 м, которые приурочены к западинам, озерным котловинам. И в том и в другом случае минерализация грунтовых вод не превышает 1 г/л.

В структуре почвенного покрова низменности преобладают почвы гидроморфного ряда, что обуславливается климатическими, рельефными, гидрогеологическими условиями. Типичные зональные автоморфные почвы встречаются только на дренированных участках. Дерновые подзолы и сопутствующие им подзолисто-болотные почвы приурочены к менее дренированным площадям. Почвообразующими породами чаще всего являются суглинки или суглинки подстилаемые песками. Из болот преобладают: низинные, грядово-мочажинные, реже верховые. Это зона умеренного заболачивания, с умеренной интенсивностью торфонакопления и заболачивания в пространстве, с удовлетворительной степенью дренирования.

Таким образом, потенциальная активность самоочищения болот может быть оценена как заторможенная с очагами высокого потенциала

³Субаэральные – находящиеся или образовавшиеся в воздушной среде.

самоочищения автоморфных почв из-за активной «работы» радиальных почвенных структур.

В целом из-за комплекса природных особенностей, процессы активности самоочищения в Тобол-Иртышской низменности заторможенные, но достаточно хорошие из-за повышенного уровня поверхностного латерального стока, что позволяет рекам Ишим и Вагай в нижнем своем течении, несколько улучшить показатели загрязненности вод за счет увеличения объемов речного стока.

В случае техногенного загрязнения водосборных площадей данной морфоструктуры, экологический «удар» следует ожидать как на грунтовые воды, так и на поверхностные водные объекты, формирующие свой сток на рассматриваемой территории, за счет грунтовых вод.

1.3.9. Барабинская низменность

(почвенно-геохимическая равнины 4.4.1; 4.4.2; 4.4.3)

Барабинская низменность является наиболее пониженной частью не только Обь-Иртышского междуречья, но и всей Западно-Сибирской равнины. В границах бассейна реки Иртыш расположена только ее северная часть, где можно выделить две основные морфологические структуры. Различия, между ними связаны с их местоположением в переходной зоне, по климатическим и морфоструктурным условиям.

Район 4.4.1 расположен в подзоне подтайги, на южном склоне Васюганского плато. Здесь формируется сток практически всех правобережных притоков р. Омь. Это область слабодренированная озерно-болотно-грядная, умеренного заболачивания с удовлетворительным дренированием болот, что позволяет достаточно интенсивно формироваться речному стоку р. Туртас. Дренированные участки имеют автоморфные зональные почвы, в сочетании с лугово-черноземными. В целом почвенный покров, состоящий из различного вида болот, имеет низкий заторможенный потенциал активности самоочищения.

При потенциальном загрязнении водораздельных пространств, следует ожидать заторможенного во времени, но достаточно высокого, уровня рассеивания и последующего выноса поллютантов в водные объекты. При этом с диффузными стоками загрязнители могут поступать в непроточные озера, создавая условия локального экологического напряжения.

Левобережье р. Омь (район 4.4.2) по потенциалу активности самоочищения почв также оценивается как низкий, сильно контрастный. Почвенный покров формируется в зоне лесостепи, где естественные условия тепло-влагообеспеченности становятся все более неустойчивыми. Мезорельеф здесь, приобретает все большее значение, в процессах перераспределения латерального стока. Увеличивается гидроморфизм, засоление почв и их солонцеватость, при том, что степень дренированности территории района практически равнозначна району 4.4.1.

Во всех районах узкой полосой по бортам долин, в структуре почвенного покрова ведущее положение занимают автоморфные почвы.

Районы 4.4.2 и 4.4.3 можно рассматривать совместно. Это определяется тем, что природные галогеохимические процессы здесь происходят в аналогичных природных условиях, но лишь с разной степенью выраженности.

По условия дренированности всю территорию следует отнести к весьма слабодренированной, с низкими показателями густоты и глубины эрозионного расчленения, близким залеганием грунтовых вод с разной минерализацией и химическим составом.

В почвенном покрове района 4.4.3 широко распространены почвы гидроморфной группы – солонцы луговые, луговые солонцеватые, солончаки луговые, лугово-болотные. Лугово-черноземные солонцеватые здесь присутствуют в сопутствующих почвах, тогда как они же становятся в районе 4.4.2 – ведущими. Это указывает на несколько лучшие условия дренированности почво-грунтовой толщи в районе и на меньшее влияние на процессы засоления и рассоления, достаточно близкого залегания водоупора соленосных неогеновых отложений.

Территория самого южного района отличается пространственной дифференциацией из-за широкого распространения западин, котловин, пологих грив.

Районы 4.4.2 и 4.4.3 очень близки к зонам закрытого латерального стока, где поступающие осадки, перераспределяясь по рельефу местности, накапливаются в западинах и служат зонами питания грунтовых вод, или испаряются, вследствие транспирации луговыми и болотными комплексами.

С этих территорий латеральная разгрузка в речную сеть не происходит. Даже реки Омь и Иртыш в пределах этих районов не имеют боковой приточности, и их сток носит транзитный характер. Потенциал самоочищения земель водосбора низкий и любое техногенное загрязнение будет иметь значительные экологические последствия (рис.1.2).

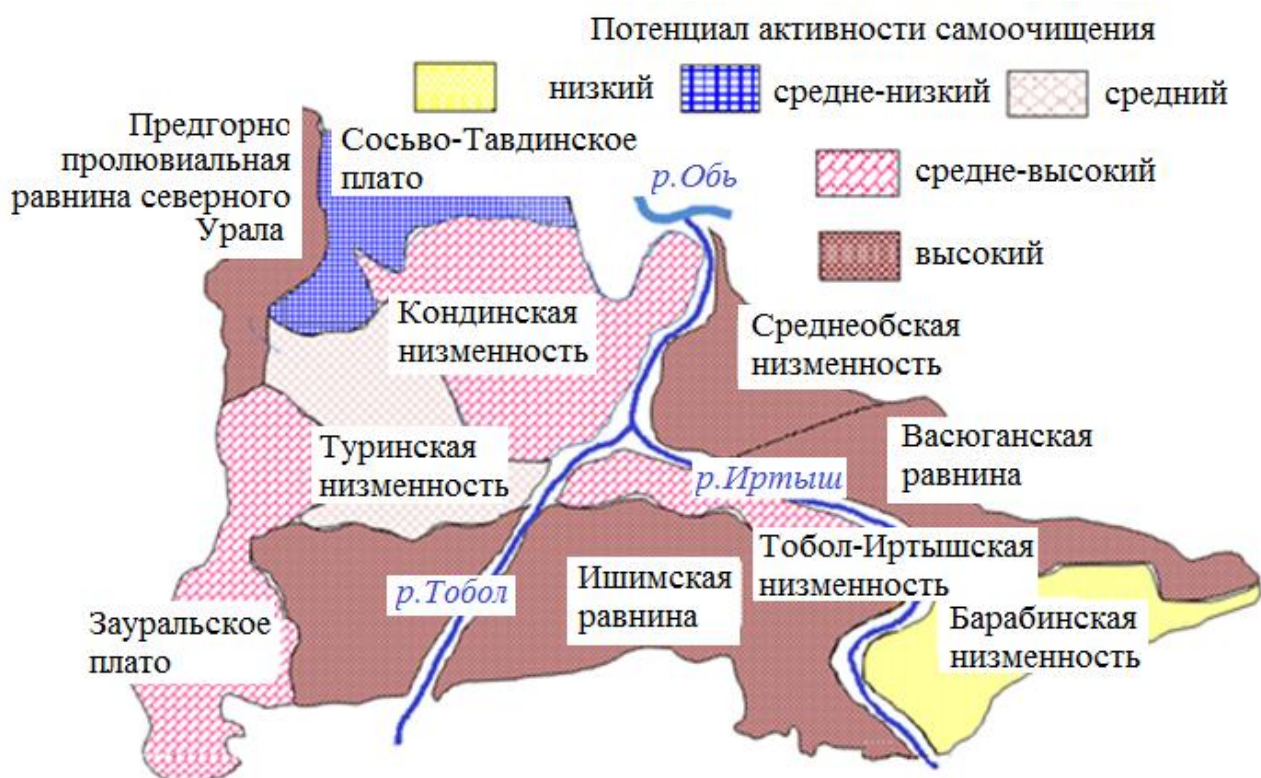


Рис.1.2. Оценка потенциала активности самоочищения почв на водосборной площади реки Иртыш в пределах России.⁴

⁴В силу технических причин (малый размер рисунка) не представляется возможным привести номера всех подрайонов.

2. ЭКОЛОГО-ВОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

После детальной оценки влияния водосбора на водный объект можно рассмотреть вопрос, который часто возникает в практике водного хозяйства и имеет немаловажное значение - оценка качества воды и связь качества с экологическим состоянием водного объекта.

Оценка качества воды позволяет определить ее пригодность для хозяйственных целей (в первую очередь по экономическим соображениям) и обосновать водоохранные мероприятия. В этом случае важно знать:

- химический состав воды и содержание в ней отдельных компонентов (*например, при контроле работы очистных сооружений и станций водоподготовки, оценке пригодности воды для питьевого водоснабжения, орошения, теплоэнергетики*);
- класс качества воды (*например, при обосновании и планировании водоохранных и водохозяйственных мероприятий, оценке антропогенного воздействия на водные объекты*).

Решение данных задач ведется с помощью физико-химических и биологических методов. Все эти методы основаны на определении некоторых показателей качества воды, которые косвенно могут быть связаны с состоянием экосистемы.

Оценка экологического состояния водного объекта должна давать не «мгновенную» характеристику, которая получается при оценке качества воды, а «долговременную», которая характеризует «здоровье» экосистемы, ее способность сопротивляться внешнему возмущающему воздействию, сохраняя устойчивость.

Для оценки качества воды могут быть использованы физико-химические и биологические методы. Следует отметить, что биологические методы сложны для использования в инженерной практике. Они приводят к существенному усложнению работ по оценке состояния водных объектов. Несмотря на общие закономерности, которые отражают биологические показатели, возникает

необходимость конкретизировать состояние водной среды. Кроме того, биологические методы сложно использовать для целей перспективных расчетов и прогноза состояния среды (*о которой они дают косвенное суждение*). А как раз это, и представляет особый интерес при водохозяйственном проектировании, особенно на стадии разработки «Схем комплексного использования и охраны водных объектов».

Совместное применение физико-химических и биологических методов оценки водной экосистемы позволяет выйти на количественный анализ состояния экосистемы в целом.

Однако, в ряде случаев это невозможно. Например, при рассмотрении крупномасштабных объектов (*речного бассейна или региона страны*). В перспективе планирования их использования, когда в обязательном порядке рассматриваются вопросы, связанные с оценкой качества и объемов использования водных ресурсов, при соблюдении экологических требований.

В силу масштабности и многофакторности эта задача достаточно сложная. Требуется большое количество исходных данных, особенно характеризующих качество вод (*концентрации загрязняющих веществ, гидробиологические показатели*). При этом информация необходима для разных створов водного объекта и в разные по водности годы. Положение усугубляется еще и необходимостью прогноза изменения состояния водной экосистемы.

В этих условиях, для оценки качества воды и экологического состояния водных объектов в целом определенный интерес представляет:

- сокращение количества, необходимых для анализа и прогноза, параметров;
- возможность использования, хорошо известных и применяемых в инженерной практике гидрохимических показателей;
- упрощение расчетов без потери их значимости и точности получаемых результатов.

При этом решаются вопросы:

1. оценка экологического состояния экосистемы на основе легко доступных в инженерной практике параметров;
2. прогноз изменения состояния экосистемы; *это используется при оценке планируемой (на перспективу) водохозяйственной деятельности и определении допустимых воздействий;*
3. оценка и прогноз изменения качества воды, *с целью определения ее пригодности, для тех или иных целей, на современный и прогнозируемый периоды, с учетом планируемой на перспективу водохозяйственной деятельности;*
4. определение эффективности водоохранных мероприятий.

Решение данных вопросов возможно путем использования связи между показателями состояния водной биоты и гидрохимическими показателями.

Водная экологическая система формируется и развивается на основе тесной взаимосвязи и взаимозависимости биоты и среды их обитания. Среда обитания – вода, характеризуется: гидрологическим режимом, гидрофизическими свойствами воды и гидрохимическим состоянием. Водная биота оценивается показателями состояния отдельных особей, популяций, сообществ. Связи между отдельными гидрохимическими и гидробиологическими показателями известны [Экологический мониторинг. 2003; Булгаков Н.Г. и др., 2001; Алимов А.Ф., 2003] и очевидны, так как и те и другие характеризуют состояние одной и той же водной экосистемы. Поэтому оценка состояния системы разными показателями должна давать одни и те же результаты.

Связи между самими параметрами состояния экосистемы или отдельными ее компонентами не всегда очевидны, в силу влияния на них многих других факторов, поэтому в первую очередь выявляются те из них, для которых связи достаточно постоянны (во времени и пространстве) и достоверны.

Одним из интегральных биологических показателей состояния водной системы является индекс сапробности (S)⁵ Индекс S дает оценку степени насыщенности воды органическими веществами. Он устанавливается по видовому составу организмов-сапробионтов в водных сообществах. Содержание данных органических веществ в воде оценивается показателем биологического потребления кислорода (БПК). Очевидно, что связь между данными показателями, например БПК₅ и индексом сапробности S должна быть. Выражается она прямо-пропорциональной зависимостью [Оценка..., 2000]. Это позволяет по концентрациям БПК₅ не только проследить изменение сапробности, но и выйти на связь (S) с объемами стока воды в реке в i -ый год (W_i). Например, если принять объем загрязнений, который оценивается показателем БПК₅ и поступающий в реку ($G_{\text{БПК}}$) – постоянный по годам, что характерно для таких источников загрязнения, как коммунально-бытовое хозяйство и промышленность, то среднегодовая концентрация БПК в i -ый год рассчитывается по формуле:

$$\text{БПК}_i = G_{\text{БПК}} / W_i.$$

Используя данную связь, по показателям БПК _{i} и W_i , можно оценить значение индекса сапробности S_i . На рисунке 2.1 показаны кривые обеспеченности параметров S_i и W_i (объем стока характеризуется модульным коэффициентом kr_i , равным отношению фактического объема стока воды в i -ый год к норме стока $kr_i = W_i / W_0$), полученные для створа реки Исеть, левого притока Тобол бассейна реки Иртыш.

⁵Сапробность - это способность сапробионтов обитать в воде с определенной степенью загрязненности органическими веществами. Сапробионты – организмы способные перерабатывать органику, участвуя в процессах самоочищения воды.

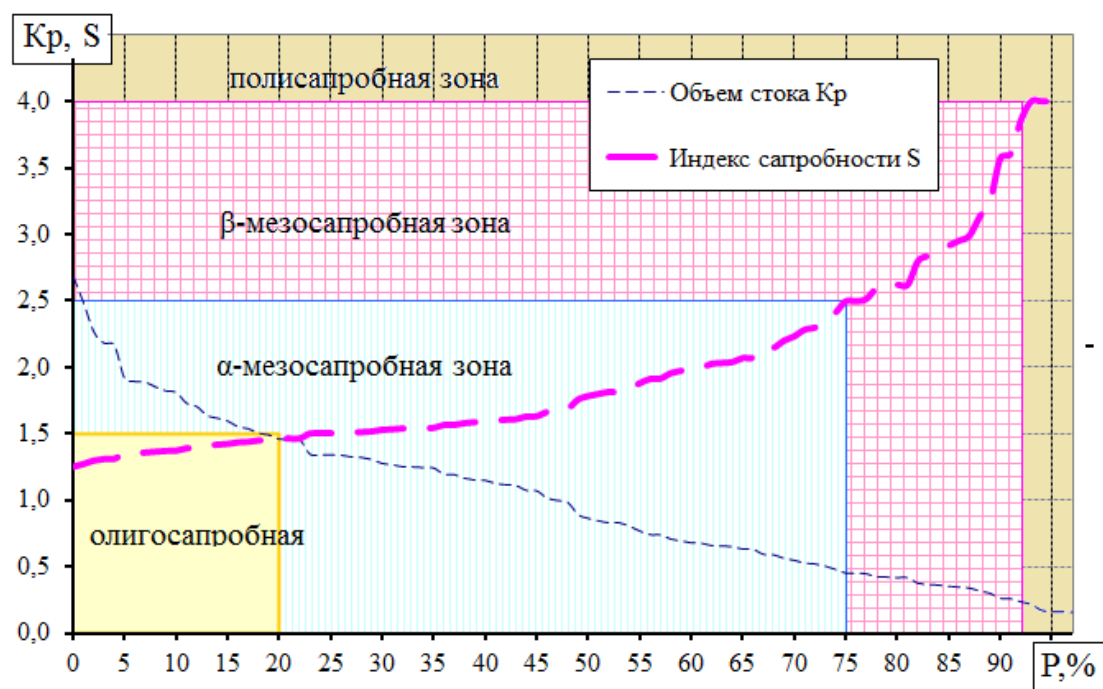


Рис. 2.1. Кривые обеспеченности модульного коэффициента стока реки Исеть ($K_r = W_i / W_0$, где W_i – объем стока в i -ый год, W_0 – норма стока) и индекса сапробности (S_i)

Данный рисунок иллюстрирует возможности метода оценки качества воды и экологического состояния водного объекта на основе использования связи гидрохимических и гидробиологических показателей (Табл. 2.1).

Графики дают следующую информацию:

- в годы с обеспеченностью 20% по стоку, состояние водной экосистемы соответствует уровню «олигосапробная», т.е. в многоводные годы состояние водного объекта улучшается, за счет разбавления загрязнений в больших объемах речного стока;
- в годы с обеспеченностью более 92% состояние реки соответствует «полисапробному» уровню, что говорит о крайне неблагоприятных условиях в маловодные годы;
- в «мезосапробной» стадии речная система находится с вероятностью 72%, что соответствует изменению обеспеченности стока в диапазоне от 20 до 92%. Причем, наиболее часто повторяющимся, средне многолетним

условиям, соответствует уровень « α -мезотрофной» стадии, который и характеризует состояния системы в целом.

Используя данные таблицы 2.1 можно дать оценку трофического статуса водного объекта, который характеризует степень развития пищевых цепей и возраст системы. Охарактеризовать обратимость протекающих в системе процессов, дать оценку качества воды.

Таблица 2.1

Связь показателей состояния водной экосистемы и качества воды.

Оценочный показатель	Класс качества воды					
	1	2	3	4	5	6
	Оч. чистая	Чистая	Ум.загряз.	Загряз.	Грязная	Оч. грязная
БПК ₅ , мг О/л	0,5-1,0	1,1-1,9	2,0-2,9	3,0-3,9	4,0-10,0	>10
Индекс загрязнения воды (ИЗВ)	≤0,2	0,2-1	1-2	2-4	4-6	>6
Индекс сапробности (S)	≤0,5	0,5-1,5	1,5-2,5	2,5-3,5	3,5-4	>4
Фосфаты, мгР/л	0,005-0,015	0,015-0,05	0,05-0,2	0,2-0,3		0,3-0,6
Нитраты, мгN/л	0,05-0,2	0,2-1,0	1,0-2,0	2,0-2,5		2,5-4,0
Индекс Шеннона (H)	3,06-2,30	2,30-1,89	1,89-1,52	1,52-1,25		1,25- 1,11
Индекс Вудивиса	10	9-7	6-5	4	3-2	1-0
Трофность	Олиго- трофная	Мезотрофная		Эвтрофная		Гипер- эвтроф.
Сапробность	ксено-	олиго-	α-мезо-	β-мезо-		Поли-
	сапробная					
Зоны кризисности экосистемы	Стадия обратимых изменений		Пороговая стадия	Стадия необратимых изменений		

Такая интерпретация получаемых результатов дает возможность с одной стороны, оперировать с доступными при планировании⁶ исходными данными (*объемами стока воды и концентрациями загрязняющих воду веществ*). С другой стороны - характеризовать экологическое состояние водных объектов.

Надо сказать, что экологическая система характеризуется не только количеством органического вещества, но и его структурой, видовым разнообразием и т.п. Эти свойства водной экосистемы отражает индекс Шеннона (H). Индекс Шеннона является показателем частоты встречаемости видов гидробионтов и, тем самым, характеризует видовое разнообразие экосистемы.

$$H = -\sum \frac{n_i}{N \times \log\left(\frac{n_i}{N}\right)} \quad (2.1)$$

где n_i – число особей каждого вида во всех пробах; N – общая численность особей всех видов во всех пробах.

Если предположить, что число видов изменяется с изменением пространства, пригодного для обитания (при сохранении концентрации питания), то индекс Шеннона может быть связан с плотностью распределения речного стока. В этом случае можно использовать плотность распределения речного стока, как модель, описывающую видовое разнообразие реки. Это допустимо на основании проведенных исследований [Алимов А.Ф., 1990], где показана практически линейная связь общего количества видов с линейными размерами области обитания.

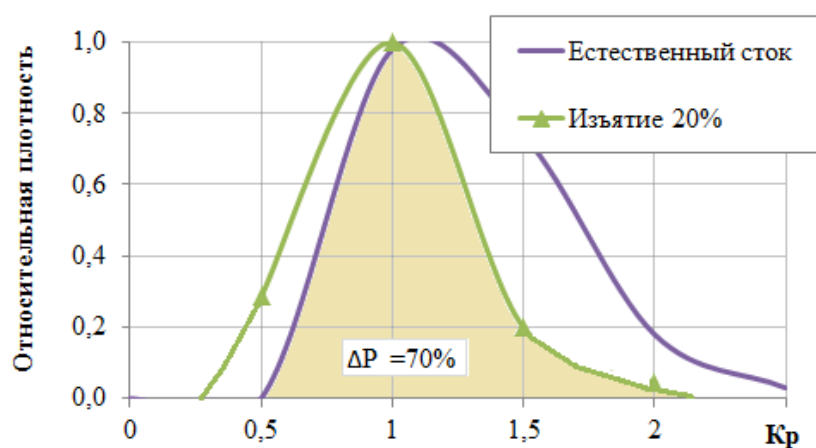
Рассмотрим пример. На рисунке 2.2 показаны графики относительных распределений модульных коэффициентов естественного и фактического стока, с разным уровнем безвозвратного изъятия воды, в процентах от нормы стока реки Иртыш в устьевом створе.

Совместная площадь перекрытия кривых представляет собой степень сохранности естественного стока (ΔP). Безвозвратное водопотребление в

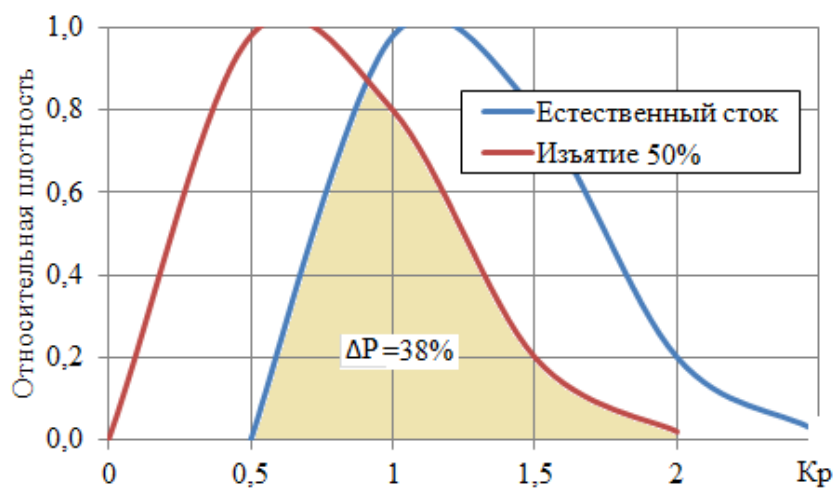
⁶Использовании водных ресурсов на крупномасштабных объектах (например, при разработке Схем КИОВО)

объеме 20% нормы стока, в разные по водности годы допустимо, так как $\Delta P_{20\%} = 70\% > \Delta P_{\text{допустимое}} = 60\%$. Изъятие 50% воды приводит к недопустимым изменениям $\Delta P_{50\%} = 38\% < \Delta P_{\text{допустимое}}$.

Учитывая связь числа видов водных организмов с объемом жизненного пространства можно предположить, что безвозвратное изъятие стока приведет к снижению видового разнообразия, соответственно на 30% (100–70) и 62% (100–38).



А.



Б.

Рис. 2.2. Определение степени сохранности (ΔP) реки Иртыш, по условию истощения, путем сопоставления относительных распределений модульных коэффициентов естественного и фактического стока, с уровнем безвозвратного изъятия воды: А- 20%, Б-50% от нормы стока. Устьевой створ

Предложенный подход позволяет:

- использовать, легко доступную, в водохозяйственной практике, величину объемов стока реки для характеристики изменения экологического состояния водной экосистемы;
- оценить диапазон объемов стока, для которого характерно наибольшее разнообразие видового состава.

Таким образом, исходя из положения, что абиотические факторы среды (*которые характеризуют среду обитания водных организмов, например, гидрохимические и гидрологические*) связаны с биотическими (*например, видовым разнообразием*), по состоянию среды можно судить не только о качестве воды и ее пригодности для хозяйственной деятельности, но и дать оценку состояния водной экосистемы в целом.

В данной работе используется возможность оценки состояния речной системы с помощью объемов речного стока. В этом случае объем стока выступает в качестве одного из показателей формирующего гидрохимический и гидробиологический режимы.

Для водных объектов, находящихся в естественном состоянии, или в условиях слабого влияния антропогенной деятельности, такое положение допустимо, в силу действия законов: «Все связано со всем», «Физико-химического единства», «Оптимальности» [Реймерс, 1994].

Однако антропогенное загрязнение и истощение водных объектов, в результате хозяйственной деятельности, приводит к независимому друг от друга изменению качественного состава и объемов воды, они могут переформировать среду обитания водных организмов. В таких условиях желательно иметь интегральный показатель, учитывающий загрязненность воды.

В данной работе загрязненность сточных и природных вод оценивается с помощью показателя предельной загрязненности [Шабанов, Маркин, 2007]. Этот показатель получен на основе решения уравнения гидрохимического баланса. Его вид соответствует широко используемому в отечественной и

зарубежной практике индексу загрязнения воды (ИЗВ). Последнее дает возможность использовать методику оценки качества воды по показателю ИЗВ при использовании коэффициента предельной загрязненности.

Показатель предельной загрязненности можно выразить в безразмерном виде ($K_{пз}$ - коэффициент предельной загрязненности) и в размерном виде ($W_{пз}$ – показатель предельной загрязненности, выраженный в единицах объем воды).

$$W_{пз} = W_p \times K_{пз} \quad (2.2)$$

$$K_{пз} = \frac{1}{N} \sum \frac{C_i}{ПДК_i} - 1 \quad (2.3)$$

где i – номер загрязняющего воду вещества; W_p – объем фактического речного стока (с учетом использования воды); $K_{пз}$ – коэффициент предельной загрязненности воды i -ми веществами, N – количество i -х веществ используемых для оценки показателя.

Коэффициент предельной загрязнённости представляет собой осредненную кратность сверхнормативного превышения показателей, используемых для оценки качества воды.

Связь с индексом загрязнения воды ($ИЗВ = K_{пз} + 1$) позволяет получить классификационную шкалу качества воды (Табл. 2.2).

Таблица 2.2

Классификация качества воды по индексу загрязнения ИЗВ и коэффициенту предельной загрязнённости $K_{пз}$.

Показатель	Класс качества воды					
	1	2	3	4	5	6
	Очень чистая	Чистая	Умеренно загрязненная	Загрязненная	Грязная	Очень грязная
ИЗВ	$\leq 0,2$	$0,2 \dots 1$	$1 \dots 2$	$2 \dots 4$	$4 \dots 6$	> 6
$K_{пз}$	$\leq -0,8$	$-0,8 \dots 0,0$	$0,0 \dots 1$	$1 \dots 3$	$3 \dots 5$	> 5

Предложенный показатель качества воды ($K_{пз}$) имеет существенное достоинство:

- возможность выражения в безразмерном виде, и в размерности единиц объема воды, что позволяет использовать его в воднобалансовых расчетах, для оценки качества воды;
- возможность учета загрязненности сточных вод при оценке качества речной воды:

$$W_{пз}^{BB} = W_{вв} \times K_{пз} \quad (2.4)$$

где $W_{пз}^{BB}$ – показатель предельной загрязненности сточных (возвратных) вод, выраженный в единицах объемов воды; $W_{вв}$ – объем сточных (возвратных) вод; $K_{пз}^{BB}$ – коэффициент предельной загрязненности сточных (возвратных) вод.

Рассмотрим пример учета показателя качества воды при проведении водобалансовых расчетов на стадии Схем КИОВО (комплексного использования и охраны водных объектов). Уравнение годового водохозяйственного баланса (ВХБ) в простейшем случае имеет вид:

$$ВХБ = W_p + W_{п.в.} + \sum W_{б.п.} - \alpha \times W_{п.в.} - W_{поп.}$$

$$\sum W_{б.п.} = \sum W - \sum W_{вв} \quad (2.5)$$

где W_p – объем стока реки; $W_{п.в.}$ – водозабор из подземных вод гидравлически не связанных с рекой; $\sum W_{б.п.}$ – сумма объемов безвозвратного водопотребления; $\sum W$, $\sum W_{вв}$ – соответственно, сумма объёмов водопотребления и возвратных (сточных) вод; $\alpha \times W_{п.в.}$ – ущерб речному стоку за счет использования подземных вод гидравлически связанных с рекой (α – коэффициент гидравлической связи подземных и речных вод); $W_{поп.}$ – объем комплексных попусков, учитывающий требования: ГЭС, рыбного хозяйства, водного транспорта, экологические попуски и др.:

$$W_{поп.} = \sum \max[w_{ГЭС}, w_{р/х}, w_{ВТ}, w_{экол}, \dots]$$

Выразим величину фактического ($W_{ф}$) стока реки, учитывающую безвозвратное водопотребление и величину ущерба речному стоку:

$$W_{ф} = W_p + W_{п.в.} - \sum W_{б.п.} - \alpha \times W_{п.в.} \quad (2.6)$$

где $W_{пз}$.- показатель загрязненности воды в реке.

А. Оценка качества речной воды по данным о загрязненности возвратных вод

Определив значения показателей предельной загрязнённости возвратных во $K^{BB}_{пз}$ по формуле (2.3), рассчитывается коэффициент предельной загрязненности речной воды:

$$K_{пз} = \sum W_{вв} \times (K^{BB}_{пз i} + 1) / W_{ф} - A \quad (2.7)$$

где A - коэффициент учитывающий естественный фон. Если в естественных условиях качество воды соответствует классу «чистая», величина $A=1$. Если естественный фон соответствует классу «умеренно загрязненной» воды $A=0$.

Используя полученное значение $K_{пз}$, по классификационной таблице (Табл.2.2) определяется класс качества воды.

Б. Оценка качества речной воды по данным о ее загрязненности

В этом случае непосредственно по формуле (2.3) рассчитывается значение коэффициента предельной загрязненности воды в реке ($K_{пз}$) и с помощью таблицы (Табл. 2.2) определяется ее класс.

В. Оценка качества воды в многолетнем разрезе

Оценка качества воды в многолетнем разрезе делается на основе коэффициентов предельной загрязненности ($K^{p\%}_{пз}$), которые рассчитываются для лет разной обеспеченности ($P\%$) по стоку воды в реке.

$$K^{p\%}_{пз} = ((K_{пз} + 1) \times W_{ф} / W_{p\%}) - 1 \quad (2.8)$$

где $K_{пз}$ – коэффициент предельной загрязненности воды в отчетный год (по данным за который определяется значение $K_{пз}$); $W_{ф}$ –объем стока воды в реке для отчетного года (фактический сток); $W_{p\%}$ – объем стока в год заданной обеспеченности $P\%$.

Далее с помощью таблицы 2.1 определяется класс качества воды. Сток воды в реке удобно выражать в безразмерном виде, в виде модульных коэффициентов стока (K_p), тогда формула (2.8) будет иметь вид:

$$K^{p\%}_{пз} = ((K_{пз} + 1) \times K^{\phi}_p / K^{p\%}_p) - 1 \quad (2.9)$$

где K^{ϕ}_p , $K^{p\%}_p$ – соответственно, модульные коэффициенты стока реки для отчетного года и года заданной обеспеченности $P\%$.

Формула (2.9) учитывает качество естественного фона на уровне «чистая - умеренно загрязненная» с $K^{\phi_{он}}_{пз} = 0$. Если фон более загружен и $K^{\phi_{он}}_{пз} = 1$, что соответствует классу качества воды «умеренно загрязненная – загрязненная» то формула (2.9) преобразится к виду:

$$K^{p\%}_{пз} = ((K_{пз} + 1) \times K^{\phi}_p / K^{p\%}_p) \quad (2.10)$$

В. Оценка экологической эффективности водоохранных мероприятий

Определение экологической эффективности водоохранных мероприятий позволяет оценить их достаточность и прогнозировать результат их осуществления. Требуемая эффективность ($\Xi, \%$) мероприятий определяется по формуле:

$$\Xi = 100 \times (K^{p\%}_{пз} - K^o_{пз}) / K^{p\%}_{пз} \quad (2.11)$$

где $K^o_{пз}$ – коэффициент предельной загрязненности соответствующий классу качества воды, которое достигается в результате проведения водоохранных мероприятий или планируется для достижения; $K^{p\%}_{пз}$ – коэффициент предельной загрязненности соответствующий исходному уровню загрязненности (например, без учета проведения водоохранных мероприятий).

Оценка состояния водных ресурсов с помощью показателя предельной загрязненности позволяет определить:

- класс качества воды в многолетнем разрезе;
- вероятностное распределение состояний водных ресурсов;
- экологическую эффективность планируемых водоохранных мероприятий (например, очистка сточных вод);
- оценить экологическое состояние водной экосистемы.

Необходимые исходные данные:

- кривая обеспеченности речного стока ($W=f(P)$ или $K_p=f(P)$);
- концентрации i -х загрязняющих веществ в речной воде (C_i).

Параметры, используемые для оценки состояния.

А. Коэффициент предельной загрязнённости воды ($K_{пз}$), рассчитываемый по формуле (2.3):

$$K_{пз} = \frac{1}{N} \sum \frac{C_i}{ПДК_i} - 1$$

где N – количество рассматриваемых веществ (рекомендуется не менее 5-ти, что соответствует требованиям, предъявляемым методики оценки класса качества воды по индексу загрязнения воды, и используется в данной методике); C_i – концентрация i -го загрязняющего вещества, мг/л.

Б. Кривая обеспеченности речного стока (достаточно знать параметры трёх-параметрического гамма распределения: C_v , C_s и значение модульного стока K_p для отчётного года, т.е. года за который имеются данные о загрязненности воды).

Состояние водных ресурсов определяется на основе класса качества воды и вероятностного распределения состояния водных ресурсов в многолетнем разрезе, для чего строится кривая обеспеченности значений $K_{пз}$.

Обоснование водоохранных мероприятий является выводом, который делается после оценки класса качества воды и экологического состояния водного объекта, и подразумевает определение эффективности водоохранных мероприятий. Планируемыми водоохранными мероприятиями могут быть, , очистка сточных (сосредоточенных источников загрязнения) вод или другие мероприятия по улучшению качества речных вод. Их экологическая эффективность определяется по вероятности изменения класса качества речной воды.

Оценка экологического состояния водной экосистемы, в данной работе, проводится на основе определения индекса Шеннона. Индекс Шеннона представляет собой параметр оценки видового разнообразия и обычно меняется в пределах от 1,5 до 3,5. Он оценивается по частотным показателям видового разнообразия водной экосистемы (n_i). В качестве рабочей гипотезы принимается, что они линейно связаны с плотностью распределения речного стока (ρ_{wi}): $n_i \sim \rho_{wi}$. Распределение частотных характеристик объемов

естественного стока, используется как модель, описывающая видовое разнообразие реки. Изменение данных характеристик, в результате антропогенного воздействия, позволяет сделать оценку изменения видового разнообразия. В этом случае на основе плотностей распределения объемов стока, которые строятся в относительных единицах, выявляются области с высоким и пониженным видовым разнообразием. Абсолютные значения индекса Шеннона можно пересчитать по формуле (2.12):

$$H=1.2\times\exp(-0.5\times K^{p\%}_{пз})+1.1 \quad (2.12)$$

Пример оценки состояния реки Исеть

С целью иллюстрации возможностей предлагаемого метода, ниже приведен пример оценки качества воды. На рисунке 2.3 представлены графики кривых обеспеченностей объемов стока реки, показателей предельной загрязненности воды без учета и с учетом водоохранных мероприятий, полученные для реки Исеть (притока Тобола).

В многолетнем разрезе, без учета проведения мероприятий по очистке стоков (рис. 2.3) класс качества воды изменяется следующим образом, для лет с обеспеченностью:

- до 4% - вода относится к классу качества – «умеренно загрязненная»
- от 4% до 45 % - «загрязненная» - *вероятность пребывания в данном состоянии 41%*
- от 45% до 57 % - «грязная» - 12%
- от 57% до 77% - «очень грязная» - 20%
- выше 77% - «чрезвычайно грязная» - 33%

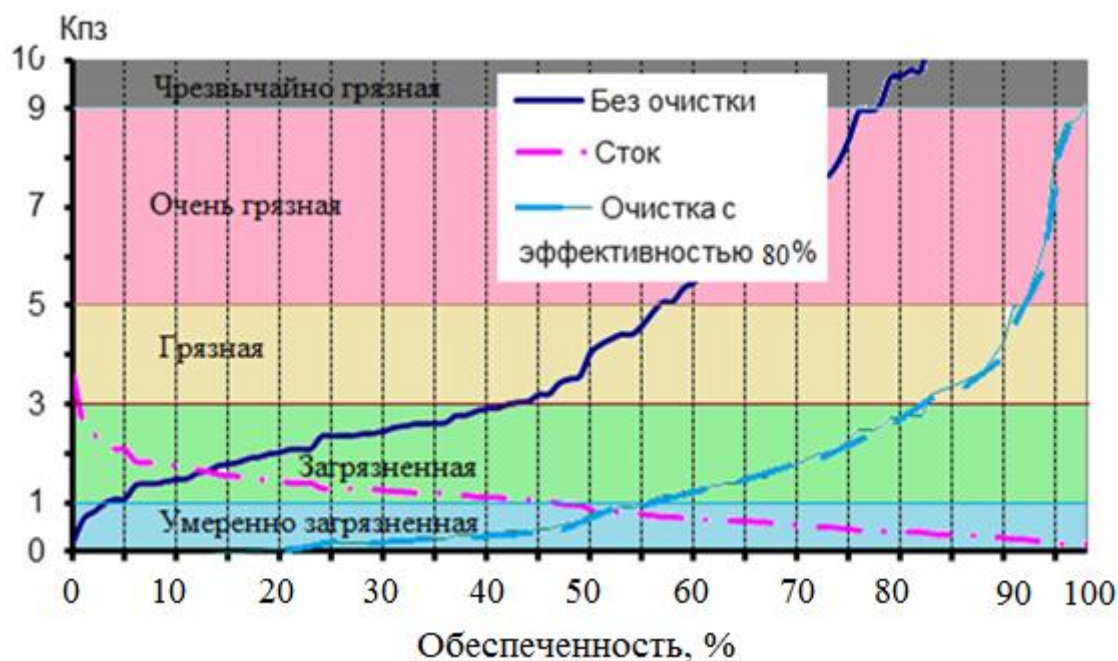


Рис. 2.3. Кривые обеспеченности модульного коэффициента речного стока и коэффициентов предельной загрязненности воды без учета и с учетом проведения водоохраных мероприятий эффективностью 80%

Очистка воды с эффективностью 80% приводит к изменению уровня загрязненности воды в сторону улучшения ее качества:

- до 21% - «чистая»
- от 21% до 56% - «умеренно загрязненная» *вероятность пребывания в данном состоянии 34%*
- от 56% до 83 % - «загрязненная» - 27%
- от 83% до 92 % - «грязная» - 9%
- выше 92% - «очень грязная» - 8%

Определение трофического статуса водного объекта, (экологического состояния реки Исеть), сделано на основе расчетов значений индекса Шеннона для лет разной обеспеченности по стоку воды.

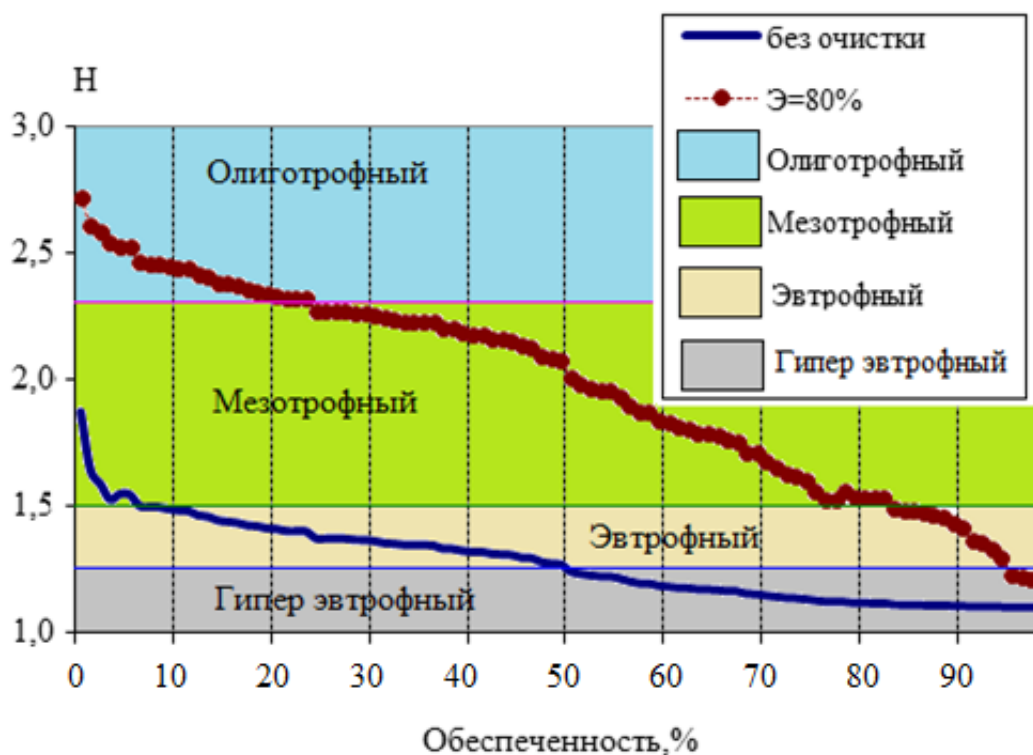


Рис. 2.4. Оценка изменения уровня трофности реки Исеть по индексу Шеннона в зависимости от обеспеченности речного стока

Трофический статус (рис. 2.4) реки в среднемноголетнем разрезе соответствует условиям:

- «эвтрофного» уровня – без учета планируемых водоохранных мероприятий;
- «мезотрофного» уровня – ожидаемый, с учётом проведения водоохранных мероприятий эффективностью не менее 40%. Однако, даже проведение мероприятий эффективностью 80%, в маловодные годы с обеспеченностью более 80% сохраняются условия «эвтрофного», а в остромаловодные годы обеспеченностью более 95%) «гиперэвтрофного» уровня.

3. ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БАССЕЙНА р. ИРТЫШ

Оценка качества воды проведена для 8-ми створов на реке Иртыш и 22-х створов ее основных притоков (рис. 3.1). Методика расчетов сводится к оценке качества воды на современный период (данные на 2001-2005 годы) по показателям: $K_{пз}$ (коэффициент предельной загрязнённости речной воды) и индексу Шеннона. С этой целью выбран список из (N) загрязняющих веществ, наиболее характерных для всех створов.

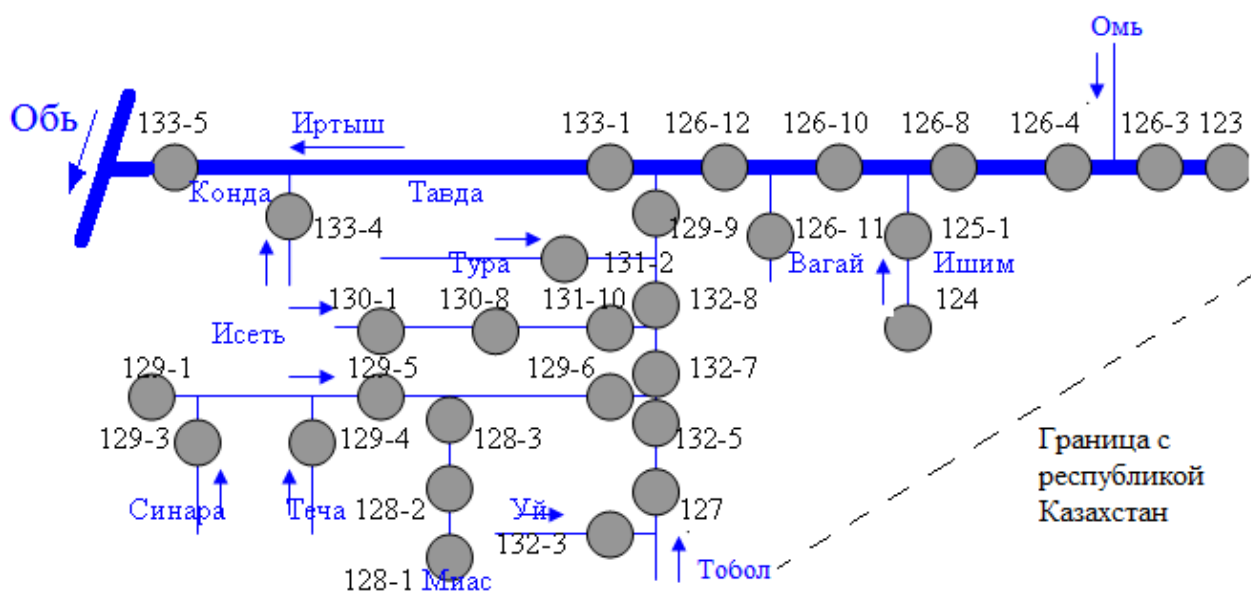


Рис. 3.1. Схема расположения расчетных створов в бассейне реки Иртыш

Индекс Шеннона, для лет разной обеспеченности, определялся методом «Соответствия параметров», на основе его связи с $K_{пз}$ по классификационной таблице качества вод. В результате расчетов получены характеристики качества воды в годы разной обеспеченности: $P=25\%$, 50% , 75% , 95% для условий использования воды отчетного периода. Сделана оценка эффективности водоохранных мероприятий, позволяющих достичь приемлемого класса качества воды «умеренно загрязненной», что соответствует фоновому уровню

3.1 Эколого-водохозяйственная оценка реки Иртыш

Исходные данные, необходимые для проведения оценки качества воды реки Иртыш и ее экологического состояния, на отчетный период, представлены в таблицах 3.1 (концентрации веществ воде) и 3.2 (объемы стока воды).

Таблица 3.1

Концентрации веществ (мг/л) в расчетных створах реки Иртыш и их нормативные значения (мг/л). Оценка качества воды. Отчетный период.

Вещества	Норматив*	Створ							
		123	126-3	126-4	126-8	126-10	126-12	133-1	133-5
O ₂	12	10.3	9.2	10.1	10.46	10.41	10.1	8.6	10.5
БПК ₅	3	4.4	2.68	3	2.59	2.6	1.93	5.4	2.3
NH ₄	0.5	0.4	0.16	0.32	0.37	0.52	0.28	0.28	0.74
NO ₂	0.08	0.015	0.012	0.01	0.010	0.008	0.009	0.01	0.05
NO ₃	9.1	0.2	0.15	0.1	0.21	0.22	0.19	0.04	0.4
Fe	0.3	0.8	0.4	0.4	0.19	0.2	0.39	0.9	1
Cu	0.001	0.01	0.01	0.01	0.0079	0.007	0.000	0.015	0.012
Zn	0.01	0.03	0.015	0.015	0.0085	0.0079	0.0078	0.02	0.005
Mn	0.01	-	-	-	-	0.044	0.1229	-	-
Ni	0.01	0.004	0.003	0.004	0.0	-	-	0.003	-
Фенол	0.001	0.01	0.0	0.01	0.002	0.0	0.0	0.01	0.01
Нефтепр.	0.05	1.60	0.42	0.40	0.073	0.06	0.1	2.2	0.65
СПАВ	0.5	0.05	0.05	0.02	0.017	0.01	0.01	0.04	0.04
Кпз		3,58	1,14	1,31	1,29	0,45	0,73	4,89	2,13
Класс качества		Гряз.	Загрязненная			Умеренно загрязненная		Гряз.	Загряз.

*Для O₂ и БПК₅ нормативные значения приняты в соответствии с методикой определения индекса загрязнения воды (ИЗВ). Для других веществ использованы нормативы ПДК для водных объектов рыбохозяйственного водопользования.

Таблица 3.2

Объемы стока реки Иртыш (млн.м³) в расчетных створах для лет разной обеспеченности (P,%).

P, %	Створ
------	-------

	123	126-3	126-4	126-8	126-10	126-12	133-1	133-5
25	32100	32200	34600	40600	46100	49100	79200	101000
50	27200	27300	29100	33800	38200	40800	66900	85600
75	22800	19500	20400	23000	25900	27800	55800	72600
95	17400	17500	18400	20500	22700	24800	43200	57200

В настоящее время, качество воды в реке, в пределах России, для года 95% обеспеченности, изменяется от «очень грязной» до «загрязненной» (рис. 3.2). Наиболее опасными загрязнителями являются: нефтепродукты, медь, фенолы, марганец, аммонийный азот.

Ухудшение качества воды связано с сильной загрязненностью стоков приходящих с территории республики Казахстан (створ 123), влиянием города Тобольск и загрязненного стока реки Тобол (створ 133-1).

На участке реки между створами 123 и 126-12 антропогенная нагрузка незначительная, и в условиях активного протекания процессов самоочищения воды происходит улучшение ее качества.

Экологическое состояние (оценивается для среднемноголетних условий) соответствует «гиперэвтрофной» - «эвтрофной» стадии развития (рис. 3.3).

Улучшение качества воды до уровня «умеренно загрязненной» и создание тем самым условий «мезотрофной» стадии развития, возможно путем проведения водоохранных мероприятий с эффективностью 80%. Мероприятия следует направить на:

- снижение загрязненности стока притекающего из республики Казахстан;
- улучшение качества воды в реке Тобол (вклад в загрязнение Иртыша 24%);
- очистку сточных вод города Тобольск (вклад в загрязнение Иртыша 62%).

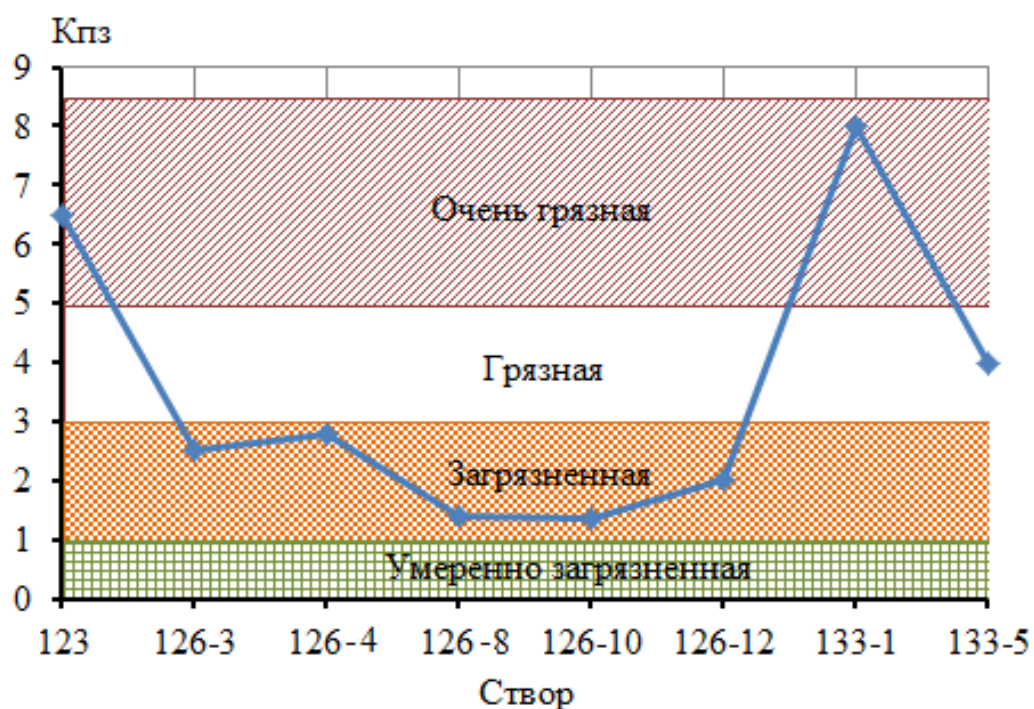


Рис. 3.2. Изменение качества воды в реке Иртыш для современных условий в год 95% обеспеченности по стоку

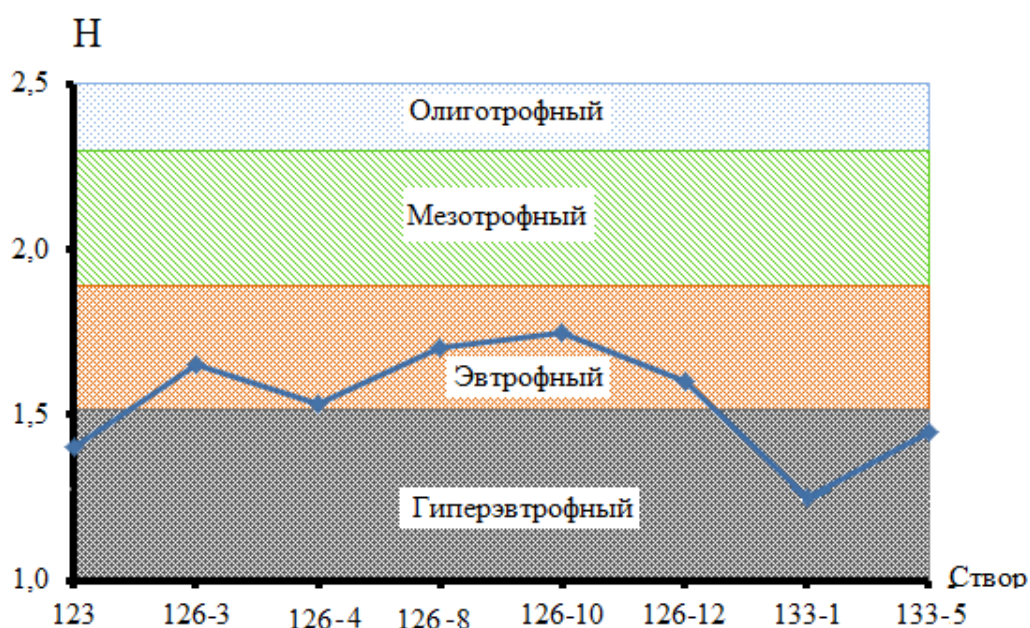


Рис. 3.3. Изменение трофического статуса реки Иртыш для современных условий использования, среднемноголетнего года

Степень сохранности естественного гидрохимического фона в настоящих условиях не более $\Delta P=5\%$ (рис. 3.4). В расчетах, естественный фон принят на

уровне «умеренно загрязненного» класса качества воды со значением $K_{пз}^{фон}=0$ для среднесуточных условий. Расчетный створ 133-1.

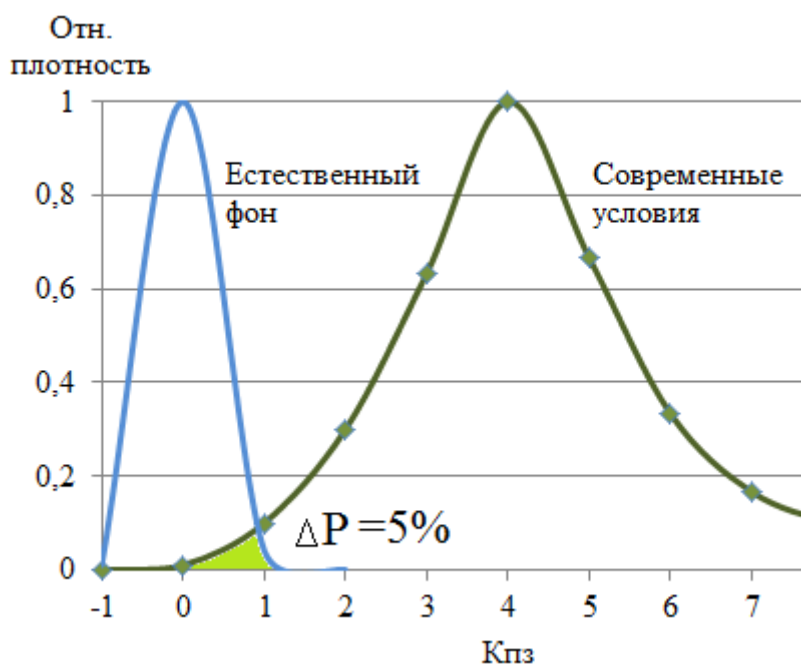


Рис. 3.4. Оценка степени сохранности гидрохимических условий (ΔP) реки Иртыш на основе сопоставления относительных распределений коэффициентов предельной загрязненности воды ($K_{пз}$), соответствующих современному уровню и естественному фону. Створ 133-1

Степень сохранности гидрохимического фона по створам представлена на рис. 3.5. «Удовлетворительное» состояние отмечается только в створах 126-8 и 126-10, что связано с низкой антропогенной нагрузкой и низким потенциалом самоочищения водосборной площади.

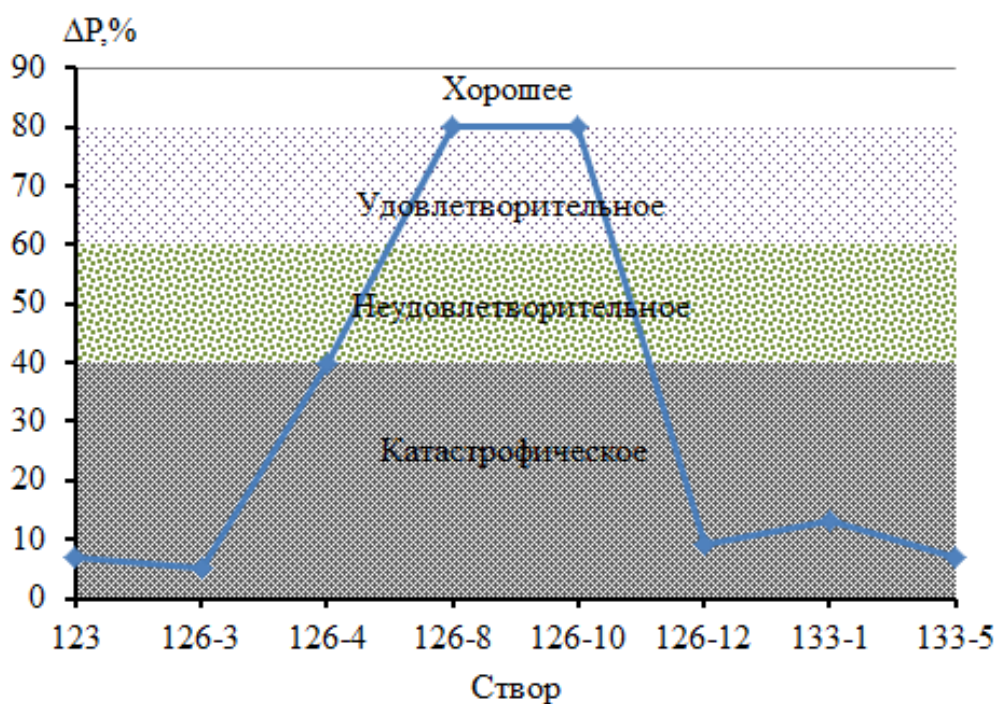


Рис. 3.5. Изменение степени сохранности гидрохимических условий (ΔP) реки Иртыш на участке между створами 123 и 133-5 и оценка ее экологического состояния

3.2 Эколого-водохозяйственная оценка реки Ишим

Река Ишим является левым притоком Иртыша. Объёмы стока составляют 1...7% от стока реки Иртыш в створе 126-10, соответственно в маловодные и многоводный годы (Табл. 3.3).

В устьевом створе реки сказывается значительное безвозвратное водопотребление, которое приводит к снижению водности. Видовое разнообразие, в связи с этим, снижается соответственно на 36%. Степень сохранности естественного стока составляет 64% (рис. 3.6), что соответствует «удовлетворительному» состоянию системы.

Объемы (W , млн.м³) и модульные коэффициенты (K_p) стока реки Ишим в расчетных створах 124 и 125-1 для лет разной обеспеченности (P , %).

P , %	W , млн. м ³		$K_p \% = W/W_{cp}$
	124	125-1	
25	3130	3070	1,40
50	1890	1840	0,85
75	970	930	0,43
95	250	280	0,11

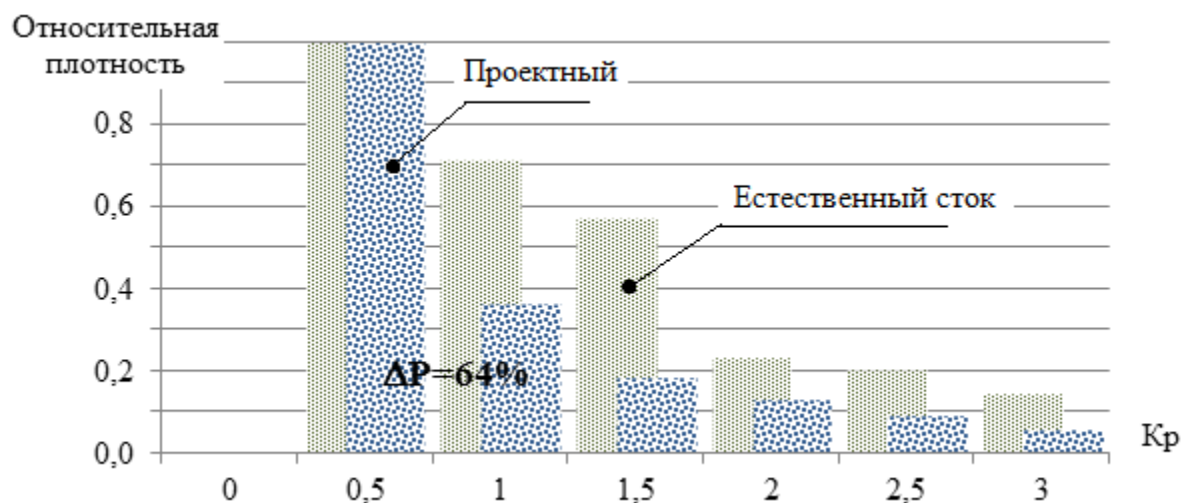


Рис. 3.6. Оценка степени сохранности естественного стока реки Ишим в створе 125-1 (ΔP), на основе сопоставления гистограмм относительного распределения естественного и фактического стока (в качестве последнего принят проектный сток на 2016 год)

Характерными для реки Ишим загрязнителями являются: нефтепродукты, фенолы, медь, цинк, БПК и железо. Причем ухудшение качества воды связано с загрязнением: нефтепродуктами, фенолами и медью.

Таблица 3.4

Концентрации загрязняющих веществ в расчетных створах реки Ишим и их нормативные значения, мг/л. Отчетный период.

Показатели	Створ		ПДК
	124	125-1	
O_2	8.60	10.50	12.00
BPK_5	4.40	4.42	3.00
$N-NH_4$	1.00	0.45	0.50

N-NO ₂	0.015	0.01	0.08
N-NO ₃	0.11	0.20	9.10
Fe	0.95	0.90	0.30
Cu	0.012	0.010	0.001
Фенол	0.01	0.01	0.001
Нефть	1.06	0.80	0.05
СПАВ	0.03	0.04	0.50

**См. примечание к таблице 3.1*

В настоящее время, в расчетных створах, качество воды практически одинаково и оценивается на уровне «загрязненной» в многоводные годы, «грязной» в средние по водности и «очень грязной» в маловодные годы (рис. 3.7.а). Проведение водоохранных мероприятий (ВОМ) с эффективностью 80%, позволяют достичь класса «умеренно загрязненной» воды для всех расчетных обеспеченностей, кроме остро маловодных лет.

Экологическое состояние соответствует условиям «гиперэвтрофного» уровня. Водоохранные мероприятия с эффективностью 80% позволяет создать условия, в среднемноголетнем разрезе, «мезотрофного» уровня.

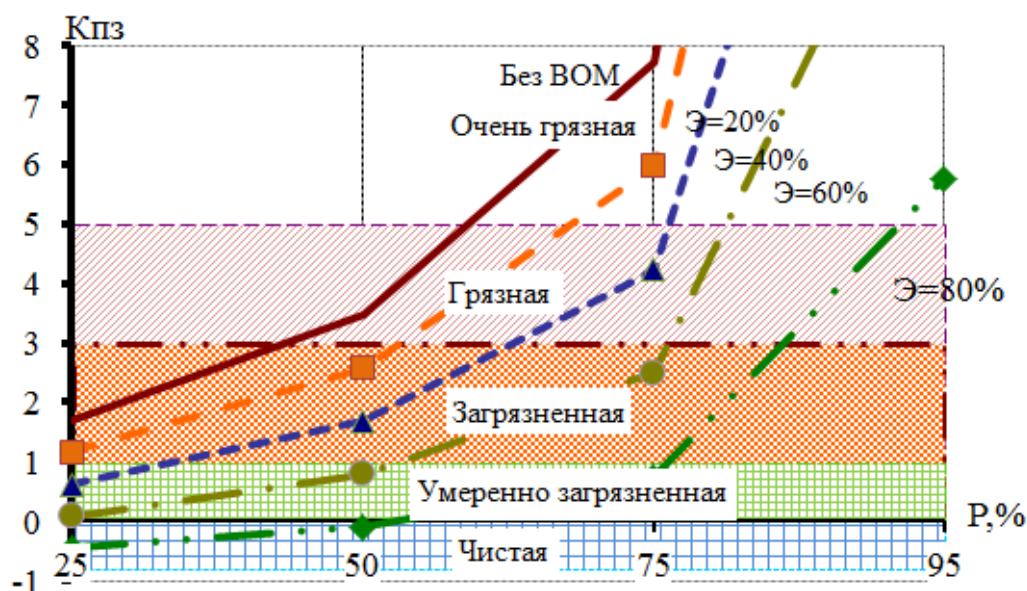


Рис. 3.7.а. Оценка изменения качества воды в разные по водности годы с учётом и без учета эффективности водоохранных мероприятий (Э).

Река Ишим створ 124

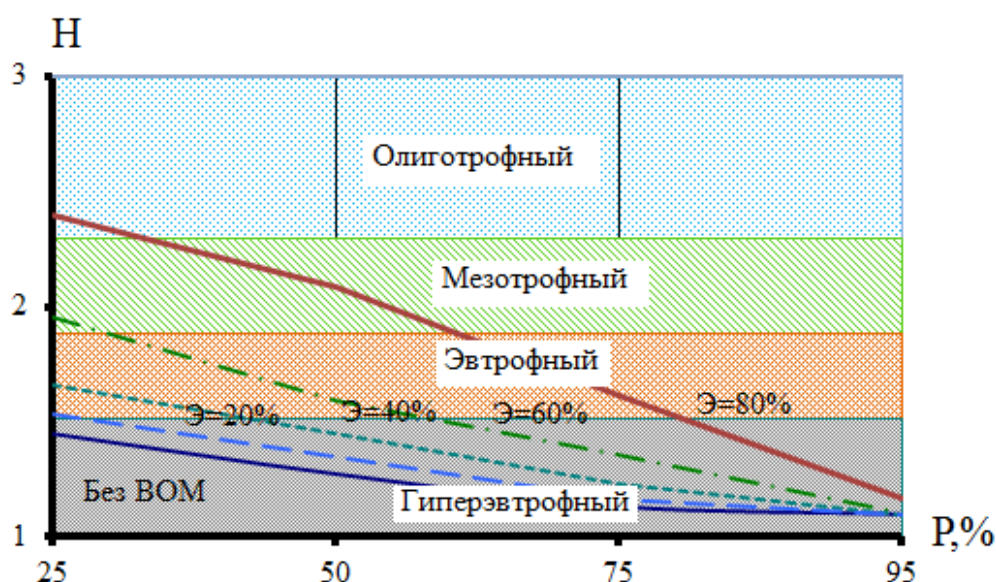


Рис. 3.7.б. Оценка изменения уровня трофности водной экосистемы по индексу Шеннона (H), в зависимости от обеспеченности года, без учёта и с учётом водоохранных мероприятий (ВОМ) разной эффективности ($\mathcal{E}\%$).

Створ 124

Степень сохранности водной системы по гидрохимическим характеристикам составляет $\Delta P_{гх.} = 43\%$ (рис. 3.7.в), что соответствует «неудовлетворительному» состоянию экосистемы.

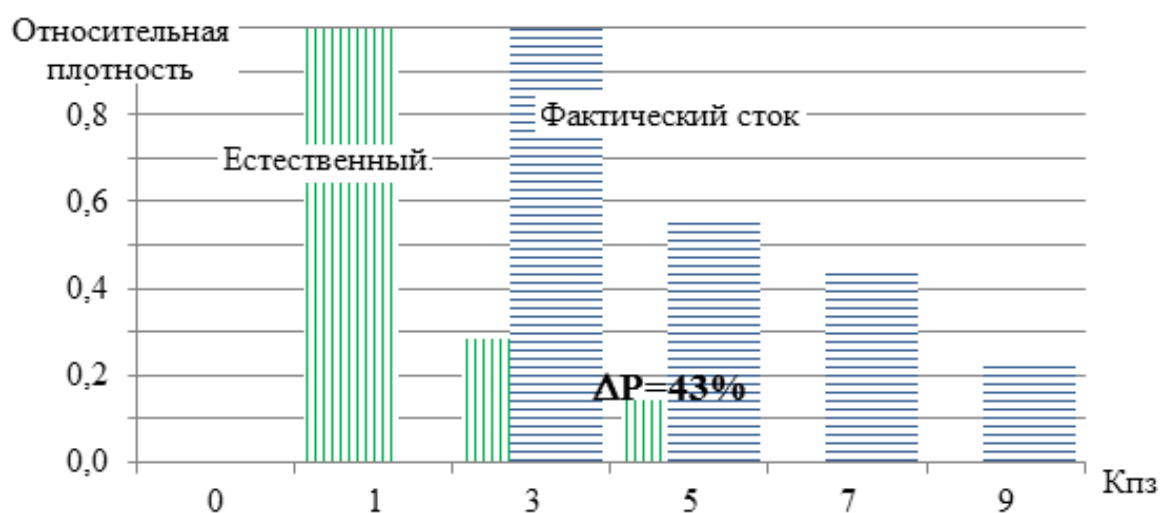


Рис. 3.7.в. Оценка степени сохранности естественного гидрохимического фона реки Ишим (ΔP), на основе сопоставления гистограмм относительных распределений показателя предельной загрязненности ($K_{пз}$) для условий естественного фона и фактического уровня загрязнения

3.3 ЭКОЛОГО-ВОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РЕКИ ТОБОЛ

Река Тобол самый крупный приток Иртыша. Норма стока составляет 805 м³/с (рис. 3.8). Речная вода используется для хозяйственных целей, с долей безвозвратного водопотребления до 20% от нормы стока (створ 127).

На рисунке 3.9 показано изменение степени сохранности естественного гидрографа стока (ΔP) в зависимости от объема безвозвратного водопотребления ($W_{б.п.}$), где видно, что изъятие стока на современном уровне допустимо. Степень сохранности не ниже 60%.

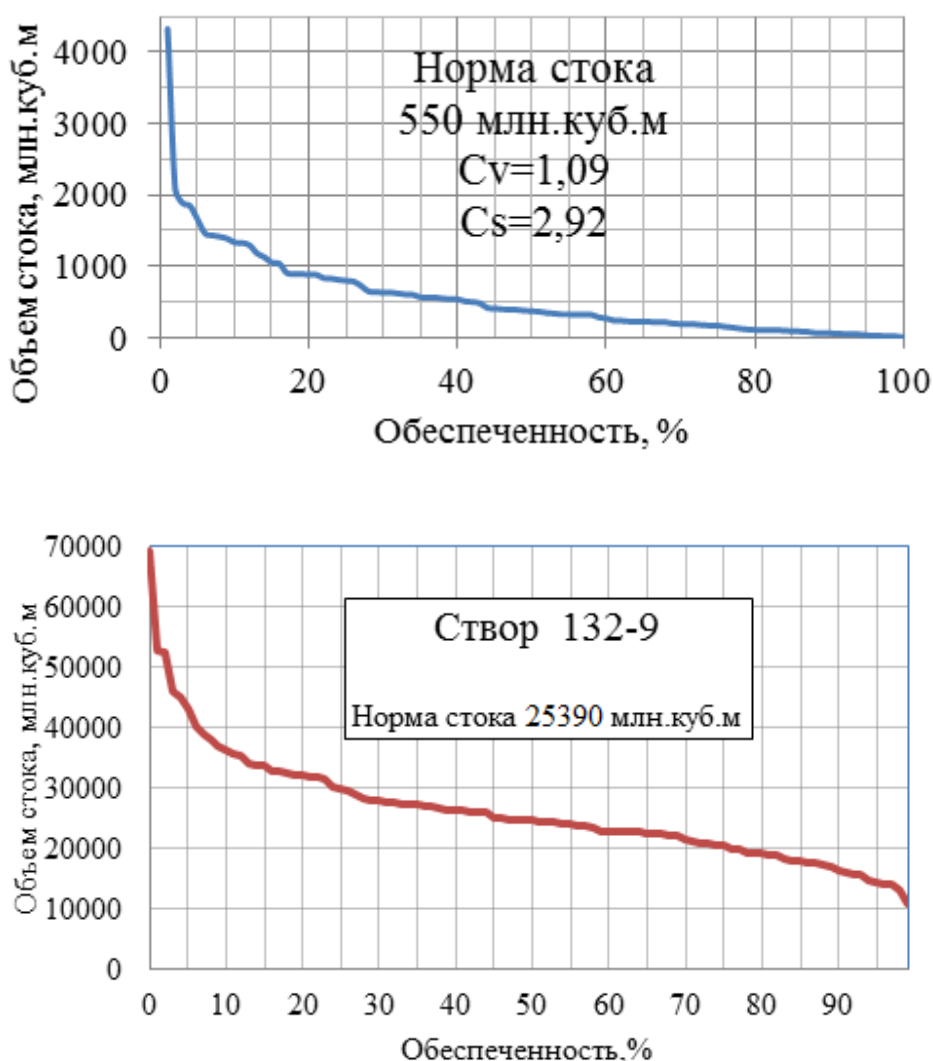


Рис. 3.8. Кривые обеспеченности стока реки Тобол для створов 127 (граница с Казахстаном) и 135-9 (устьевой створ)

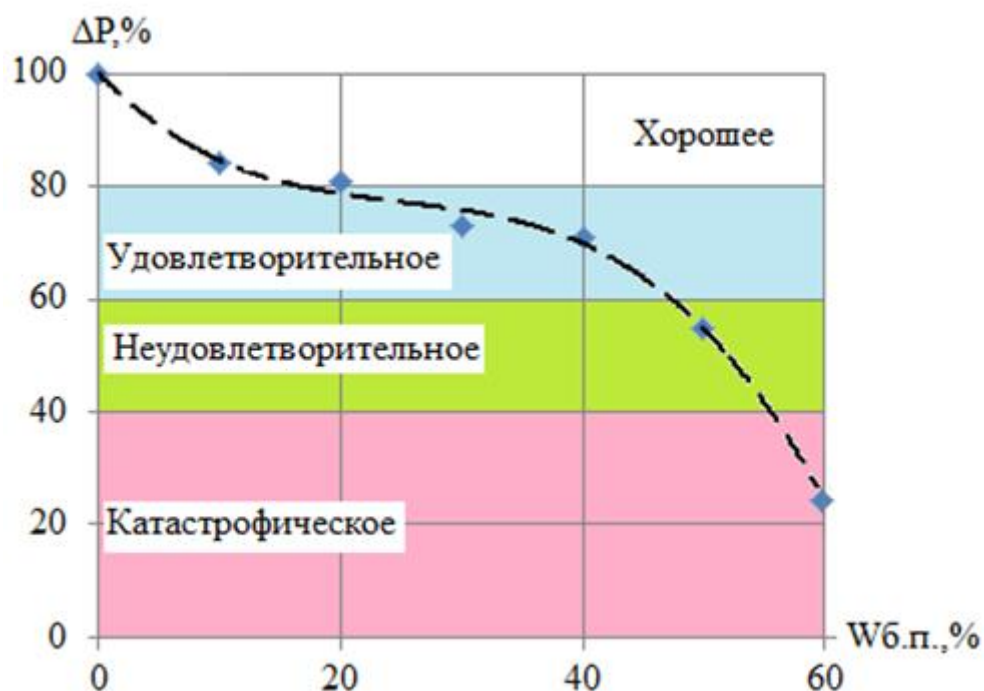


Рис. 3.9. Изменение степени сохранности естественного стока реки Тобол (ΔP) в зависимости от безвозвратного водопотребления ($W_{б.п.}$)

Область естественного гидрографа с наиболее часто повторяющимися объемами стока (средне многолетние условия), соответствует области наибольшего видового состава, практически сохраняется и для гидрографа, учитывающего изъятие стока (рис. 3.10). Снижение видового состава оценивается в пределах 34%.

В настоящее время речная вода не отвечает нормативам качества. Характерными загрязнителями являются: органические вещества, аммонийный азот, железо, медь, цинк, нефтепродукты и фенолы. Однако на ухудшение качества воды наибольшее влияние оказывают: нефтепродукты (створ 127, 132-7 – влияние загрязненного стока из Казахстана и реки Уй), медь (127, 132-5, 132-8), марганец (132-5, 132-7 – влияние стока свыше лежащей территории и реки Исеть), железо (132-8, 132-9 – влияние загрязненных стоков рек Тура и Тавда).

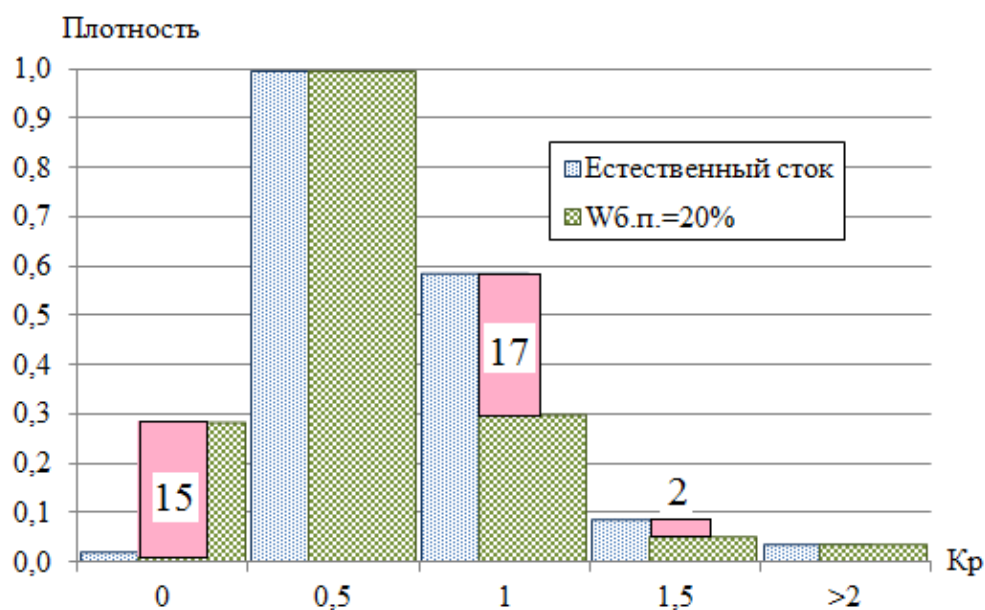


Рис. 3.10. Сопоставление относительных гистограмм распределения естественного и фактического стока, учитывающего безвозвратное водопотребление в размере 20% от нормы. Сток реки выражен в виде модульных коэффициентов (K_p)

Таблица 3.5

Концентрации веществ в расчетных створах реки Тобол, по данным за период 2001-2005 годы и их нормативные значения, мг/л.

Показатели	Створ					ПДК
	127	132-5	132-6	132-8	132-9	
O ₂	12	9.5	7.95	8.287	9.12	12
БПК ₅	0,9	2.09	6.99	3.517	2.11	3
N-NH ₄	0,41	0.49	0.723	0.285	0.83	0.5
N-NO ₂	0,004	0.032	0.071	0.016	0.016	0.08
N-NO ₃	0,2	0.56	0.36	0.27	0.23	9.1
Fe	0,35	0.4	0.96	0.81	1.04	0.3
Cu	0,0118	0.0096	0.005	0.0107	0.0032	0.001
Zn	0,0172	0.0182	0.027	0.0066	0.016	0.01
Ni	-	0.0025	0.008	0.008	0.0012	0.01
Mn	0,1258	0.1566	0.197	0.007	0.2975	0.01
Фенол	0,004	0.006	0.004	0.002	0.003	0.001
Нефтепр.	0,1	0.08	0.509	0.044	0.14	0.05
СПАВ	0,033	0.05	0.021	0.010	0.01	0.5

Современная антропогенная нагрузка на Тобол недопустимо высока. Экологическое состояние во всех расчетных створах оценивается как «гиперэвтрофное» (Табл. 3.6). Качество воды изменяется от «умеренно загрязненной» (в многоводные годы) до «очень грязной» (в маловодные годы). В основном ухудшающее влияние на качество воды оказывают: загрязненный сток из республики Казахстан, загрязненный сток рек: Уйя, Исеть, Тура и Тавда (Табл. 3.7).

Таблица 3.6

Изменение качества воды и уровня трофности в расчетных створах реки Тобол в зависимости от обеспеченности года по стоку.

Обеспеченность, %	Створ				
	127	132-5	132-7	132-8	132-9
25	Загр	Загр	Загр	Ум. Загр	Загр
50	Гряз	Оч. гряз	Гряз	Ум. Загр	Загр
75	Оч. гряз	Оч. гряз	Оч. гряз	Загр	Гряз
95	Оч. гряз	Оч. гряз	Оч. гряз	Гряз	Оч. гряз
Уровень трофности	Гиперэвтрофный				

Таблица 3.7

Вклад источников загрязнения в формирование качества воды реки Тобол*, %.

Приток из Казахстана	р. Уй	р. Исеть	р. Тура	Р. Тавда
28	8	30	8	25

**Без учета боковой приточности и самоочищения воды в реке Тобол, которые снижают загрязненность реки (их суммарная эффективность примерно 26%).*

Проведение водоохраных мероприятий с эффективностью 80% позволяет улучшить качество воды до уровня «умеренно загрязненная» во всех створах для многоводных и средних по водности лет. В маловодные годы, на участке от створа 127 до 132-5, с вероятностью не менее 25% сохраняются условия «загрязненной» и даже «грязной» воды (Табл. 3.8).

Таблица 3.8

Изменение качества воды в расчетных створах реки Тобол, в зависимости от эффективности водоохраных мероприятий (Ξ , %) для лет разной обеспеченности (P , %).

P, %	Створ				
	127	132-5	132-7	132-8	132-9
$\Xi=20\%$					
25	Ум. Загр.	Загр.	Ум. Загр	Ум. Загр	Загр.
50	Гряз.	Гряз.	Загр.	Ум. Загр	Загр.
75	Оч. Гряз.	Оч. Гряз.	Загр.	Загр.	Гряз.
95	Оч. Гряз.	Оч. Гряз.	Гряз.	Гряз.	Гряз.
$\Xi=40\%$					
25	Ум. Загр	Ум. Загр	Ум. Загр	Ум. Загр	Ум. Загр
50	Загр.	Загр.	Ум. Загр	Ум. Загр	Загр.
75	Оч. Гряз.	Оч. Гряз.	Загр.	Загр.	Загр.
95	Оч. Гряз.	Оч. Гряз.	Загр.	Гряз.	Гряз.
$\Xi=60\%$					
25	Ум. Загр	Ум. Загр	Ум. Загр	Ум. Загр	Ум. Загр
50	Загр.	Загр	Ум. Загр	Ум. Загр	Ум. Загр
75	Грязн.	Грязн.	Ум. Загр	Ум. Загр	Загр.
95	Оч. Грязн.	Оч. Грязн.	Загр.	Загр.	Загр
$\Xi=80\%$					
25	Ум. Загр	Ум. Загр	Ум. Загр	Ум. Загр	Ум. Загр
50	Ум. Загр	Ум. Загр	Ум. Загр	Ум. Загр	Ум. Загр
75	Загр.	Загр	Ум. Загр	Ум. Загр	Ум. Загр
95	Грязн.	Грязн.	Ум. Загр	Ум. Загр	Ум. Загр

«Эвтрофный» уровень достигается в результате проведения водоохраных мероприятий с эффективностью не менее 60%.

В целом степень сохранности речной системы, по гидрохимическим условиям, составляет 35 % (рис. 3.12), что соответствует состоянию системы – «катастрофическое». Проведение водоохраных мероприятий с эффективностью 60% позволяет достичь естественного фона, при котором степень сохранности системы по гидрохимическим условиям будет приближаться к 100%.

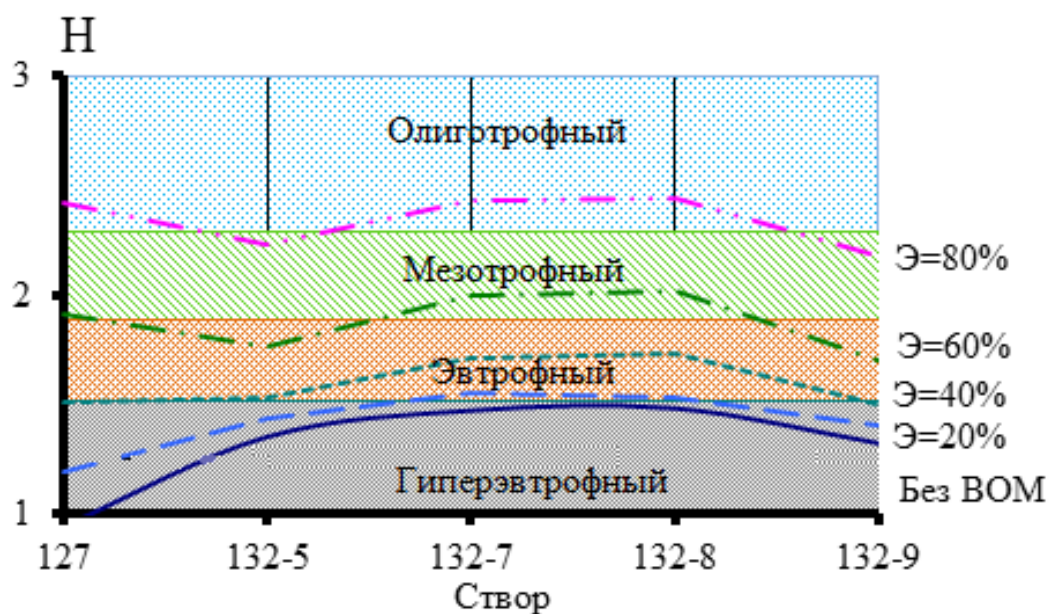


Рис. 3.11. Изменение трофического уровня реки Тобол (по индексу Шеннона H , для среднемноголетних условий) по расчетным створам в зависимости от эффективности($\mathcal{E}$, %) водоохранных мероприятий (ВОМ)

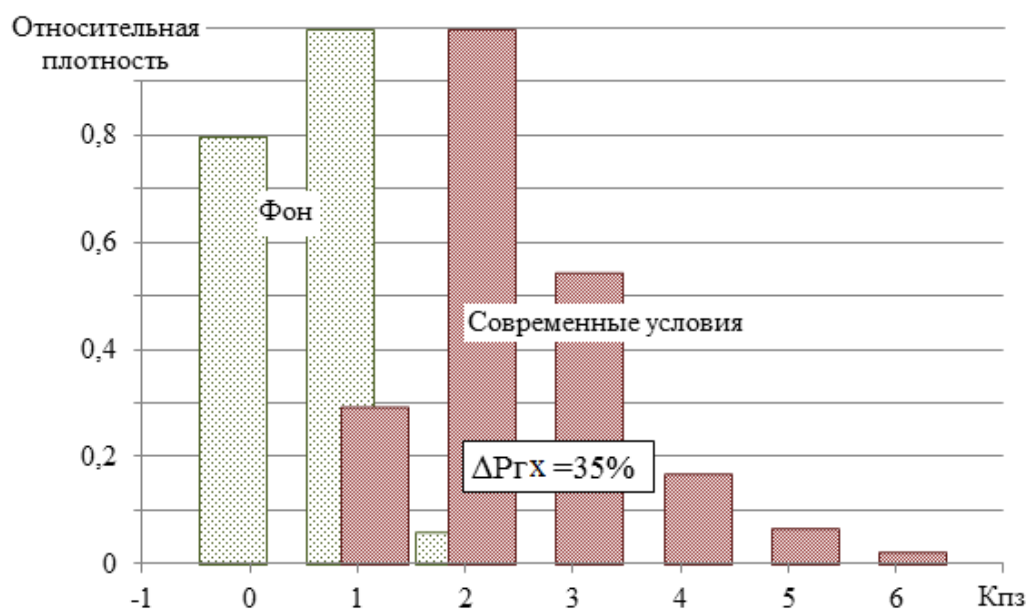


Рис. 3.12. Сопоставление относительных распределений комплексного показателя качества воды ($K_{пз}$) для фоновых, современных условий.

Створ 132-9

3.4 Эколого-водохозяйственная оценка реки Тура

Река Тура, левый приток Тобола длиной 1030 км, имеет площадь бассейна 80400 км². Норма стока 7030 млн.м³ (223м³/с). Безвозвратное водопотребление речной воды незначительное около 6%. В настоящее время река сильно загрязнена. К характерным загрязнителям относятся: органические вещества (БПК₅), аммонийный азот, железо, медь, марганец, фенолы и нефтепродукты. Наиболее опасными из них являются: нефтепродукты (створ 130-1), медь и марганец (все расчетные створы) (Табл. 3.9). Превышение ПДК по данным веществам отмечены в пределах 1.2 - 29ПДК.

Таблица 3.9

Превышение нормативных значений (С/ПДК) контролируемых параметров качества воды в расчётных створах реки Тура на современный период.

Вещества	Створ				ПДК, мг/л
	130-1	130-7	130-8	130-12	
O ₂	0.63	0.62	0.68	0.71	12
БПК ₅	1.27	0.9	1.15	0.97	3
N-NH ₄	2	1.16	0.99	1.38	0.5
N-NO ₂	0.38	0.09	0.18	0.44	0.08
N-NO ₃	0.02	0.06	0.04	0.03	9.1
Fe	4.33	2.7	3.63	4.37	0.3
Cu	19	19	11.35	29	0.001
Zn	0.5	2.05	2.14	0.8	0.01
Ni	-	-	0.45	0.3	0.01
Mn	-	12	20.42	25	0.01
Фенол	6	4	3	3	0.001
Нефтепр.	14	1.2	0.82	1.4	0.05
СПАВ	0.06	-	0.04	0.2	0.5

В створах 130-1, 130-7 и 130-8 вода, в многоводные и средние по водности годы, соответствует классу «загрязненная», в маловодные годы – «грязная», и «очень грязная» в остро маловодные годы. В створе 130-12 ситуация немного хуже. Классу качества «загрязненная» вода соответствует только в многоводные годы, а в средние по водности годы вода - «грязная» и очень грязная» в маловодные годы.

Степень сохранности реки по гидрохимическим условиям составляет ~ 17% (рис. 3.13).

Проведение водоохранных мероприятий с эффективностью 80% позволяет улучшить качество воды до уровня «умеренно загрязненной» практически во всех створах для всех расчетных обеспеченностей. Сохраняется вероятность 25% «загрязненной» воды только в устьевом створе. Водоохранные мероприятия эффективностью 60% позволяют создать приемлемые условия, в основном, только в многоводные и средние по водности годы (Табл. 3.10).

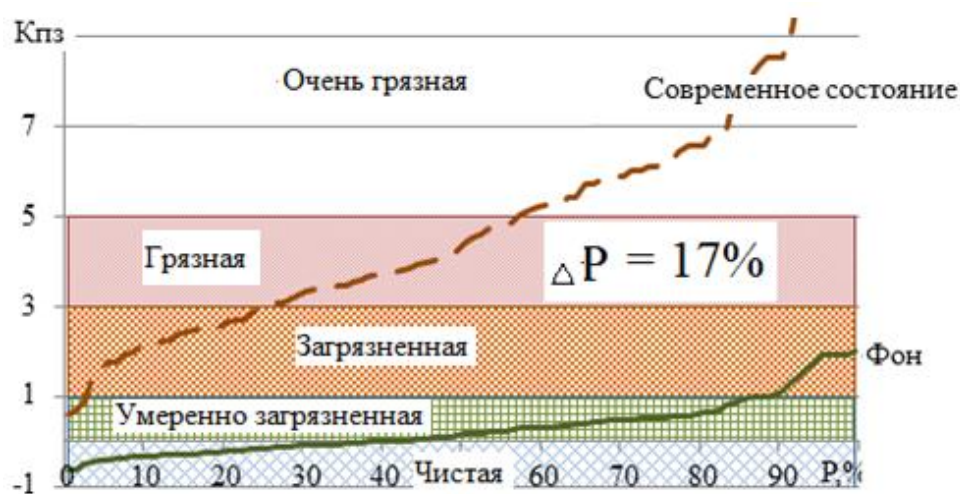


Рис. 3.13. Кривые обеспеченности комплексного показателя качества воды ($K_{пз}$) для естественных условий (фон) и современного состояния

Таблица 3.10

Качество воды в расчетных створах реки Тура и вероятность ее соответствия данному классу (P), с учётом проведения водоохранных мероприятий эффективностью 60%, в зависимости от водности года.

Створ	Водность			
	Многоводные	Средние	Маловодные	Остро маловодные
130-1	Ум. загр.	Ум. загр.	Загрязненная P=40%	
130-7	Ум. Загр.	Ум. Загр.	Загрязненная P=30%	
130-8	Ум. Загр.	Ум. Загр.	Загрязненная P=30%	
130-12	Ум. Загр.	Загрязненная P=45%		Грязная P=15%

Трофический статус реки соответствует «эвтрофной» стадии развития, в верховьях реки (створ 130-1) условия оцениваются как «гиперэвтрофные». Проведение водоохранных мероприятий с эффективностью 60% позволяет выйти на «мезотрофный» уровень во всех створах кроме 130-1. В маловодные годы условия соответствуют уровню «эвтрофный» с вероятностью до 30%. При этом, в верховьях реки возможен выход только на «эвтрофный» уровень. Однако сохраняется вероятность (не менее 50%), соответствия условиям «гиперэвтрофной» стадии.

Степень сохранности экосистемы в этом случае (проведение ВОР Э=60%) ожидается в пределах 64% (рис. 3.14), что соответствует состоянию «удовлетворительное».

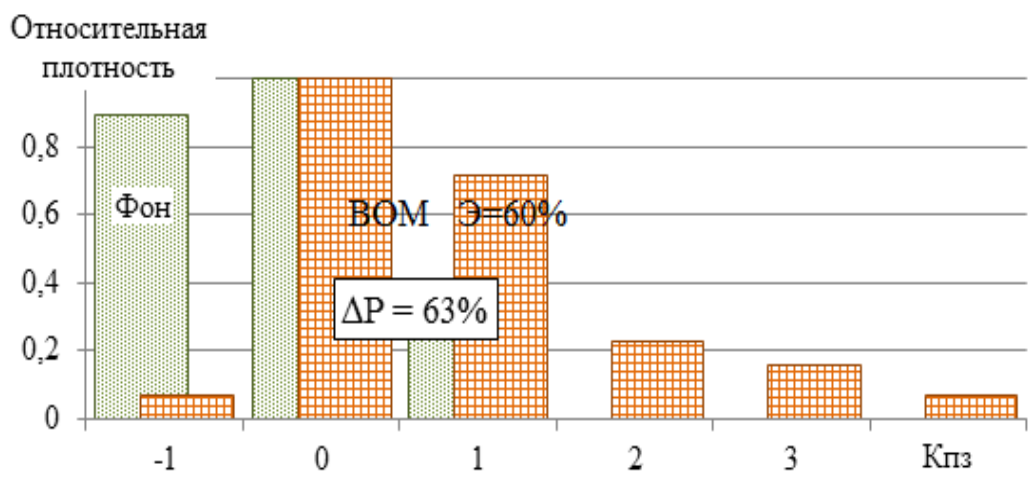


Рис. 3.14. Относительные гистограммы распределения показателя качества воды ($K_{пз}$) для естественных условий (фон) и с учетом проведения водоохранных мероприятий эффективностью 60% (ВОМ Э=60%).

Устьевой створ 130-12

3.5 Эколого-водохозяйственная оценка реки Исеть

Река Исеть приток Тобола, имеет длину 606 км и площадь водосбора 58,9 т.км². Норма стока составляет 2,23 км³. Река используется в хозяйственных целях. Объем безвозвратного водопотребления составляет примерно 7% от нормы стока (16% от стока в острожасушливый год). Степень сохранности

годового естественного стока $>80\%$, что говорит о «хорошем» состоянии системы, в отношении объемов воды.

Таблица 3.11

Объемы стока реки Исеть (устье) в зависимости от беспечности года.

Обеспеченность, %	25	50	75	95
Объем стока, км ³	2,79	1,96	1,39	0,92

Речная вода сильно загрязнена. Характерными загрязнителями воды являются: железо, медь, цинк, марганец и нефтепродукты (Табл. 3.12). Для створов 129-1 и 129-5 наиболее опасными являются: медь и марганец.

По длине реки, качество воды практически не изменяется (рис. 3.15), ухудшаясь при повышении обеспеченности стока от «загрязненной» в многоводные годы, до «очень грязной» в остро маловодные.

Таблица 3.12

Концентрации (С, мг/л) и кратность превышения нормативных значений (С/ПДК) загрязняющих веществ в расчетных створах реки Исеть.

Отчетный период.

Показатели	Створ					
	129-1		129-5		129-6	
	С	С/ПДК	С	С/ПДК	С	С/ПДК
O ₂	8.8	0.73	9.52	0.79	8.69	0.72
БПК ₅	2.29	0.76	3.66	1.22	7.56	2.52
N-NH ₄	0.31	0.62	0.62	1.24	0.445	0.89
N-NO ₂	0.005	0.06	0.038	0.48	0.069	0.86
N-NO ₃	0.17	0.02	0.97	0.11	6.89	0.76
Fe	0.43	1.43	0.24	0.80	0.606	2.02
Cu	0.0153	15.30	0.0146	14.60	0.023	23.00
Zn	0.0201	2.01	0.0243	2.43	0.091	9.10
Ni	0.0018	0.18	0.0022	0.22	0.005	0.50
Mn	0.1125	11.25	0.1081	10.81	0.08	8.00
Фенол	0.006	6.00	0.001	1.00	0.001	1.00
Нефтепр.	0.09	1.80	0.11	2.20	0.36	7.20
СПАВ	0	0.00	9.52	0.79	0.01	0.02

Состояние реки во всех створах соответствует «эвтрофному» уровню (оценка сделана для условий среднего года 50% обеспеченности). Проведение

водоохранных мероприятий с эффективностью $\Xi=60\%$ позволят создать условия «мезотрофной» стадии для верхней части реки (створ 129-1). В средней и нижней части реки достаточны мероприятия с эффективностью $\Xi=20\%$.

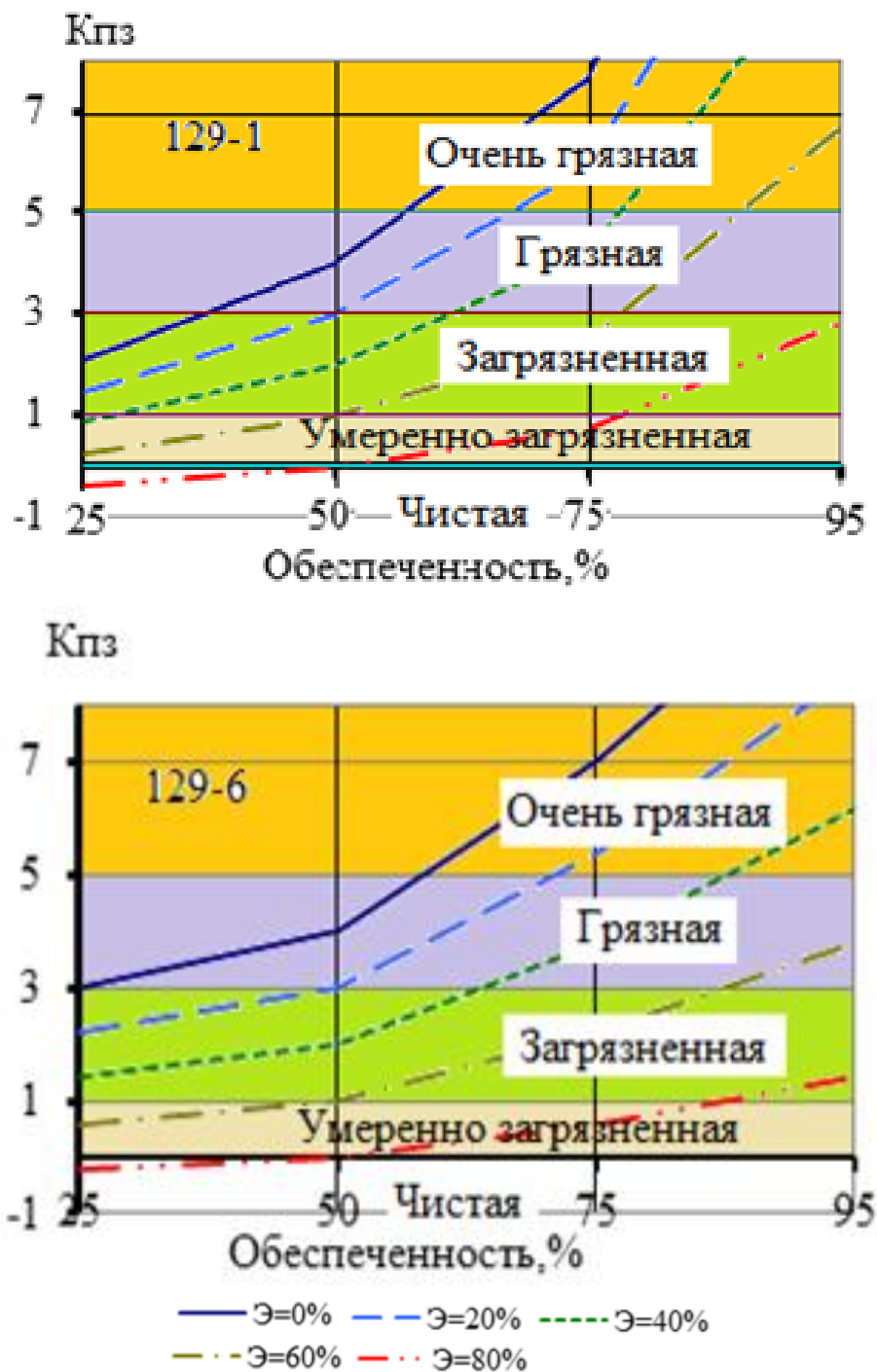


Рис. 3.15. Кривые обеспеченности показателя качества вод (Кпз) для створов реки Исеть без учета и с учетом водоохранных мероприятий (Ξ ,%)

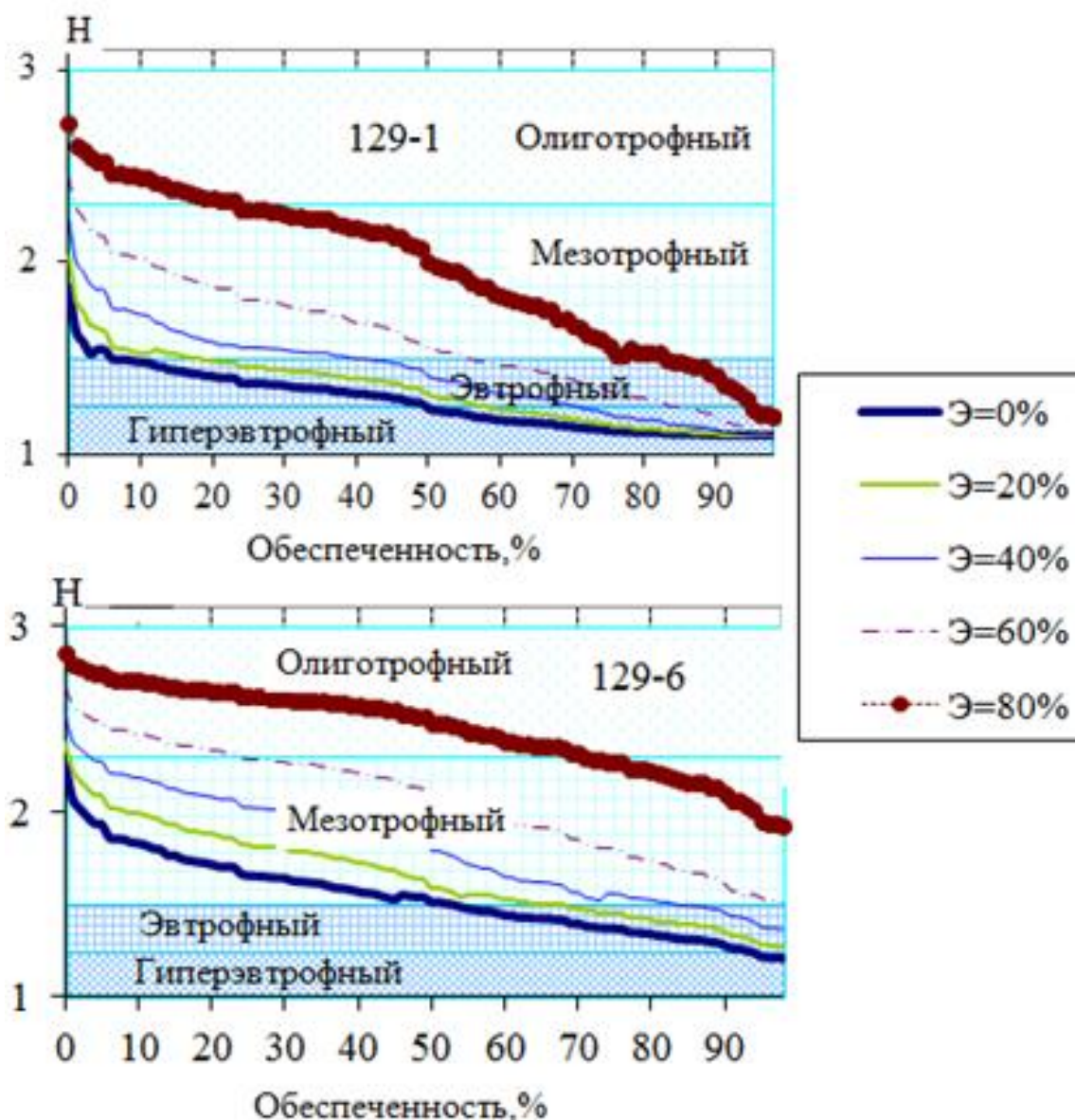


Рис. 3.16. Влияние водоохранных мероприятий разной эффективности $\mathcal{E}$, % на изменение условий, соответствующих разным трофическим стадиям, в зависимости от обеспеченности стока

3.6 Эколого-водохозяйственная оценка притоков главных рек

В данном разделе рассмотрены притоки рек Исеть (Синара, Теча, Миасс), Тобола (Тавда) и Иртыша (Конда, Вагай). Суммарный сток рек составляет 30% от стока Иртыша, в том числе: сток Конды и Вагай - 12%. Сток рек Тавда, Уйя, Синара, Теча, Миасс составляет - 59% от стока реки Тобол. Причем сток Синары, Течи и Миасса составляет - 42% от стока реки Исеть (Табл. 3.14).

В настоящее время безвозвратное водопотребление незначительное, в пределах 10% ... 20% можно считать допустимым, т.к. (по объёмам стока) обеспечить сохранность естественных условий с вероятностью не менее $\Delta P_{20\%}=65\%$, что больше допустимого уровня в 60% (рис. 3.17).

Таблица 3.12

Гидрологические характеристики притоков основных рек бассейна Иртыша

Река	L, км	F, т. км ²	Норма стока, км ³	Сток разной обеспеченности, км ³			
				25	50	75	95
Тавда	719	88,10	14,000	16,90	13,10	10,20	7,32
Конда	1097	72,8	9,777	14,70	0,920	0,38	0,30
Вагай	555	23,00	0,260	12,6	10,4	8,48	6,19
Уйя	262	34,40	0,519	0,700	0,453	0,257	0,101
Синара	148	6,69	0,187	0,238	0,165	0,102	0,037
Теча	243	10,98	0,211	0,282	0,147	0,063	0,013
Миасс	658	21,80	0,548	0,697	0,499	0,328	0,271

Класс качества воды в реках изменяется в следующих пределах (рис. 3.26):

- «умеренно загрязненная» - «загрязненная» - для притоков р. Исеть (Синара, Теча, Миасс);
- «загрязненная» - «очень грязная» - для притоков Иртыша (Конда, Вагай);
- «грязная» - «очень грязная» для притоков реки Тобол (Уйя, Тавда).

Характерными для всех рек загрязнителями являются: железо, медь, цинк, марганец, фенолы и нефтепродукты. Их концентрации, в отчетный период зафиксированы на уровне от 6 до ~45 ПДК (Табл. 3.13).

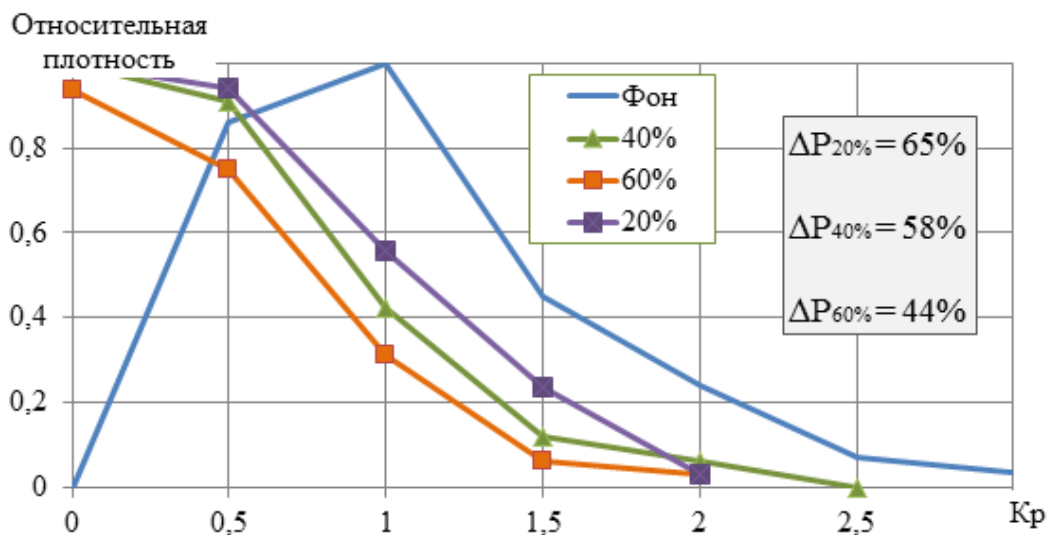


Рис. 3.17. Полигоны распределения модульных коэффициентов стока (K_p) реки Синара для условий естественного фона и с учетом безвозвратного водопотребления: 20, 40 и 60% от нормы

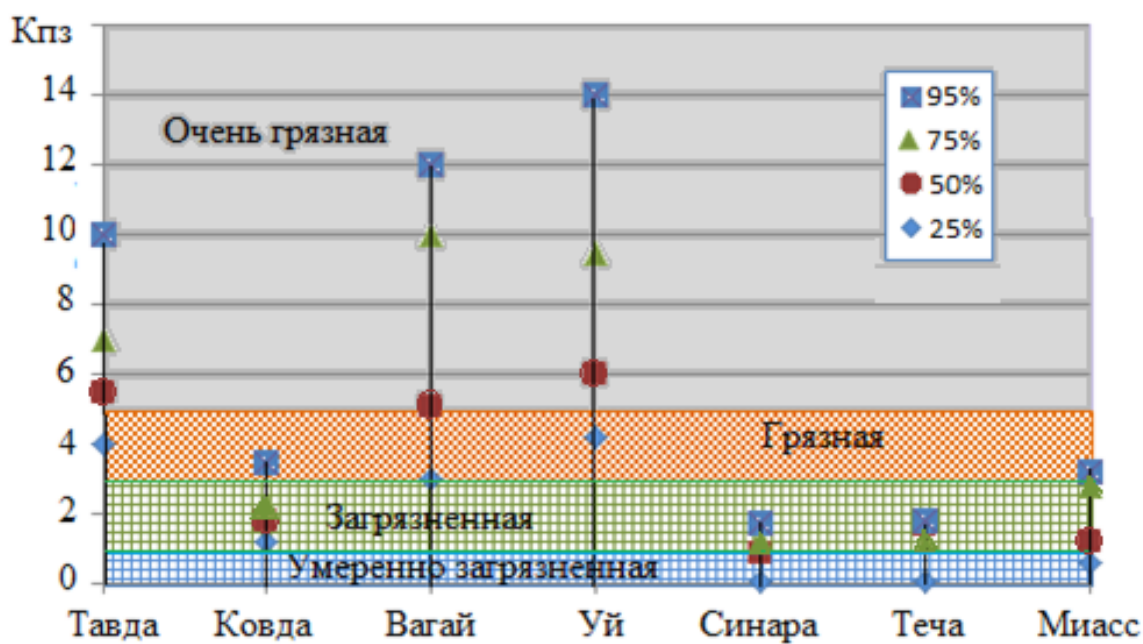


Рис. 3.18. Изменение качества воды в реках в зависимости от обеспеченности стока (25, 50, 75 и 95%)

Достижение класса качества воды «умеренно загрязненная» возможно при проведении водоохраных мероприятий эффективностью 40-60% (Табл. 3.14). Однако, для рек Тавда, Вагай и Уйя на данный уровень невозможно выйти при проведении мероприятий с $\Xi=80\%$.

Уровень трофности, в настоящее время, оценивается следующим образом (Табл. 3.15):

- «мезотрофный» - реки Синара, Теча;
- «эвтрофный» - Ковда, Миасс;
- «гиперэвтрофный» - Тавда, Вагай и Уйя.

Таблица 3.14

Требуемая эффективность (Э,%) планируемых водоохранных мероприятий (ВОМ), позволяющих достичь условий «умеренно загрязненного» класса для лет разной обеспеченности (Р,%).

Условия	Реки						
	Тавда	Конда	Вагай	Уйя	Синара	Теча	Миасс
Р=25%	>60	40	60	>60	-	-	20
Р=50%	80	40	80	80	20	20	20
Р=75%	80	>40	Загр.	80	20	40	60
Р=95%	Загр.*	60	Загр.	Загр.	40	40	60

*Возможность достижения «загрязненного» класса качества воды при эффективности ВОМ Э=80%.

Таблица 3.15

Уровень трофности рек на современный период без учета и с учетом эффективности (Э,%) планируемых водоохранных мероприятий (ВОМ), позволяющих достичь условий «мезотрофного» уровня.

Условия	Реки						
	Тавда	Конда	Вагай	Уй	Синара	Теча	Миасс
Без ВОМ	Г.Э.	Э	Г.Э.	Г.Э.	М	М	Э
Э _{ВОМ} ,%	80	20	80	80	-	-	20

Принятые обозначения: Г.Э. – гиперэвтрофный; Э – эвтрофный; М – мезотрофный.

Таблица 3.13

Кратность превышения нормативных значений (С/ПДК) и нормативные значения (ПДК, мг/л) загрязняющих веществ в воде рек. Отчетный период.

Показатель и	Притоки							ПДК
	Тавда	Конда	Вагай	Уйя	Синара а	Теча	Миасс	
O ₂	1	0,726	0.53	0.88	0.78	0.72	0.88	12
БПК ₅	1	0,4	0.86	1.17	0.8	0.93	0.73	3
NH ₄	0.94	2,98	0.73	0.66	1.02	0.48	0.93	0.5
NO ₂	0.08	0,038	0.25	0.7	0.34	0.1	4.51	0.08
Fe	6.73	6,267	4	1.6	1.43	1.69	1.48	0.3
Cu	15.9	11,5	9.74	11	11.18	9	2.83	0.001
Zn	2.85	1,97	3.56	2.3	1.85	3.9	0.39	0.01
Ni	1	-	-	3.9	0.73	-	0.05	0.01
Cr	-	4	-	-	-	-	-	0.001
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	11.67	-	0.03
Mn	42.8	-	44.85	25	11.18	7.98	0.92	0.01
Фенол	2	3	2	0.0	2	0.0	1.33	0.001
Нефть	5.4	2,4	1.94	41.2	1	0.48	4	0.05
СПАВ	0.1	0,06	0.02	0.08	0.07	0.06	0.68	0.5

Вывод

Класс качества воды рек: Тобол, Ишим, Тура, Конда, Исеть в настоящее время соответствует уровню «загрязненная», что говорит о слабом протекании процессов самоочищения воды и постоянности поступления загрязненных стоков. Повышенной загрязненностью отличаются притоки: Тагил, Тавда, Вагай, Уйя. Учитывая достаточно большой вклад в гидрологический режим главных рек, их загрязнённый сток существенно влияет и на гидрохимический режим главных рек (Табл. 3.16).

Качество воды в реке Тавда соответствует уровню «очень грязная», что особо опасно для Иртыша, в связи с большим объемом стока Тавды (норма стока 13600 млн. м³). Наибольшую опасность загрязнения представляю такие вещества как: медь, цинк, марганец и нефтепродукты.

Таблица 3.16

Сводная таблица оценки качества воды по расчетным створам бассейна
реки Иртыша отчетный период.

Створ	Кпз	Класс качества	Норма стока ,млн.м ³	Река	Вклад в загрязненность Иртыша, %
123	3.58	Грязная	27200	Иртыш	-
126-3	1.14	Загрязненная	27300		
126-4	1.31	Загрязненная	29100		
126-8	0.41	Умеренно загрязненная	33800		
126-10	0.45	Умеренно загрязненная	38200		
126-12	0.73	Умеренно загрязненная	40800		
133-1	4.89	Грязная	66900		
133-5	2.13	Загрязненная	85600	Ишим	3
124	2.79	Загрязненная	1890		
125-1	2.49	Загрязненная	1840		
127	1.84	Загрязненная	552	Тобол	38
132-5	1.56	Загрязненная	1420		
132-7	2.92	Загрязненная	3380		
132-8	0.63	Загрязненная	11900		
132-9	2.63	Загрязненная	26330	Тура	27
130-1	2.86	Загрязненная	840		
130-7	2.52	Загрязненная	5710		
130-8	2.45	Загрязненная	5800		
130-12	4.20	Грязная	11900	Тагил	1
130-2	3.43	Грязная	250		
130-10	2.05	Загрязненная	840	Тавда	39
131-2	5.14	Очень грязная	14000	Конда	9
133-4	1.63	Загрязненная	9777	Вагай	>1
126-11	4.27	Грязная	260	Уй	2
132-3	5.81	Очень грязная	519	Синара	>1
129-3	1.50	Загрязненная	187	Теча	>1
129-4	1.85	Загрязненная	211	Миасс	>1
128-3	0.45	Умеренно загрязненная	548		
129-1	2.09	Загрязненная	270	Исеть	4
12			19		
9-5	.99	Загрязненная	60		
12			22		
9-6	.35	Грязная	30		

4. ВОДООХРАННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Оценка направленности водоохраной деятельности проводится с целью определения места проведения водоохранных мероприятий по улучшению качества воды в реке и рассматривается по схеме:

- моделирование загрязненности воды по длине реки;
- модельный расчет изменения загрязненности воды по длине реки с учетом водоохранных мероприятий.

4.1 Источники загрязнения реки Иртыш

Качество воды в реке Иртыш изменяется по длине от «очень грязной» до «умеренно загрязненной» и зависит от водности года. от (Табл. 4.1).

Таблица 4.1

Изменение качества воды по створам реки Иртыш для лет расчетных обеспеченностей.

Створ	Классы качества воды для лет разной обеспеченности по стоку			
	25%	50%	75%	95%
123	Загрязненная	Грязная	Грязная	Очень грязная
126-3	Ум.загрязнен.	Загрязненная	Загрязнен.	Загрязнен.
126-4	Ум.загрязнен.	Загрязненная	Загрязнен.	Загрязнен.
126-8	Ум.загрязнен.	Ум.загрязнен.	Загрязнен.	Загрязнен.
126-10	Ум.загрязнен.	Ум.загрязнен.	Загрязнен.	Загрязнен.
126-12	Ум.загрязнен.	Ум.загрязнен.	Загрязнен.	Загрязнен.
133-1	Грязная	Грязная	Очень грязная	Очень грязная
133-5	Загрязненная	Загрязненная	Загрязненная	Грязная
Среднее по створам	Загрязненная	Загрязненная	Загрязненная	Грязная

Значительное ухудшение качества воды отмечается в створах:

- 123 – на границе с Республикой Казахстан,
- 133-1 - после впадения р. Тобол и сброса стоков города Тобольск.

Следует отметить, что в остро маловодный год увеличивается загрязненность в створе 133-5. Это связано с влиянием города Ханты-Мансийск и притока Конда. Влияние притока, в настоящее время, незначительное, так как его загрязненность примерно такая же как и Иртыша. Однако, если качество воды в реке Иртыш улучшится, например, до класса «умеренно загрязненная», влияние Конды возрастет до 30%.

Таким образом, отмечаются очаги загрязнения реки Иртыш:

- сток, поступающий с территории Казахстана;
- сток реки Тобол;
- сброс загрязненных сточных вод города Тобольск.

4.2 Формирование системы уравнений для расчета изменения загрязненности речной воды

Моделирование загрязненности воды, с учетом водоохранных мероприятий, для лет разной обеспеченности (25, 50, 75 и 95%), проведено с помощью уравнений гидрохимического и водохозяйственного балансов (рис. 4.1):

$$K_{пз.i} = (K_{пз.i-1} \times W_{i-1} - (K_{пз.i-1} \times W_{i-1} + K_{пз.пр.i} \times W_{пр.i}) \times \exp(-k \times L_i)) / W_i$$

$$W_i = W_{i-1} + W_{пр.i} \quad (4.1)$$

где $K_{пз.i}$ - коэффициент предельной загрязненности воды в ниже лежащем створе i ; $K_{пз.i-1}$ - коэффициент предельной загрязненности воды в выше лежащем створе $i-1$; $K_{пз.пр.i}$ - коэффициент предельной загрязненности воды в притоке (для боковой приточности принято $K_{пз.пр.i}=0$); W_{i-1} - объем стока в створе $i-1$; W_i - объем стока воды в створе i ; $W_{пр.i}$ - объем воды в притоке или боковая приточность на участке между створами $i-1$ и i ; k - коэффициент самоочищения воды (принят равным $k=0.006$ 1/км); L_i - длина участка реки между створами $i-1$ и i .

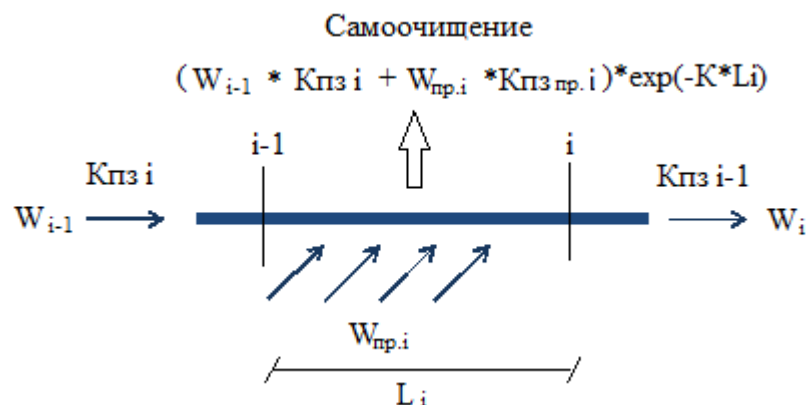


Рис. 4.1. Расчетная схема для участка реки (в расчетах принято $K_{пз пр.i}=0$)

Результаты сравнения расчетных и фактических значений гидрохимического баланса для условий маловодного года показаны на рис. 4.2. Ошибка расчетов изменяется в пределах (для лет разной водности) от 1 до 57%. Увеличение ошибки отмечается для створа 126-8 при снижении значения $K_{пз}$, особенно в маловодные годы.

4.3 Оценка эффективности водоохранных мероприятий с учетом места их проведения, для года обеспеченностью 95%

В условиях остро маловодного года загрязненность Иртыша, при современной антропогенной нагрузке, соответствует уровню «грязная» (Табл. 4.2). Улучшение качества воды в створе 123 сказывается до устьевоего створа (средняя эффективность 68%), однако уровень «умеренно загрязненной» воды сохраняется до створа 126-12.

В остро маловодный год улучшение качества воды во всех расчетных створах до класса «умеренно загрязнённой» воды возможно при проведении мероприятий:

- улучшению качества воды в створе 123 с эффективностью 73% (доведение до состояния «умеренно загрязненной» воды);
- очистка стоков города Тобольск $\mathcal{E}=80\%$;
- улучшение качества воды в реке Тобол с эффективностью не менее 53%.

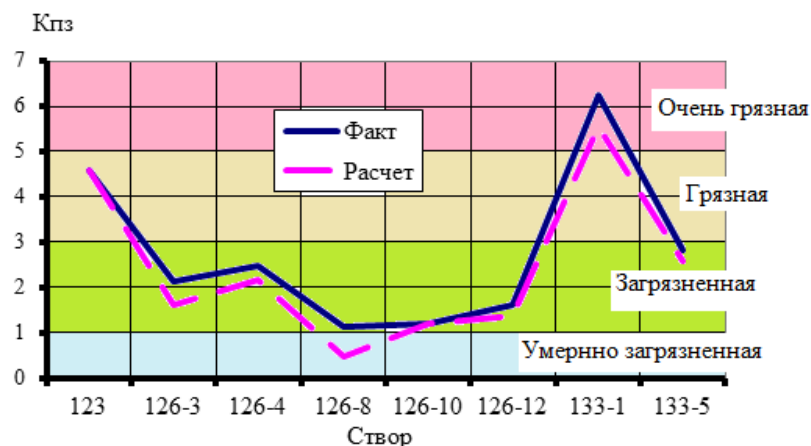


Рис. 4.2. Соответствие расчетных и фактических значений объемов стока воды в расчетных створах реки Иртыш для условий маловодного года (P=75%)

4.4 Оценка требуемой эффективности водоохранных мероприятий с учетом места их проведения. Река Тобол

В остро маловодный год, качество воды в реке Тобол, в среднем, соответствует классу «грязная» (Табл. 3.7). Причины загрязнения:

- приток загрязненных вод с территории Казахстана;
- сточные воды г. Курганск;

загрязненный сток притоков: Исеть, Тавда, Уйя, Тура (Табл. 4.3).

Таблица 4.2

Изменение загрязненности воды в реке Иртыш без учета и с учетом проведения водоохранных мероприятий. P=95%.

Створ	K _{пз}	K _{пз} с учетом водоохранных мероприятий			
		1	2	3	4
123	6.34	0.00	6.34	1.00	1.00
126-3	2.43	0.00	2.43	0.30	0.30
126-4	2.73	0.16	2.73	0.44	0.44
126-8	1.39	0.03	1.39	0.09	0.09
126-10	1.51	0.27	1.51	0.32	0.32
126-12	1.95	0.50	1.95	0.55	0.32
133-1	8.50	5.77	3.29	2.54	0.56
133-5	3.90	2.47	1.49	1.20	0.42
Среднее	3.60	1.15	2.42	0.80	0.43

Примечание. Водоохранные мероприятия:

1. улучшение качества воды в створе 123 (до $K_{пз}=0$);
2. очистка стоков города Тобольск;
3. улучшение качества воды в створе 123 (до $K_{пз}=1$) + очистка стоков города Тобольск;
4. улучшение качества воды в створе 123 (до $K_{пз}=1$) + очистка стоков города Тобольск + улучшение качества воды в реке Тобол (до $K_{пз}=1$).

Таблица 4.3

Влияние притоков на качество воды в реке Тобол.

Приток	Тура	Тавда	Уй	Исеть
Влияние, %	38	54	2	6

Улучшение качества воды в створе 127 до уровня ПДК сказывается только до створа 132-5 (рис. 4.3). Улучшение качества воды поступающей к створу 127 с территории Казахстана и очистка стоков г. Курганск сказывается до створа 132-7, ниже которого сохраняется неудовлетворительное состояние реки. Проведение, дополнительно, мероприятий по улучшению качества воды притоков Исеть и Тура приводит к достижению класса «умеренно загрязненная» во всех створах, кроме устьевого. Это связано с влиянием притока Тавда, улучшение качества воды в котором позволяет достичь класса «умеренно загрязненной» по всей длине реки Тобол.

В таблице 4.4 показано, как меняется требуемая эффективность водоохранных мероприятий направленных на достижение качества воды в реке Тобол до состояния «умеренно загрязненной», в зависимости от обеспеченности стока.

Таблица 4.4

Эффективность водоохранных мероприятий в бассейне реки Тобол, позволяющая улучшить качество ее воды до состояния «умеренно загрязненная» в год 95% обеспеченности стока.

Водоохранные мероприятия	Обеспеченность стока, %			
	25	50	75	95
1	10	28	41	47
2	43	60	71	78
3	-	73	83	88
4	-	-	92*	95*

Примечание. Эффект оценен по средним для всей реки показателям качества воды. Обозначения мероприятия:

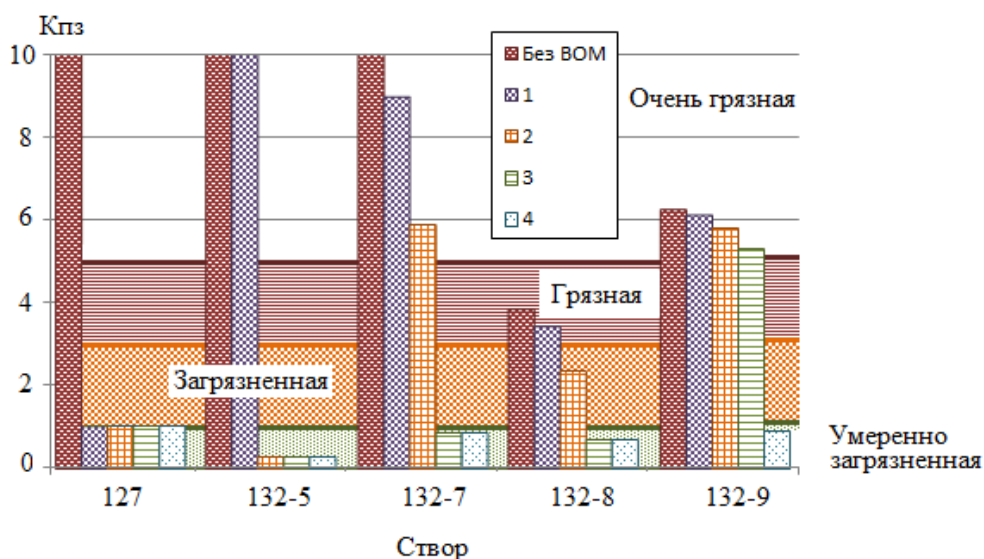
1. улучшение качества воды в створе 127 (достижение значения $K_{пз} = 0$ в данном створе);

2. мероприятие 1 + улучшение качества воды в реке Исеть и Тура»

3. мероприятие 2 + очистка стоков г. Курганск;

4. мероприятие 3 + улучшение качества воды в реке Тавда.

* Улучшение качества воды в створе 127 учитывает достижение уровня «умеренно загрязненной» воды, что соответствует значению показателя $K_{пз}=1$).



Водоохранные мероприятия:

1. улучшение качества воды поступающей к створу 127 с территории Казахстана;
2. проведение первого мероприятия и очистка стоков г. Курганск;
3. проведение первого, второго мероприятия и улучшение качества воды в реках Исеть и Тура;
4. проведение первого, второго, третьего мероприятия и улучшение качества воды в реке Тавда.

Рис. 4.3. Эффективность водоохранных мероприятий в бассейне реки Тобол, для года 95% обеспеченности

4.5 Оценка требуемой эффективности водоохранных мероприятий с учетом места их проведения. Река Исеть

Загрязненность воды в реке Исеть изменяется в пределах от «очень грязной» до «загрязненной» (Табл. 4.5), в разные по водности годы.

Таблица 4.5

Изменение качества воды по створам реки Исеть в годы разной обеспеченности стока.

Створ	Классы качества воды			
	25%	50%	75%	95%
129-1	Загрязненная	Грязная	Очень грязная	Очень грязная
129-5	Загрязненная.	Загрязненная	Грязная	Очень грязная
129-6	Загрязненная	Грязная	Очень грязная	Очень грязная
Среднее	Загрязненная	Грязная	Очень грязная	Очень грязная

Ухудшение качества воды в створе 129-1 связано со стоками городов и промышленных предприятий. Влияние притоков на загрязненность реки Исеть незначительное (Табл. 4.6).

Таблица 4.6

Влияние притоков и сточных вод городов на загрязненность реки Исеть

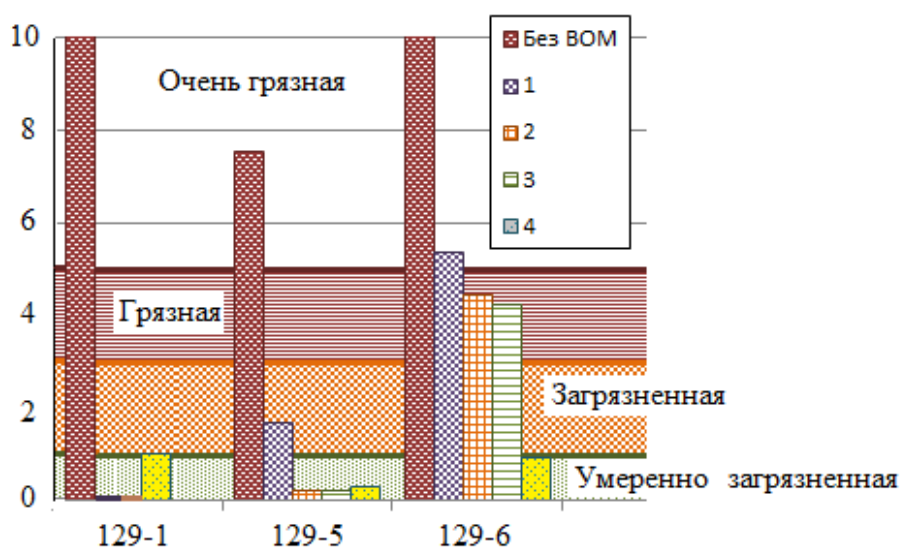
Приток	Синара	Теча	Миасс	Сточные воды
Влияние, %	4	5	3	88

Таким образом, можно выделить три основных источника загрязнения:

- г. Екатеринбург;

- г. Каменск-Уральский;
- сток, поступающий от промышленных предприятий в створе 129-6.

В остро маловодный год, качество воды, в среднем для реки Исеть, соответствует уровню «очень грязная». Водоохранные мероприятия по улучшению качества воды в створе 129-1 до уровня «умеренно загрязненная» позволяют снизить загрязненность реки примерно в 3 раза, но загрязненность воды в нижележащих створах остается значительной (рис. 4.4).



Водоохранные мероприятия.

1. Очистка стоков г. Екатеринбурга Э=92%.
2. Проведение первого мероприятия и очистка стоков Каменск –Уральский Э=86%.
3. Проведение первого, второго мероприятия и улучшение качества воды в реке Миасс Э=25%.
4. Проведение первых трех мероприятий и улучшение качества воды в створе 129-6 Э=94%

Рис. 4.4. Эффективность проведения водоохранных мероприятий по улучшению качества воды в расчетных створах реки Исеть для условий остро маловодного года (обеспеченность 95%)

Очистка стоков города Каменск - Уральский снижает загрязненность до створа 129-5. Неудовлетворительное состояние сохраняется в низовьях реки (створ 129-6).

Улучшение качества воды в створе 129-6 возможно на основе проведения мероприятий по улучшению качества воды в реке Миасс с эффективностью $\Xi=25\%$ и очистки сточных вод промышленности в створе 129-6 с эффективностью $\Xi=94\%$.

В таблице 4.7 представлены значения эффективности водоохранных мероприятий, для доведения качества воды в реке Исеть до состояния «умеренно загрязненная».

Таблица 4.7

Эффективность водоохранных мероприятий по улучшению качества воды в реке Исеть до состояния «умеренно загрязненная» в годы разной обеспеченности стока.

№ п/п	Водоохранные мероприятия	Обеспеченность стока, %			
		25	50	75	95
1	Очистка стоков г. Екатеринбурга	45	56	65	49
2	Очистка стоков Каменск - Уральский	98	77	80	79
3	Улучшение качества воды в реке Миасс	-	-	81	80
4	Улучшение качества воды в створе 129-6	-	-	87*	88*

Примечание. Эффект оценен по средним для всей реки показателям качества воды. Обозначения мероприятия:

1. очистка стоков г. Екатеринбурга (доведение показателя $K_{пз}$ реки до нуля);
2. мероприятие 1+очистка стоков Каменск – Уральский;
3. мероприятие 2+улучшение качества воды в реке Миасс;
4. мероприятие 3+улучшение качества воды в створе 129-6

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОГО ОБЪЕМА ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ ИЗ РЕКИ

Объем водопотребления из реки возможен в пределах лимита ($W_{л}$), который определяется как разность между естественным (W_p) и экологически допустимый ($W_э$) стоком.

$$W_{л}=W_p-W_э \quad (5.1)$$

Лимит воды (товарный сток), представляет собой максимальный объем воды, который можно использовать для целей безвозвратного водопотребления, не приводя к существенному снижению экологической

устойчивости водного объекта. «Лимиты водопотребления представляют собой предельно допустимые объемы изъятия водных ресурсов, которые устанавливаются водопользователю на определенный срок» /Водный кодекс Российской Федерации: принят ГД РФ от 03.06.2006 N 74-ФЗ/. Таким образом, лимитирование призвано обеспечить условия соблюдения экологических нормативов воздействия на водные объекты.

Водопотребление осуществляется для питьевых, культурно-бытовых, технических и других целей, которые отличаются требованиями к качеству воды в водных источниках. Наличие станций водоподготовки в значительной степени снижает эти требования, но приводит к увеличению затрат. Поэтому, при определении лимитов воды следует учитывать ее качество.

Решение данной задачи проводится в два этапа.

1. Определение экологически допустимого ($W_э$) и товарного стока ($W_л$). *Представление результатов и их анализ, удобно выполнять, выражая объемы речного стока через модульные коэффициенты (Kp):*

$$\begin{aligned} W_p &= Kp \times W_o & W_э &= Kp_э \times W_o_э \\ W_{mc} &= Kp_л \times W_o_л \end{aligned} \quad (5.2)$$

где Kp , $Kp_э$, $Kp_л$ – соответственно, модульные коэффициенты, естественного, экологического и товарного (лимита) стоков; W_o , $W_o_э$, $W_o_л$ – соответственно, нормы естественного, экологического и товарного (лимита) стоков (среднемноголетние значения).

В этом случае модульные коэффициенты стока (Kp) и комплексные показатели качества воды ($K_{пз}$) можно отображать на одной шкале графиков, как безразмерные величины.

2. Оценка качества объемов воды определяющих лимит водопотребления.

Экологический сток предназначен для следующих целей.

- Сохранения минимального средообразующего объема. В этом случае требуется сохранять скорость течения воды в диапазоне $0.25^* - 0.6$ м/с (0.25 м/с - нижний предел скоростного режима, при котором начинается бурное развитие фитопланктона), при глубинах потока не

менее 0.1-3м [Ткачев, Буланов, 2002]. Наибольшая важность средообразующей роли реки видится в отношении меженных периодов. Летом наблюдается активизация процессов жизнедеятельности, а зимой возникает необходимость создания специальных условий зимовки (объем свободной воды подо льдом, обеспечение необходимого качества воды).

- Выполнение рекой ее природных функций, например – транспорт вещества и энергии. Экологический сток должен обеспечивать необходимую минимально-допустимую транспортирующую способность потока воды. Это позволяет реке самоочищаться, путем выноса веществ за свои пределы (на поймы, в водоприемники). В основном это происходит в периоды половодья и паводка. В меженные периоды создаются условия для развития, размножения и перезимовки гидробионтов.

Таким образом, величина экологически допустимого стока должна учитывать [Владимиров, Имамов 1994]:

- объем необходимый для создания среды обитания гидробионтов;
- выполнение рекой ее природных функций;
- внутригодовую изменчивость стока;
- изменчивость стока по годам.

В практике водного хозяйства используются разные способы определения величины экологического стока. Все они могут быть условно объединены в группы.

А. Способы минимальных расходов

В данной группе выделяются несколько подходов.

- Величина экологического стока ограничивается пределами: среднемесячного расхода воды для года 99% обеспеченности и $(0.25-0.50) \cdot Q_{ср.мн}$, где $Q_{ср.мн}$ – среднегодовое расхождение воды в реке, [Фашевский, 1993].
- Величина экологического стока принимается на уровне минимального месячного расхода для года 95% обеспеченности [Владимиров, 1995].

- Величина экологического стока принимается в диапазоне от $Q_{\min}$, который зависит от коэффициента вариации годового стока реки, до $Q_{\text{доп}} = 0.3 \cdot Q_{\text{ср. год}}$. [Ладынина, 1986]:

C_v	< 0.25	$0.25 - 0.40$	> 0.40
$Q_{\min}$	$Q_{\min. \text{ месц}}$	$Q_{\min. \text{ межень}}$	$Q_{\min. \text{ год}}$

- Величина экологического стока принимается в зависимости от класса реки [Ткачев, Буланов, 2003]:

Класс рек	Ручьи	Малые	Средние
Q_3	$0.03 \times Q_{\min. \text{ сут}}$	$0.2 \times Q_{\min. \text{ сут}}$	$0.75 \times Q_{\min. \text{ месц}}^{95\%}$

- В Белоруссии величина экологического стока принимается на уровне $0.75 \cdot Q_{\text{ср.месячн.}}^{95}$. На Украине используется эмпирический коэффициент (К), позволяющий учесть класс рек: $Q_3 = K \times Q_{\text{месяч. мин}}$, где К принимается в зависимости от расходов воды.

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	≤ 10	10-50	50-200	> 200
К	0.3	0.35	0.40	0.45
Класс рек	ручьи и малые	малые и средние	средние	Крупные

- В Швейцарии величина экологического стока устанавливается по соотношению: 1 л/с на 1 км² водосборной площади.

Данные способы не отвечают всем предъявляемым к экологическому стоку требованиям. Так, например, не учитываются пойменные условия и руслообразовательные процессы, что обеспечивается заданием переменной по годам величиной экологического стока. Метод позволяет определить, скорее всего, нижний минимально допустимый предел стока, который позволяет водным организмам временно пережить неблагоприятные по водности условия. В то время, как экологический сток обеспечивает условия их нормального существования.

Б. Способ натурных исследований

В этом случае проводятся исследования на реальном объекте или его модели, собирается статистический материал, который обрабатывается специальными методами (например, методами стохастической

аппроксимации). Натурные исследования позволяют получать хорошие результаты, но очевидно в инженерной практике данный способ широкого распространения не получил из-за трудоемкости и длительности.

В. Способ, учитывающий степень сохранности естественного состояния системы

Данный способ [Маркин, 2012] основан на идее Шабанова В. В. использовать в качестве показателя оценки экологического состояния водного объекта - степень сохранности экосистемы (ΔP). Этот показатель определяется при разных уровнях истощения водного объекта. Строится кривая зависимости показателя ΔP от степени истощенности, по которой для допустимого значения критерия $\Delta P_{\text{доп.}}$ определяется объем экологического стока. Рассмотрим данный способ на примере.

Объемы стока выражается в виде модульных коэффициентов (K_p) для лет разной обеспеченности (P). Коэффициенты вариации и асимметрии стока равны: $C_v=0.5$ и $C_s=2C_v$. С помощью данных, представленных в таблице 5.1, строятся полигоны распределения модульных коэффициентов естественного стока и стока, учитывающего безвозвратное водопотребление в объеме 10, 20, 30 и 50% от нормы стока (рис. 5.1).

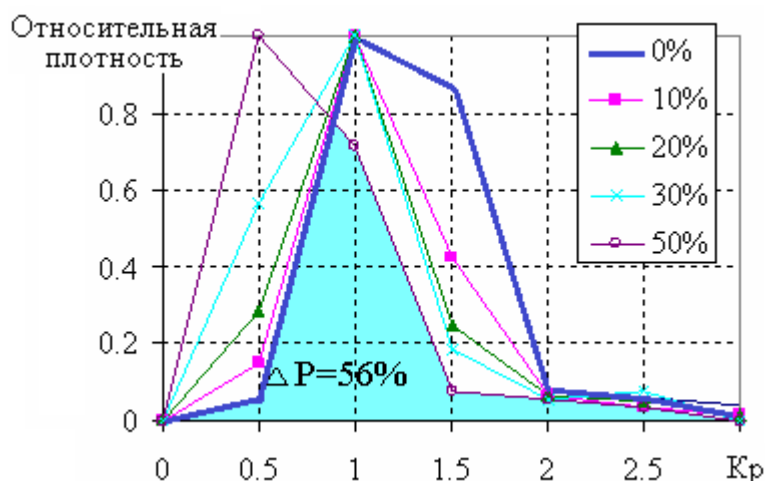
Таблица 5.1

Координаты кривых обеспеченности модульных коэффициентов стока (K_p) в зависимости от уровня безвозвратного водопотребления*.

P, %	Значения K_p при разном уровне безвозвратного водопотребления, %				
	0	10	20	30	50
0.001	2.82	2.72	2.62	2.52	2.32
10	1.40	1.30	1.20	1.10	0.90
20	1.24	1.14	1.04	0.94	0.74
30	1.13	1.03	0.93	0.83	0.63
40	1.05	0.95	0.85	0.75	0.55
50	0.97	0.87	0.77	0.67	0.47
60	0.89	0.79	0.69	0.59	0.39
70	0.82	0.72	0.62	0.52	0.32
80	0.75	0.65	0.55	0.45	0.25
90	0.64	0.54	0.44	0.34	0.14
99	0.44	0.34	0.24	0.14	0.1**

* Безвозвратное водопотребление дано в процентах от нормы стока.

**Принято минимальное значение допустимого стока.



Выделена область пересечения полигонов распределения естественного и фактического стока при уровне безвозвратного водопотребления 50%.

Данная область представляет собой вероятность сохранности естественной экосистемы ($\Delta P = 56\%$).

Рис. 5.1. Полигоны распределения модульного коэффициента естественного стока (K_p) для заданного уровня безвозвратного водопотребления (0, 10, 20, 30 и 50% от нормы стока). Река Исеть

Определяются площади перекрытия кривых: естественного и фактического стока (ΔP). Физический смысл данных площадей – вероятность сохранности естественного состояния системы (степень сохранности). В соответствии с классификационной шкалой состояния систем (Табл. 5.2), выбирается приемлемый уровень (не менее 60%), с помощью которого определяется величина экологически допустимого стока (рис. 5.2).

Таблица 5.2

Классификация состояний экосистемы по показателю степени сохранности системы.

Состояние	Катастрофическое	Неудовлетворительное	Удовлетворительное	Хорошее
$\Delta P, \%$	<35	35-60	60-80	80-100

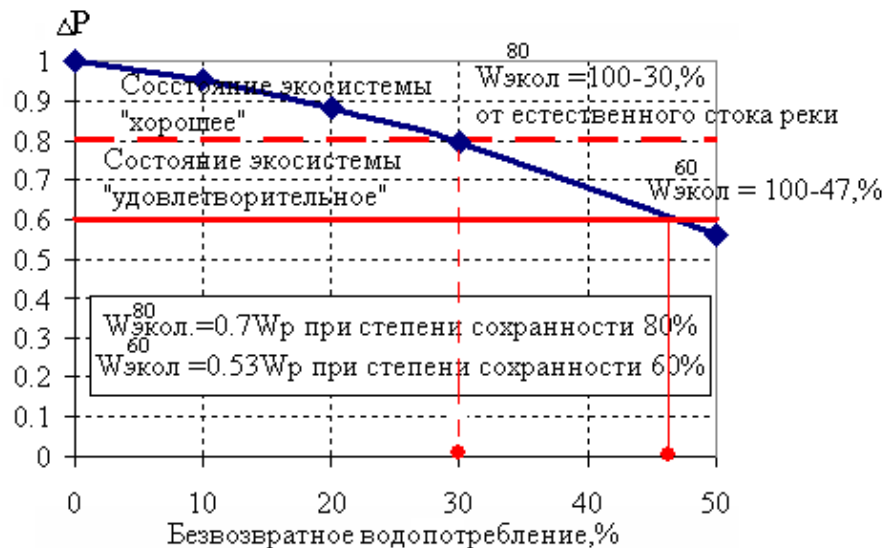


Рис. 5.2. Зависимость степени сохранности водной экосистемы (ΔP) от уровня безвозвратного водопотребления. Река Исеть

Данный метод является универсальным. Позволяет, путем статистического моделирования объемов стока, с учетом равномерного и/или неравномерного во времени антропогенного воздействия, определять величину допустимого изъятия воды для любого природного водного объекта (реки, озера, болота), разной степени зарегулированности. Экологические требования задаются индивидуально, для конкретного водного объекта, или районировано, в соответствии со стоковыми характеристиками (C_v , C_s).

Г. Способ повышения обеспеченности

Данный способ подразумевает выделение нижнего и верхнего предела изменения стока, встречающегося на реальных реках [Фашевский, 1989]. Нижний предел устанавливается на уровне минимальных месячных расходов для года 99% обеспеченности. Однако, данные условия представляют своего рода порог нормальных условий развития. Например, уже для года 95% обеспеченности на большинстве рек нашей страны не отмечается затопления пойм во время половодий и паводков. В зимний период времени концентрация растворенного в воде кислорода снижается до 3 мг/л и меньше.

Верхний предел устанавливается на уровне расходов для года 50% обеспеченности. Данный сток является достаточным для создания нормальных условий существования биоты в системе река-пойма. Так, наибольшая рыбопродуктивность и урожайность заливных лугов соответствует диапазону обеспеченности 40-70% половодья (рис. 5.3, 5.4), фактически в среднемноголетних условиях.

В диапазоне изменения допустимых расходов, между верхним и нижним пределом, принимаются значения экологического стока по схеме:

$$P=50\% \quad Q_{\text{мин}}^{50} \geq Q_{\text{мес. мин.}}^{75}$$

$$P=75\% \quad Q_{\text{мин}}^{75} \geq Q_{\text{мес. мин.}}^{95}$$

$$P=95\% \quad Q_{\text{мин}}^{95} \geq Q_{\text{мес. мин.}}^{97-99}$$

По данным координатам восстанавливается кривая обеспеченности экологического стока по логнормальному закону распределения.

Способ «Повышения обеспеченности» учитывает все требования, предъявляемые к величине экологического стока, но может быть рекомендован для крупных и средних рек с затопливаемыми пойменными участками.

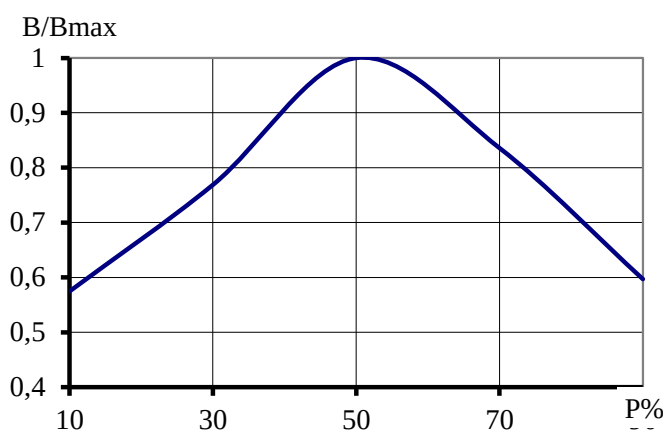


Рис. 5.3. Зависимость относительной рыбопродуктивности от обеспеченности половодья [Фашевский, 1989]

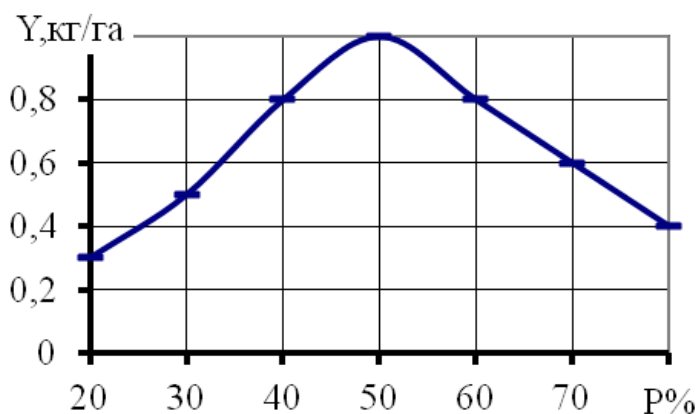


Рис. 5.4. Зависимость урожайности заливных лугов от обеспеченности стока половодья [Фащевский, 1989]

Д. Способ пропорциональных расходов

Величина экологически допустимого стока определяется пропорционально объему естественного речного стока:

$$Q_{э,i} = K_i \times Q_i,$$

где i – период года; K – эмпирический коэффициент, определяемый с помощью специальных исследований.

Данный метод получил широкое распространение в Европе. Необходимость дополнительных исследований, для определения коэффициента K , является главным недостатком метода. Однако этот недостаток устраняется, при проведении районирования территории по типизации водных объектов. По предложению Шабанова В.В. значения коэффициента K можно принять в зависимости от обеспеченности стока ($P, \%$):

$$K=0.7 \text{ если } P \leq 70\%; K=0.8 \text{ если } 70\% < P < 95\%; K=0.9 \text{ если } P \geq 95\%$$

Е. Способ сезонных ограничений

Данный способ учитывает биопродуктивность водных экосистем [Маркин, 2005] и предусматривает, в отличие от других методов, определение экологического стока по сезонам года ($Q_{э,i}$). Его годовое значение получается на основе сезонных величин. Год делится на четыре (весна, лето, осень, зима) или два сезона (весна, лето-осень-зима). Для каждого i -го сезона определяются значения среднегодового расхода

($Q_{\text{ср.мн.}i}$) и среднеквадратического отклонения (σ_i). Экологический расход воды определяется по схеме:

$$Q_{\text{э.}i} = Q^{p\%} p_i \text{ если } (Q_{\text{ср.мн.}i} - \sigma_i) \geq Q^{p\%} p_i$$

$$Q_{\text{э.}i} = (Q_{\text{ср.мн.}i} - \sigma_i) \text{ если } (Q_{\text{ср.мн.}i} - \sigma_i) < Q^{p\%} p_i$$

где $Q^{p\%} p_i$ – естественный расход воды в реке в i -ый сезон года обеспеченностью $P\%$; $Q_{\text{ср.мн.}i}$ – среднемноголетний расход воды в реке в естественных условиях в i -ый сезон года; σ_i – среднеквадратическое отклонение сезонных расходов.

Способ сезонных ограничений лучше применять для маловодных и остро маловодных лет. В средние и многоводные годы экологический сток рекомендуется определять методом пропорциональных расходов. Достоинствами метода являются: учет сезонных особенностей стока; применимость для зарегулированных и не зарегулированных рек.

Перечисленные методы позволяют получать величины экологического стока примерно в одних диапазонах. Однако минимальные значения ($Q_{\text{э.мин}}$) диапазонов отличается существенно. Поэтому следует рассмотреть вопрос о минимально допустимом значении экологического стока. Нуждается в пояснении и вопрос о внутригодовом распределении экологического стока.

Минимальное значение $Q_{\text{э.мин}}$.

Гидрограф стока реки позволяет выделить статический и динамический объемы. Статический объем обеспечивается межпластовыми подземными водами. Динамический объем представляет собой канализованный рекой поверхностный и грунтовый сток с водосборной площади. Статический ресурс определяет минимально возможный объем воды в реке. В природных условиях, вероятность его появления очень низкая. Значит, в соответствии с "Законом адаптации" [Реймерс, 1990], он не может быть принят в качестве экологически допустимого для реки. Экологический сток должен ограничивать характерные для реки – часто повторяющиеся – бытовые объемы стока. Предположим, что бытовой сток соответствует расходу межлетнего периода, на долю которого приходится 20-50% от годового, в

разные по водности годы. Для условий маловодного ($P=75\%$) и остро маловодного года ($P=95\%$) вероятность меженного стока составит, соответственно, 13%-5% от всех возможных для реки значений расхода. Это хорошо соотносится с левой точкой перегиба кривой плотности распределения расходов воды. Точки перегиба ограничивают диапазон наиболее характерных - часто повторяющихся условий, вероятность появления которых не менее 68%. В этом случае повторяемость на уровне 13% может быть принята в качестве минимального значения экологически допустимого стока. Данному условию отвечает средне меженный расход для года 75%обеспеченности. Определим какому значению годового стока соответствует данный объем. Для этого рассмотрим следующие графики.

1. Функции плотности распределения для разных значений C_v (рис. 5.5), на которых обозначены точки перегиба для области маловодных лет. Эти точки отделяют область маловодных экстремальных условий от средних и многоводных.

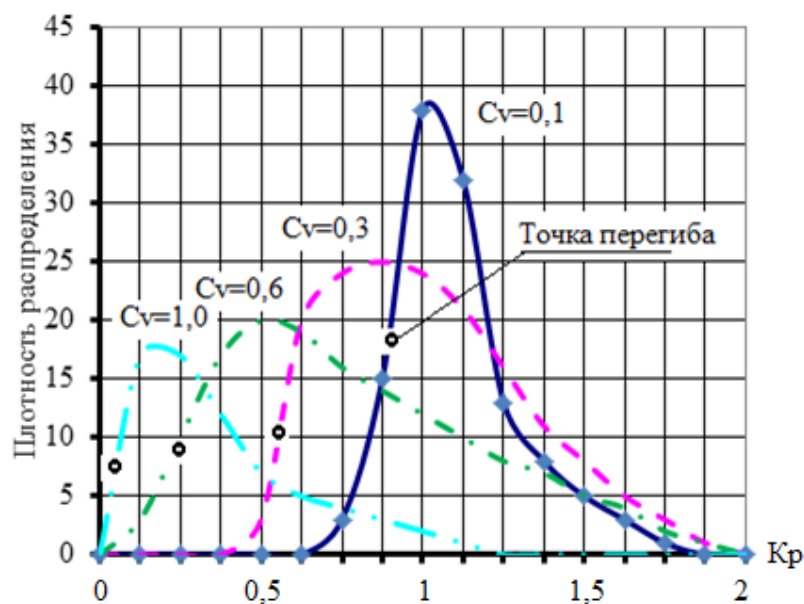


Рис. 5.5. **Функции распределения модульного коэффициента стока ($K_p=W/W_{\text{ср.мн.}}$, где W – объем сток реки в конкретный год, $W_{\text{ср.мн.}}$ - норма стока) трехпараметрического гамма распределения для разных значений C_v (0.1, 0.3, 0.6, 1)**

2. Зависимость (рис. 5.6) модульного коэффициента левой точки перегиба кривой распределения от обеспеченности годового стока ($K^{л.пер}p$). Как видно, все расчетные значения $K^{л.пер}p$ укладываются в диапазон обеспеченностей от 80 до 90%.



Рис. 5.6. Зависимость модульного коэффициента левой точки перегиба ($K^{л.пер}p$) кривой распределения объемов стока от обеспеченности годового стока

Из графиков видно, что значения модульного коэффициента точки перегиба (т.е. значения средне меженных расходов для года 75%) соответствуют значениям обеспеченности годового стока 80-90%. Таким образом, минимальное значение экологического стока не должно быть меньше средне меженного расхода для года 75% обеспеченности или среднегодового расхода для лет 80-90%.

Изменчивость экологического стока во времени

В практике проектирования необходимо учитывать изменчивость экологического стока по годам и внутри года [Коваленко, Фащевский, 1986]. Это позволяет наиболее полно сохранить способность водного объекта к выполнению природных функций.

Конкретный водный объект сформировался при определенных объемах воды, имеющих определенную обеспеченность. Например, если в природных условиях расходы воды, приводящие к затоплению земель равны $Q_{пол}$, появляются в годы с обеспеченностью $P_{год}$. При этом, даже в средние и маловодные годы, которые имеют определенную вероятность появления ($P_{с...м}$), во время половодья, так же сохраняется вероятность превышения

расходов $Q_{\text{пол.}}$ ($P_{\text{пол.}}$). Поэтому вероятность появления расходов $Q_{\text{пол.}}$ составит $P_{\text{год}} + P_{\text{с...м}} \times P_{\text{пол.}}$. Если в реке останутся данные расходы воды, соответствующие постоянному значению экологического стока, в разные по водности годы, то вероятность появления таких расходов резко снизится и составит $P_{\text{с...м}} \times P_{\text{пол.}}$ (даже если величина экологического стока будет соответствовать среднегодовому стоку для года обеспеченностью $P_{\text{с...м}}$) (рис. 5.7).

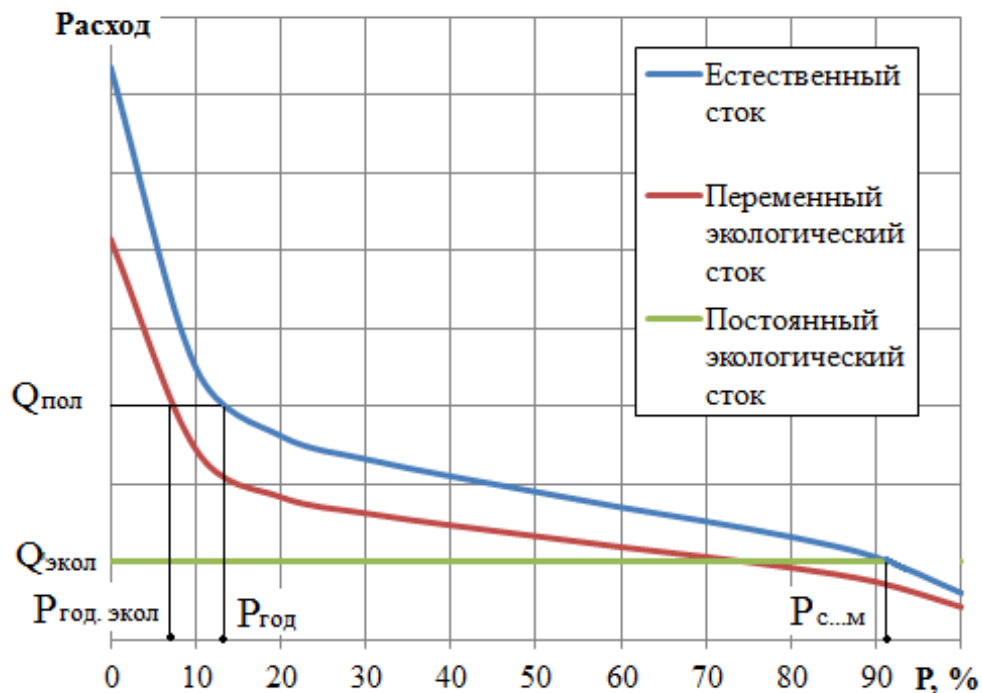


Рис. 5.7. Кривые обеспеченности естественного и экологического стока, показывающие изменение обеспеченности расходов приводящих к затоплению во время половодья ($Q_{\text{пол.}}$) для условий постоянного (а) и переменного по годам (б).экологического стока

Вероятность появления расходов превышающих $Q_{\text{пол.}}$ резко снижается для случая постоянного экологического стока, по сравнению со случаем переменных по годам экологических расходов.

Выбор метода определения экологического стока

Необходимо учитывать, что не все методы обеспечивают приемлемую степень сохранности речных экосистем (ΔP) [Маркин, 2004] (Табл. 5.3, 5.4).

Высокая степень сохранности системы достигается при определении экологического стока методом «Пропорциональных расходов» (Табл. 5.3). Однако он допускает изъятие воды из реки не более 12% речного стока, что существенно снижает возможности использования речного стока. Метод «Повышения обеспеченности», позволяет сохранить «удовлетворительное» состояние экосистемы. Величина безвозвратного водопотребления изменяется в пределах: 10-20 % в маловодные годы и 20-30 % в средние и многоводные годы.

Таблица 5.3

Сравнения способов определения величины экологического стока.

Показатели	Метод		
	Пропорциональных расходов	Повышения обеспеченности	Сезонных ограничений
Степень сохранности стока $\Delta P, \%$	86	77	70
Изменение нормы стока $\Delta Q, \%$	9.7	17	20
Изменение среднеквадратичного значения стока $\Delta \sigma, \%$	11.3	11.5	18
Изменение коэффициента вариации стока $\Delta C_v, \%$	3.4	2.2	3

Данные методы подразумевают сохранение естественного внутригодового гидрографа, что более применимо для условий равномерного внутригодового водопотребления и не зарегулированных рек.

Таблица 5.4

Классификация состояний среды по степени сохранности (ΔP).

ΔP	<35%	35—60%	60—80%	>80%
Оценка состояния	Кризисное	Не удовлетворит.	Удовлетворит.	Хорошее

Метод «Сезонных ограничений» предусматривает обоснованное осреднение гидрографа экологического стока по сезонам года, что более приемлемо для условий регулирования стока и неравномерного по месяцам водопотребления. По оценочным показателям он близок к методу «Повышения обеспеченности». Безвозвратное водопотребление допускается в пределах: 10-20% для маловодных лет, 20-30% в средние по водности годы и 30-40 % в многоводные годы.

Наиболее универсальным является способ «Оценки по степени сохранности». Он позволяет учитывать внутри сезонные и годовые изменения стока, равномерное и неравномерное водопотребление, в условиях зарегулированной и не зарегулированной реки. При этом доля безвозвратного водопотребления достигает до 40%.

Ж. Пример определения величины экологически допустимого стока по «Степени сохранности экосистемы»

Данный способ основан на идее Шабанова В.В. и заключается в определении объемов экологического стока для заданного уровня степени сохранности экосистемы ΔP (Табл. 5.4). Для разных (j-х) режимов водопотребления W_j , рассчитывается фактическая величина ΔP_j . Строится график зависимости $\Delta P_j = f(W_j)$. Допустимый режим использования речной воды ($W_э$) определяется с помощью задаваемой величины степени сохранности естественного стока $\Delta P_{доп}$.

Необходимые исходные данные: кривая обеспеченности естественного стока реки ($W^{p\%}_p$) и его внутригодовое распределение для лет расчетных обеспеченностей (например: 75 и 95%). Коэффициенты вариации (Cv_i) и асимметрии стока (Cs_i) по i-м периодам года (допустимо выделять 4-е периода: весна, лето, осень, зима; или 2-а периода: весна, лето-осень-зима). Рассмотрим данный способ на примере, выражая объемы стока, для удобства вычислений, в виде модульных коэффициентов ($Kp = W^{p\%}_p / W_0$).

Коэффициенты вариации и асимметрии стока по периодам года примем на уровне характерных для средней полосы России: весна $C^B_v=0.3$, $C^{Л-0-3}_v=0.5$ и $C_s=2C_v$ (для 2-х рассматриваемых периодов).

Кривые обеспеченности сезонного стока представлены в таблицах 5.5 и 5.6, где задано изменение стока при разных вариантах безвозвратного водопотребления: равномерно по годам с уровнем изъятия воды (ΔW) в пределах 10, 20, 30 и 50% от нормы стока.

Таблица 5.5

Кривые обеспеченности модульных коэффициентов стока (K_p) для весеннего периода ($C^B_v=0.3$), в зависимости от уровня безвозвратного водопотребления*.

Р, %	Значения K_p при разном уровне безвозвратного водопотребления, %				
	0	10	20	30	50
0.001	2.82	2.72	2.62	2.52	2.32
10	1.40	1.30	1.20	1.10	0.90
20	1.24	1.14	1.04	0.94	0.74
30	1.13	1.03	0.93	0.83	0.63
40	1.05	0.95	0.85	0.75	0.55
50	0.97	0.87	0.77	0.67	0.47
60	0.89	0.79	0.69	0.59	0.39
70	0.82	0.72	0.62	0.52	0.32
80	0.75	0.65	0.55	0.45	0.25
90	0.64	0.54	0.44	0.34	0.14
99	0.44	0.34	0.24	0.14	0.1**

* Безвозвратное водопотребление дано в процентах от нормы стока.

**Принято минимальное значение среднемесячного стока.

Таблица 5.6

Кривые обеспеченности модульных коэффициентов стока (K_p) для межennaleго периода ($C^{Л-0-3}_v=0.5$), в зависимости от уровня безвозвратного водопотребления*.

Р, %	Значения K_p при разном уровне безвозвратного водопотребления, %				
	0	10	20	30	50
0.001	4,67	4,57	4,47	4,37	4,17
10	1,67	1,57	1,47	1,37	1,17

Р, %	Значения K_p при разном уровне безвозвратного водопотребления, %				
	0	10	20	30	50
20	1,38	1,28	1,18	1,08	0,88
30	1,19	1,09	0,99	0,89	0,69
40	1,04	0,94	0,84	0,74	0,54
50	0,92	0,82	0,72	0,62	0,42
60	0,8	0,7	0,6	0,5	0,3
70	0,69	0,59	0,49	0,39	0,19
80	0,57	0,47	0,37	0,27	0,1**
90	0,44	0,34	0,24	0,14	0,1**
99	0,21	0,11	0,01	0,1**	0,1**

Обозначения соответствуют принятым в Таблице 5.5.

По данным таблиц строятся кривые обеспеченности стока (рис.5.8). Они используются для определения координат относительного распределения модульных коэффициентов (рис.5.9). Кривые распределения удобно представлять в виде полигонов. В примере, полигоны распределения строятся для диапазонов модульных коэффициентов $\Delta K_p=0,5$, что разбивает весь ряд данных по стоку на 5-ть диапазонов состояний (Табл. 5.7). Площади перекрытия кривых распределения: естественного и фактического стока для (j-x) вариантов водопотребления (ΔP_j) определены в таблице 5.8. Физический смысл данных площадей – вероятность сохранности естественного состояния системы или степень сохранности.

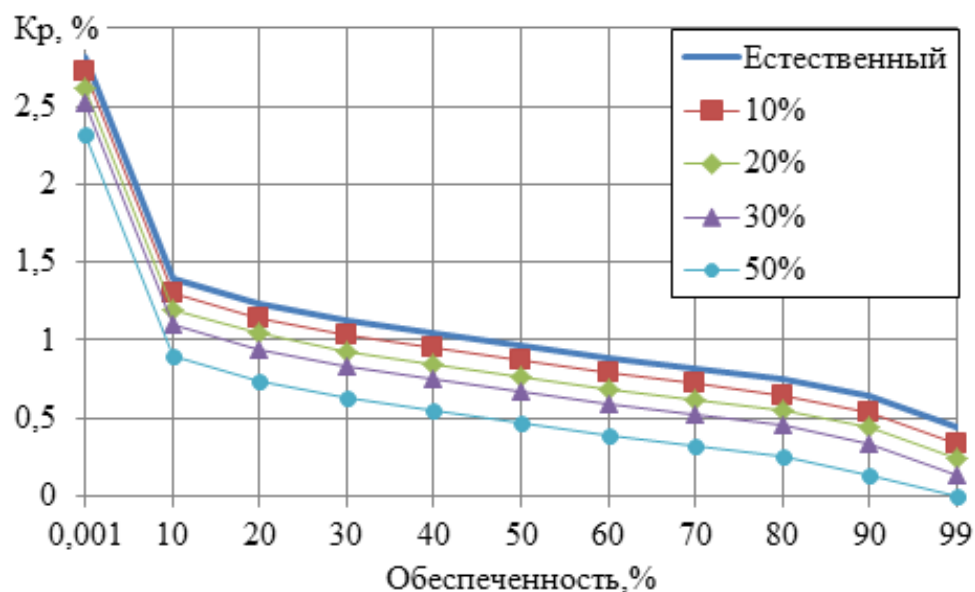


Рис.5.8. Кривые обеспеченности модульных коэффициентов естественного стока (K_p) и стока учитывающего безвозвратное водопотребления на уровне 10, 20, 30 и 50% от нормы стока, для весеннего периода ($C^B v=0.3$)

Таблица 5.7

Определение относительных ординат кривых распределения коэффициентов естественного стока (K_p) и разных уровней безвозвратного водопотребления. Весенний период.

Распределение	Сток*	Диапазоны состояний						Σ
		0-0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2	2-2,5	>2,5	
Процентное	Ест.	15	40	30	9	4	2	100
	10%	20	40	30	5	3	2	100
	20%	30	40	20	5	3	2	100
	30%	40	34	15	6	3	2	100
	50%	60	25	7	4	3	1	100
Относительное	Ест.	0,38	1,00	0,75	0,23	0,10	0,05	2,5
	10%	0,50	1,00	0,75	0,13	0,08	0,05	-
	20%	0,75	1,00	0,50	0,13	0,08	0,05	-
	30%	1,00	0,85	0,38	0,15	0,08	0,05	-
	50%	1,00	0,42	0,12	0,07	0,05	0,02	-

Распределение	Сток*	Диапазоны состояний						Σ
		0-0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2	2-2,5	>2,5	
Минимальные значения *	10%	0,38	1,00	0,75	0,13	0,08	0,05	2,38
	20%	0,38	1,00	0,50	0,13	0,08	0,05	2,13
	30%	0,38	0,85	0,38	0,15	0,08	0,05	1,88
	50%	0,38	0,42	0,12	0,07	0,05	0,02	1,04

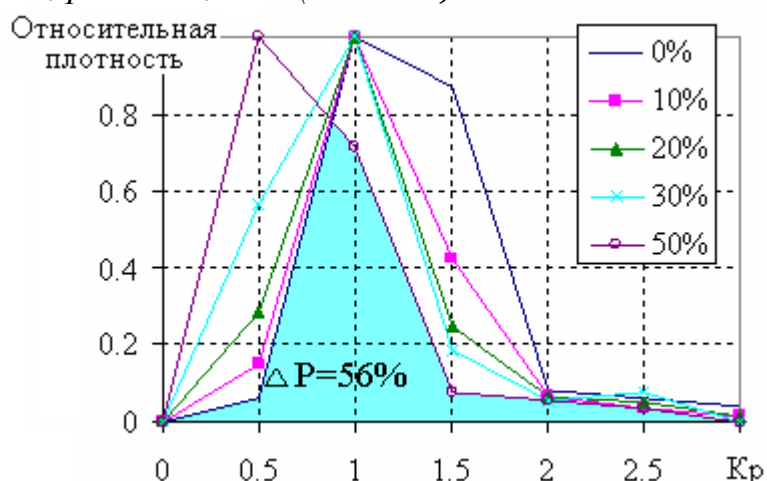
*Минимальное значение относительного распределения выбираются между кривой распределения естественного стока и стока с определённым уровнем изъятия.

Таблица 5.8

Определение степени сохранности речного стока
для вариантов безвозвратного водопотребления.

Вариант изъятия стока	Площадь перекрытия кривых распределения	
	Не приведённая*	ΔP_j
Ест.-10%	2,38	0,95
Ест.-20%	2,13	0,85
Ест.-30%	1,88	0,75
Ест.-50%	1,04	0,42

*Не приведенная к площади полигона естественного стока, равной 2,5 ед. (Табл.5.7).



В примере выделена область пересечения полигонов распределения естественного и фактического стока при уровне безвозвратного водопотребления 50%. Данная область представляет собой вероятность сохранности естественной экосистемы ($\Delta P=56\%$).

Рис. 5.9. Полигоны распределения модульного коэффициента стока (K_p) для естественных условий и заданного уровня безвозвратного водопотребления (10, 20, 30 и 50% от нормы стока). Весенний период

В соответствии с оценкой состояния систем (Табл. 5.4) выбирается приемлемый уровень степени сохранности (не менее 60%), с помощью которого определяется величина экологически допустимого стока по кривой связи $\Delta P_j = f(\Delta W_j)$. Так, в весенний период объем экологического стока составляет 70% или 53% от естественного стока половодья при допустимой степени сохранности, соответственно 80% и 60% (рис.5.10).

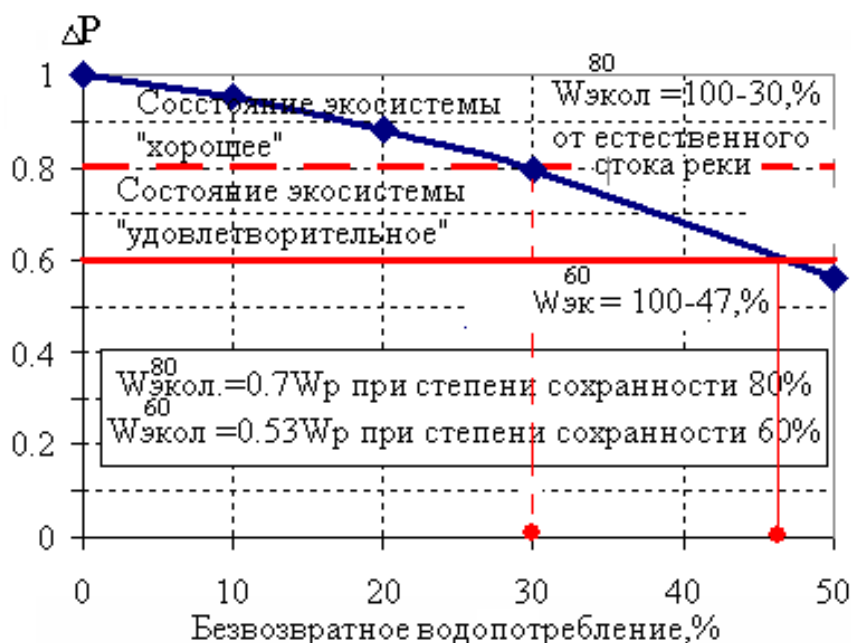


Рис. 5.10. Зависимость степени сохранности водной экосистемы (ΔP) от уровня безвозвратного водопотребления $\Delta P_j = f(\Delta W_j)$, весенний период

Аналогичные построения проводятся для меженного периода года (рис.5.11). Доля экологического стока (k_j) составляет 76% или 62% от естественного меженного стока при допустимой степени сохранности, соответственно 80% и 60%

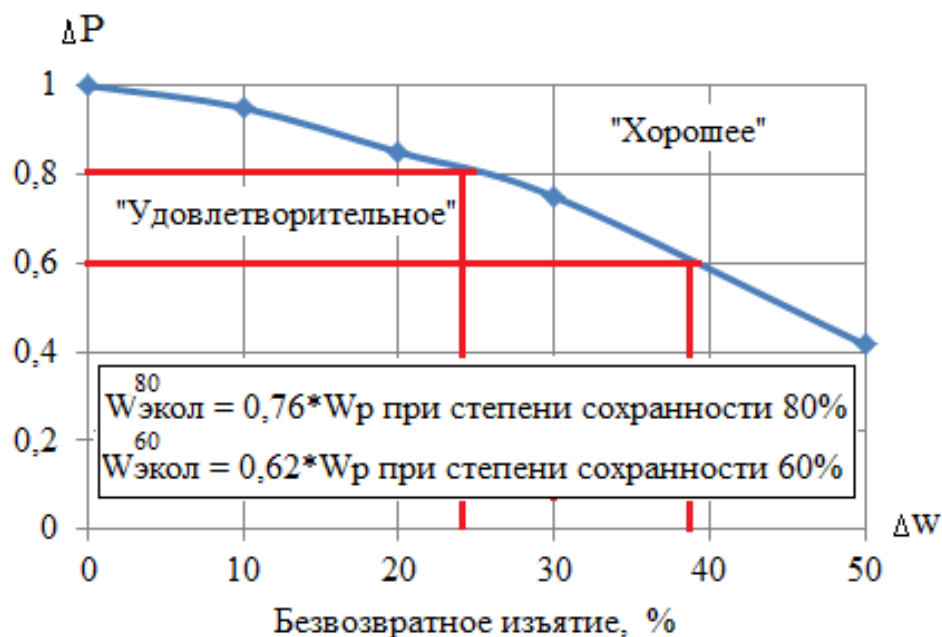


Рис. 5.11. Зависимость степени сохранности водной экосистемы (ΔP) от уровня безвозвратного водопотребления $\Delta P_j = f(\Delta W_j)$,
меженный период

Внутригодовое распределение экологического стока делается с учетом полученных значений (k_j) доли экологического стока в j -ый период года, по формуле:

$$W_{ij} = K_j \times W_i$$

где w_{ij} — объем экологического стока в i -ый месяц j -го периода года; w_i — объем естественного стока i -ый месяц.

Годовой объем экологического стока получен суммированием месячных значений и изменяется в пределах 55....71% от годового естественного стока и 62....76%, соответственно для условий маловодного и остро маловодного года (Табл.5.9).

Таблица 5.9

Процентное внутригодовое распределение объемов естественного стока реки (w_i) и рассчитанные значения экологического стока для лет 75 и 95% обеспеченности.

Параметр		Месяц												Год
		1	2	3	4*	5*	6	7	8	9	10	11	12	
w_i	75%	0,8	1,0	2,3	62,8	15,4	4,4	3,9	2,0	1,2	2,6	1,9	1,7	100

	95%	0,7	0,9	2,0	63,8	15,6	4,4	3,8	1,9	1,1	2,5	1,8	1,5	100
$w_{ij}\Delta P=8$	75%	0,6	0,8	1,7	44,0	10,8	3,3	3,0	1,5	0,9	2,0	1,4	1,3	71
0%	95%	0,5	0,7	1,5	48,5	11,9	3,3	2,9	1,4	0,8	1,9	1,4	1,1	76
$w_{ij}\Delta P=6$	75%	0,5	0,6	1,4	33,3	8,2	2,7	2,4	1,2	0,7	1,6	1,2	1,1	55
0%	95%	0,4	0,6	1,2	39,6	9,7	2,7	2,4	1,2	0,7	1,6	1,1	0,9	62

**весенний период - 4...5 месяцы. Меженный период (лето осень-зима) – 6...3 месяцы гидрологического года.*

Данный метод позволяет, путем статистического моделирования объемов стока, с учетом равномерного и/или неравномерного во времени антропогенного воздействия, определять величину допустимого изъятия воды для любого водного объекта (реки, озера, болота), разной степени зарегулированности. Экологические требования могут задаваться индивидуально для конкретного водного объекта или районировано, в соответствии со стоковыми характеристиками (C_v , C_s).

6.МЕТОДИКА ЭКОЛОГО-ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Эколого-водохозяйственная оценка водных ресурсов позволяет определить:

- класс качества воды в многолетнем разрезе;
- экологическую эффективность планируемых водоохранных мероприятий;
- оценить экологическое состояние водной экосистемы.

Необходимые исходные данные:

- кривая обеспеченности речного стока ($W=f(P)$);
- концентрации i -х загрязняющих веществ в речной воде (C_i).

1.Определение класса качества воды в многолетнем разрезе

Класс качества воды определяется с помощью комплексного показателя. Роль последнего может выполнить любой подходящий, используемый в практике показатель, например, индекс загрязнения воды (ИЗВ). В данной работе используется коэффициент предельной загрязненности воды ($K_{пз}$). Данный показатель получен при решении уравнений гидрохимического и водохозяйственного балансов, и приведен к виду широко используемому в отечественной и зарубежной практике ИЗВ.

$$K_{пз} = (1/n) \times \sum (C_i / ПДК_i) - 1 \quad (6.1)$$

где n – количество рассматриваемых веществ (рекомендуется не менее 6);

C_i – концентрация i -го загрязняющего вещества, мг/л.

В отличие от ИЗВ, в теоретических выкладках не накладывались требования к списку веществ, необходимых для расчета $K_{пз}$. Поэтому, набор загрязняющих веществ включает характерные, для конкретных условий, загрязнители (например, Fe, Cu, Zn, Ni, Mn, фенолы, нефтепродукты, СПАВ и др.). При этом, рекомендуется использовать БПК и концентрацию фосфора, так как они сами являются комплексными показателями качества воды.

Изменение качества воды в многолетнем разрезе определяется путем построения кривой обеспеченности комплексного показателя. Кривая обеспеченности коэффициентов предельной загрязненности воды строится одним из двух способов:

- по многолетним рядам;
- по данным за один год.

Выбор способа определяется наличием располагаемых исходных данных о среднегодовых концентрациях загрязняющих веществ.

а). Использование многолетних рядов среднегодовых концентраций загрязняющих веществ

В этом случае проводятся следующие расчеты:

- для каждого j -го года по формуле (6.1) рассчитываются значения коэффициентов предельной загрязненности воды $K_{пз j}$.

- Полученные значения коэффициентов $K_{пз j}$ ранжируются в убывающем порядке $\downarrow K_{пз j}$.
- Для ранжированного ряда $\downarrow K_{пз j}$ определяются обеспеченности по формуле:

$$P_j = j \times 100\% / N \quad (6.2)$$

где j – порядковый номер года в ранжированном ряду от 1 до N ; N – количество лет.

- Используя значения ранжированного ряда $\downarrow K_{пз j}$ и P_j строится кривая обеспеченности $K_{пз j} = f(P_j)$.

б). Использование данных о загрязненности воды за отчетный год

В этом случае делается предположение, что объем загрязняющих воду веществ не изменяется по годам. Это оправдано для условий загрязнения водного объекта стоками, поступающими от сосредоточенных источников, таких как: коммунально-бытовое хозяйство, промышленность, животноводство. Эти источники загрязнения отличаются наличием канализационной системы и относительно постоянным режимом сброса загрязненных вод по годам.

Кривая обеспеченности коэффициентов предельной загрязненности строится по следующей схеме.

- Используя среднегодовые концентрации i -х (где $i=1...n$) загрязняющих веществ в речной воде (C_i), для отчетного года определяется коэффициент $K_{пз}$ по формуле (6.1).
- Зная объем стока воды в реке для отчетного года $W_{от}$ и параметры трёхпараметрического гамма-распределения кривой обеспеченности речного стока (норма стока W_o , коэффициент вариации C_v и асимметрии C_s стока) определяется обеспеченность стока в отчетном году ($P_{от, \%}$) и по таблицам выписываются значения модульных коэффициентов стока для разных обеспеченностей ($K^{P\%}_p$).

Рассчитываются значения коэффициентов предельной загрязненности для разных обеспеченностей по формуле:

$$K_{пз}^{P\%} = [(K_{пз} + 1) \times K_{р\ от}^{P\%} / K_{р}^{P\%}] - 1 \quad (6.3)$$

где $K_{пз}$ – коэффициент предельной загрязненности воды для отчетного года, $K_{р\ от}^{P\%}$ – модульный коэффициент стока воды в реке для отчетного года, $K_{р}^{P\%}$ – модульный коэффициент стока для обеспеченности $P\%$.

- Используя значения $K_{пз}^{P\%}$ и соответствующие им обеспеченности $P\%$ строится кривая обеспеченности $K_{пз}^{P\%} = f(P\%)$.

2. Определение состояния водной экосистемы

По полученной кривой обеспеченности определяется вероятность (ΔP_{ϕ}) соответствия показателя $K_{пз}^{P\%}$ фоновому (естественному) классу качества (который задается в соответствии с классификационной таблицей 2.2) $K_{пз}^{\phi}$. Данная вероятность позволяет оценить состояние экосистемы с помощью таблиц 2.1 и 5.4.

3. Определение экологической эффективности водоохранных мероприятий

Определяется требуемая экологическая эффективность $\mathcal{E}_{тр}$ и эффективность предложенного мероприятия (или целого их набора) $\mathcal{E}_{вом}$.

Требуемая эффективность ($\mathcal{E}, \%$) мероприятий определяется по формуле (2.11):

$$\mathcal{E} = 100 \times (K_{пз}^{P\%} - K_{пз}^0) / K_{пз}^{P\%}$$

где $K_{пз}^0$ – коэффициент предельной загрязненности соответствующий классу качества воды, которое хотят достигнуть или достигается в результате проведения водоохранных мероприятий; $K_{пз}^{P\%}$ – коэффициент предельной загрязненности соответствующий исходному уровню загрязненности (например, без учета проведения водоохранных мероприятий).

Эффективность предложенного мероприятия (или целого их набора) $\mathcal{E}_{вом}$ определяется аналогично, но вместо величины $K_{пз}^0$ используется его значение с достигаемым значением показателя в результате проведения ВОМ $K_{пз}^{ВОМ}$:

$$K_{пз}^{BOM} = (K_{пз}^{p\%} + 1) \times (1 - \mathcal{E}_{BOM}) - 1$$

7. ПРИМЕРЫ ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ЭКОЛОГО-ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ

7.1 Определение значений показателя загрязненности воды

В качестве показателя загрязненности воды принят коэффициент предельной загрязненности ($K_{пз}$), рассчитываемый для условий отчетного периода (многоводный год 25% обеспеченности, объем годового стока $W_{от}=400\text{млн.м}^3$). Концентрации загрязняющих веществ и расчет значений коэффициентов $K_{пз}$ представлен в таблице 7.1.

Таблица 7.1

Расчет коэффициента предельной загрязненности
без учета и с их учетом BOM.

Вещества	C_i , мг/л	ПДК _i , мг/л	$C_i/\text{ПДК}_i - 1$	
			Без BOM	BOM
O ₂	9.425	12	-0.21	-0.21
БПК ₅	2.675	3	-0.11	-0.11
NH ₄	0.248	0.5	-0.50	-0.50
NO ₂	0.016	0.08	-0.80	-0.80
NO ₃	0.406	9.1	-0.96	-0.96
Fe	0.542	0.3	0.81	0.81
Cu	0.016	0.001	14.50	0.00
Zn	0.028	0.01	1.80	0.00
Ni	0.006	0.01	-0.47	-0.47
Mn	0.121	0.01	11.09	0.00
Фенол	0.002	0.001	1.00	1.00
Нефть	0.078	0.05	0.56	0.56
СПАВ	0.034	0.5	-0.93	-0.93
$W_{от}=400 \text{ млн.м}^3$			$K_{пз}=\mathbf{1.98}$	-0.12

Примечание: $W_{от}$ – годовой объем стока реки за отчетный период. ПДК – предельно-допустимая концентрация веществ, для водных объектов рыбохозяйственного значения.

Качество воды в отчетный год соответствует классу «загрязненная». Основными загрязняющими веществами являются: медь, марганец, цинк. Очистка сточных вод от данных загрязнителей позволяет снизить их содержание до уровня ПДК_{р/х}. При этом загрязненность реки снижается и для условий отчетного года качество воды переходит в класс «чистой». Однако, обоснование водоохранных мероприятий проводится для условий острожасушливого года, поэтому строится кривая обеспеченности показателя $K_{пз}$.

7.2 Построение кривой обеспеченности коэффициентов $K_{пз}$

Кривая обеспеченности строится по данным о загрязненности воды за (отчетный) период, на основе значений коэффициентов предельной загрязненности, полученных в таблице 7.1: $K_{пз}=1.98$ и $K_{пз}^{вот}=-0.12$, по формуле (6.3). В качестве исходных данных используются значения годовых объемов речного стока W_j , которые удобно выражать в безразмерном виде, через модульные коэффициенты: $Kp_j=W_j/W_{ср.мн.}$, значения которых выстраивают в убывающем порядке $\downarrow Kp_j$ (средне многолетний годовой объем стока равен $W_{ср.мн.}=360$ млн.м³). Для каждого года ранжированного ряда рассчитывается обеспеченность $P\%$ по формуле (6.5). Зная модульный коэффициент стока воды в реке для отчетного года ($Kp_{от}=W_{от}/W_{ср.мн.}=400/360=1,11$) и многолетний ряд модульных коэффициентов, рассчитываются значения коэффициентов $K_{пзj}$ для многолетнего ряда по модифицированной формуле (6.3):

$$K_{пзj} = ((1,98+1) \times 1,11 / Kp) - 1$$

Используя значения $K_{пзj}$ и $P\%$ строится кривая обеспеченности $K_{пз}=f(P\%)$. Результаты расчетов представлены в таблице 7.2.

По данным таблицы 7.2 строятся графики кривых обеспеченностей (рис. 7.1).

Таблица 7.2

Координаты кривой обеспеченности коэффициентов
 предельной загрязненности без учета ($K_{пз}^{в\text{ом}}$) и с учетом ($K_{пз}^{в\text{ом}}$)
 водоохранных мероприятий.

$\downarrow W_i, \text{млн.м}^3$	K_p	$K_{пз}$	$K_{пз}^{в\text{ом}}$	$P, \text{д.ед.}$
712.61	1.98	0.67	-0,51	0.04
515.68	1.43	1.31	-0,32	0.08
477.83	1.33	1.49	-0,27	0.12
435.54	1.21	1.73	-0,19	0.16
419.13	1.16	1.85	-0,16	0.20
415.94	1.16	1.85	-0,16	0.24
367.98	1.02	2.24	-0,04	0.28
363.56	1.01	2.28	-0,03	0.32
362.62	1.01	2.28	-0,03	0.36
355.68	0.99	2.34	-0,01	0.40
350.00	0.97	2.41	0,01	0.44
347.78	0.97	2.41	0,01	0.48
332.32	0.92	2.60	0,06	0.52
327.30	0.91	2.63	0,07	0.56
314.63	0.87	2.80	0,12	0.60
310.56	0.86	2.85	0,14	0.64
306.43	0.85	2.89	0,15	0.68
298.25	0.83	2.99	0,18	0.72
295.40	0.82	3.03	0,19	0.76
288.75	0.80	3.13	0,22	0.80
286.55	0.80	3.13	0,22	0.84
280.27	0.78	3.24	0,25	0.88
279.93	0.78	3.24	0,25	0.92
279.33	0.78	3.24	0,25	0.96
258.46	0.72	3.59	0,36	1.00
$W_{ср.мн.} = 360 \text{млн.м}^3$				

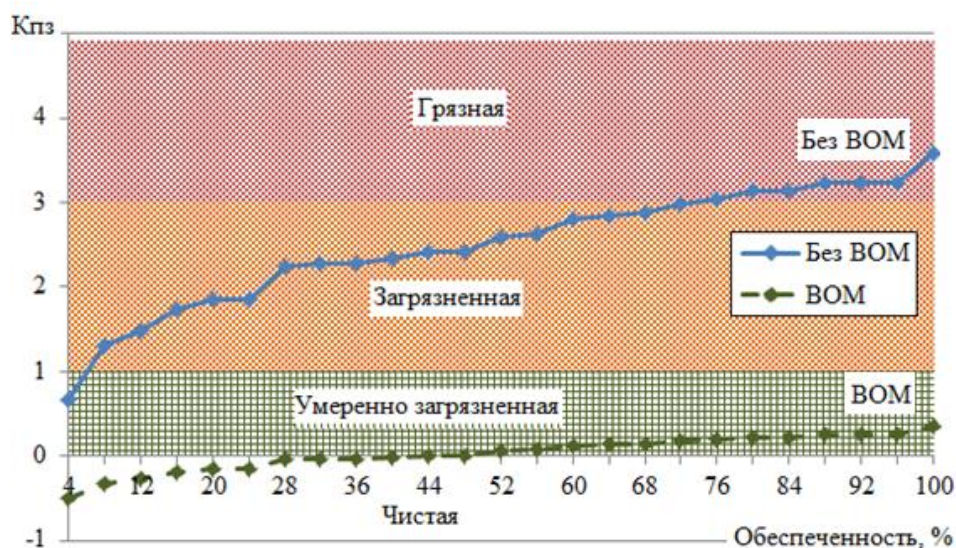


Рис. 7.1. Пример построения кривых обеспеченностей показателей загрязненности воды ($K_{пз}$) без учета и с учетом проведения водоохранных мероприятий (ВОМ)

По кривым обеспеченности определяется показатель состояния водной экосистемы ΔP без учета и учетом водоохранных мероприятий для фонового класса качества воды - «умеренно-загрязненного».

Выводы. 1. Современный период характеризуется «загрязненной» водой в годы с обеспеченностью от 3 до 76%.

2. В остро маловодные годы качество воды соответствует классу «грязная», а приемлемый уровень соответствует классу «умеренно загрязненной» воды, что является обоснованием проведения водоохранных мероприятий.

3. Водоохранные мероприятия позволяют улучшить качество воды до уровня естественного фона во все расчетные годы.

4. Без учета водоохранных мероприятий степень сохранности естественной системы $\Delta P_{\text{без ВОМ}}=3\%$, что соответствует «катастрофическому» состоянию системы.

5. С учетом проведения мероприятий эффективностью $\mathcal{E}=62\%$ экологическое состояние улучшается до уровня «хорошего» (степень сохранности системы равна $\sim 100\%$).

8. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ В MICROSOFT EXCEL

Расчеты, проводимые для оценки качества воды и состояния водной системы по методике «Соответствия параметров», можно выполнять с помощью простейших компьютерных средств, таких как MICROSOFT EXCEL.

8.1 Определение коэффициента предельной загрязненности воды ($K_{пз}$)

В рабочем окне Excel вводится название веществ, используемых для расчета комплексного показателя качества воды ($K_{пз}$), их концентрации и нормативные значения ($ПДК_{р/х}$) как показано на рис. 8.1. Для упрощения работы рекомендуется все концентрации веществ выражать в одной размерности (например, мг/л).

	EXP			
	A	B	C	D
1	Вещества	C, мг/л	ПДК, мг/л	$(C/ПДК)-1$
2	O ₂	8.5	12	$=(B2/C2)-1$
3	БПК ₅	3.26	3	
4	NH ₄	0.364	0.5	
5	NO ₂	0.016	0.08	
6	NO ₃	0.346	9.1	
7	Fe	0.63	0.3	
8	Cu	0.004	0.001	
9	Zn	0.086	0.01	
10	Ni	0.006	0.01	
11	Mn	0.176	0.01	
12	Фенолы	0.002	0.001	
13	Нефтепр.	0.089	0.05	
14	СПАВ	0.02	0.5	

Рис.8.1. Ввод исходных данных и формирование
рабочей таблицы в окне Excel

Курсор подводится на ячейку D2 и делается щелчок левой кнопкой мышки. Ячейка высвечивается черной рамкой, где набирается английским шрифтом выражение:

$$=(B2/C2)-1$$

Курсор подводится под правый нижний угол ячейки, нажимается левая кнопка мышки и, удерживая ее, делается протаскивание по всей колонке D от D2 до ячейки D14. Кнопка мышки отпускается, окно примет вид показанный на рисунке 8.2. Результаты расчета позволяют выделить вещества, по которым наблюдается превышение нормативного значения $(C_i/ПДК_i)-1 > 0$. В данном примере это: Mn, Zn, Cu, Fe, фенолы, нефтепродукты, БПК₅.

$f_x = (B2/C2)-1$		
	C	D
г/л	ПДК, мг/л	$(C/ПДК)-1$
3.5	12	-0.29
26	3	0.09
64	0.5	-0.27
16	0.08	-0.80
46	9.1	-0.96
63	0.3	1.10
04	0.001	3.00
86	0.01	7.60
06	0.01	-0.40
76	0.01	16.60
02	0.001	1.00
89	0.05	0.78
02	0.5	-0.96

Рис. 8.2. Вычисление отношений $(C_i/ПДК_i)-1$

Колонка Σ выделена. В главном меню делается щелчок по кнопке, после чего всплывает вкладка, в которой выбирается опция «Среднее» (рис.8.3). В ячейке D15 появляется среднее значение из чисел находящихся в ячейках D2...D14, это и есть значение $K_{пз}$.

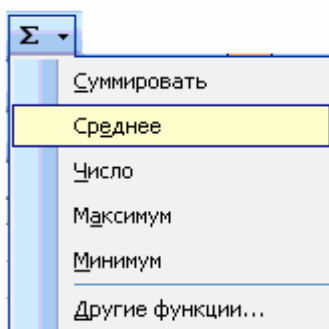


Рис.8.3. Выбор опции для расчета $K_{пз}$

В ячейки E2...E14 - G2...G14 копируются значения колонки D (D2...D15), в которых появляются одинаковые числа (рис.8.4). Таким образом, все подготовлено для учета водоохранных мероприятий.

Выбирается самое большое значение $K_{пз}$ в колонке Е (это $K_{пз}=16.60$ для Мп), которое говорит, что данным веществом вода сильно загрязнена. Это значение обнуляется в ячейках Е11, F11, G11, что соответствует проведению первого водоохранного мероприятия, направленного на доведение концентрации Мп в воде до ПДК. Значение $K_{пз}$ автоматически изменится в ячейках строки 15. Далее последовательно выбираются оставшиеся наиболее опасные загрязнители (Zn, Cu, Fe), значения которых также обнуляются. В результате рабочее окно примет вид (рис.8.5).

P12		f_x					
	A	B	C	D	E	F	G
1	Вещество	C, мг/л	ПДК, мг/л	C/ПДК-1	ВОМ-1	ВОМ-2	ВОМ-3
2	O ₂	8,5	12	-0,29	-0,29	-0,29	-0,29
3	БПК5	3,26	3	0,09	0,09	0,09	0,09
4	NH ₄	0,364	0,5	-0,27	-0,27	-0,27	-0,27
5	NO ₂	0,016	0,08	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80
6	NO ₃	0,346	9,1	-0,96	-0,96	-0,96	-0,96
7	Fe	0,63	0,3	1,10	1,10	1,10	1,10
8	Cu	0,004	0,001	3,00	3,00	3,00	0,00
9	Zn	0,086	0,01	7,60	7,60	0,00	0,00
10	Ni	0,006	0,01	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40
11	Mn	0,176	0,01	16,60	0,00	0,00	0,00
12	Фенолы	0,002	0,001	1,00	1,00	1,00	1,00
13	Нефтепр.	0,089	0,05	0,78	0,78	0,78	0,78
14	СПАВ	0,02	0,5	-0,96	-0,96	-0,96	-0,96
15	$K_{пз}=$			2,04	0,76	0,18	-0,06
16							

Рис.8.4. Вид рабочего окна с расчетами $K_{пз}$ (без учета водоохраных мероприятий) и подготовленными ячейками (Е...G) для учета водоохраных мероприятий

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Вещества	C, мг/л	ПДК, мг/л	(C/ПДК)-1	1	2	3	4
2	O ₂	8.5	12	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29
3	БПК ₅	3.26	3	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
4	NH ₄	0.364	0.5	-0.27	-0.27	-0.27	-0.27	-0.27
5	NO ₂	0.016	0.08	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80
6	NO ₃	0.346	9.1	-0.96	-0.96	-0.96	-0.96	-0.96
7	Fe	0.63	0.3	1.10	1.10	1.10	1.10	0.00
8	Cu	0.004	0.001	3.00	3.00	3.00	0.00	0.00
9	Zn	0.086	0.01	7.60	7.60	0.00	0.00	0.00
10	Ni	0.006	0.01	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40
11	Mn	0.176	0.01	16.60	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Фенолы	0.002	0.001	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
13	Нефтепр.	0.089	0.05	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
14	СПАВ	0.02	0.5	-0.96	-0.96	-0.96	-0.96	-0.96
15	К_{пз}			2.04	0.76	0.18	-0.06	-0.14

Рис.8.5. Таблица расчета коэффициентов предельной загрязненности ($K_{пз}$) без учета и с учетом водоохранных мероприятий (1, 2, 3, 4) по наиболее опасным загрязнителям

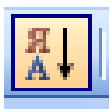
8.2 Построение кривой обеспеченности коэффициентов предельной загрязненности

Рассмотрим пример построения кривой обеспеченности коэффициентов $K_{пз}$ по данным о загрязненности воды за один (отчетный) 2001 год. В этом случае используется значение $K_{пз}=2.04$ полученное в таблице (рис.8.5) и многолетний ряд годовых объемов речного стока W_j .

В окне Excel, в ячейки столбца J, заносятся значения объемов стока (W_j).

- Занесенный в ячейки ряд (W_j) ранжируется в порядке убывания ($W_j \downarrow$).

Для этого ряд выделяется и в главном меню делается щелчок по кнопке



- Для выделенного ряда ($W_j \downarrow$), в главном меню выбирается кнопка со знаком Σ , делается щелчок по опции «Среднее». В результате, в последней ячейке колонки J появляется значение среднеемноголетнего объема стока (W_{cp}). В рассматриваемом примере $W_{cp}=2206 \text{ млн. м}^3$.

- В ячейку K2 записывается формула для нормирования значений объемов стока и перехода к модульным коэффициентам стока (K_{pj}):

$$=W_j/W_{cp}.$$

- Подводится курсор, который принимает форму (+), под выделенную точку черной рамки в правом нижнем углу ячейки с формулой. Нажимается и удерживается левая кнопка мышки и курсор протаскивается по всем ячейкам колонки В, в которых требуется получить расчетные значения (K_{pj}). В результате окно примет вид показанный на рисунке 8.7.

- В ячейку L2 записывается формула для расчета значений коэффициентов загрязненности (рис.8.7) $K_{пзj}$, учитывая что сток отчетного 2001 года, соответствует обеспеченности 60%, при этом модульный коэффициент стока равен $K_p=0,77$:

$$=0,77 \times (2.04+1)/K_{pj}-1$$

В данном примере значение $K_{пз}$ данного года, без учета водоохранных мероприятий, равно 2.04. После ввода формулы нажимается кнопка «ENTER».

EXP		X ✓ ✖		fx	
	A	B	C	D	
1	7000	3.17	$=(3311*(2.04+1)/A1)-1$		
2	6293	2.85			
3	4797	2.17			
4	4441	2.01			
5	4179	1.89			
6	3968	1.80			
7	3927	1.78			
8	3572	1.62			
9	3530	1.60			

Рис.8.6. Вид рабочего окна с рассчитанными значениями (K_p) модульных коэффициентов стока (ячейки В) и ввод формулы для расчета $K_{пзj}$ в ячейку С1

- Делается щелчок левой кнопкой мыши по ячейке L2 и захватывая курсором угловую точку ячейки C1, делается протаскивание курсора по всей колонке L. В результате, появляются ранжированные значения коэффициентов $K_{пзj} \uparrow$.
- В колонку ячеек I записываются номера ранжированных рядов $W_j \downarrow$ и $K_{пзj} \uparrow (1, 2, 3, \dots, N)$.
- В ячейку M2, записывается формула, для расчета обеспеченности стока. В данном примере взят 100 летний ряд ($N=100$). Значения обеспеченности стока рассчитываются в процентах, поэтому в числителе появляется значение 100.
- Строится график кривой обеспеченности $K_{пз}$ и K_p (рис. 8.7), по которому для значения $K_{пз}=1$ (соответствует верхней границе «умеренно-загрязненной зоны») определяется вероятность соответствия «умеренно-загрязненному» классу качества $\Delta P=29\%$.

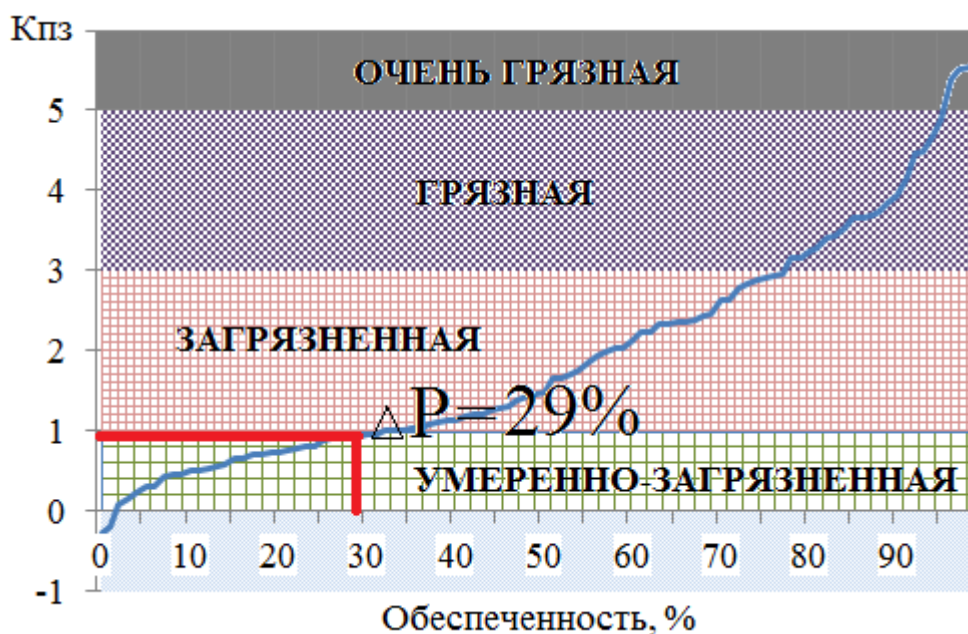


Рис.8.7. Кривые обеспеченности модульных коэффициентов речного стока (K_p) и показателя загрязненности воды ($K_{пз}$)

8.3 Пример обоснования водоохранных мероприятий по данным о загрязненности и объемах сточных вод

По данным статистической формы отчетности «2-тп ВОДХОЗ», для источников загрязнения (коммунально-бытового хозяйства городов - КБХ, промышленности, сельскохозяйственного водоснабжения - С/Х и др.) определяются показатели предельной загрязненности сточных вод ($K_{пз}^{BB}$) и их объемы ($W_{вв}$), как показано на рис.8.5. Заполняется таблица где указываются, дополнительно, объемы водопотребления и определяются показатели предельной загрязненности сточных вод ($W_{пз}$) по формуле:

$$W_{пз} = K_{пз}^{BB} \times W_{вв}, \text{ млн.м}^3$$

Данная величина выражает загрязненность сточных вод в единицах объемов воды, что позволяет использовать комплексный показатель качества воды в балансовых расчетах.

ЕЗ		fx		=C3*D3	
	A	B	C	D	E
1	Характеристика загрязненности и объемов сточных вод				
2	Источник загрязнения	W, млн.куб.м	W _{вв} , млн.куб.м	K _{вв пз}	W _{пз} , млн.куб.м
3	КБХ	37	25,9	5,1	132
4	Промышленность	71	56,8	78	4430
5	С/х водоснабжение	8,9	4,45	5,6	25
6	Итого	116,9	87,15	-	4587
7					

Рис.8.8. Вид окна интерфейса с таблицей характеристик источников загрязнения

Сточные воды сбрасываются в реку, из которой так же может осуществляться водозабор. Для оценки качества воды требуется знать фактический сток реки ($W_{ф}$), который загрязняется стоками. Для этого составляется водохозяйственный баланс для года 95% обеспеченности по стоку (или используются данные о фактическом стоке). Уравнение ВХБ составляется или только за год, или в месячных интервалах времени (в зависимости от решаемой задачи). Рассмотрим вариант составления водохозяйственного баланса (ВХБ) по месяцам. Для i -го месяца уравнение ВХБ записывается в виде:

$$MBXB_i = w_{pi} + w_{подi} + \sum w_{вви} - \sum w_i - \alpha \times w_{ноди} - w_{пони}$$

где w_{pi} - объем естественного речного стока в i –ый месяц; α - коэффициент гидравлической связи подземных и поверхностных вод (в примере принят равным 0,3); $w_{подi}$ - объем водозабора из подземных вод в i –ый месяц (в примере подземные воды используются для целей КБХ и сельскохозяйственного водоснабжения); $\sum w_{vvi}$ – суммы объемов возвратных вод в i –ый месяц; $\sum w_i$ - сумма объемов водопотребления в i –ый месяц; $w_{попi}$ – объем попусков в i –ый месяц (в примере учитываются только экологический сток (равный $W_{эк}=0,9 \times W_p$) и санитарный сток, равномерный по месяцам (равный $W_{сан}=26 \text{ млн. м}^3$); $\alpha \times w_{подi}$ - ущерб речному стоку за счет водозабора из подземных горизонтов гидравлически связанных с рекой в i –ый месяц.

Все расчеты по составлению водохозяйственного баланса проводятся в табличной форме.

- Заполняется строка объемов речного стока и объемов водопотребления (рис.8.9).
- Объемы водопотребления распределяются равномерно по месяцам: $w_i = W/12$. Рассчитываются значения возвратных вод: $W_{vv} = K_{vv} \times W$ (удобно все рассчитывать в таблице баланса, что позволяет, при необходимости, легче проводить имитационные расчеты и). Определяются объемы экологического стока $W_{эк} = 0,9 \times W_p$ (коэффициент 0,9 принят для условий 95% года) (см. рис.8.10). Определяются объемы водопотребления из подземных вод: $W_{под} = W_{КБХ} + W_{с/х \text{ вод}}$.
- Определяются объемы комплексного попуска

$$w_{попi} = \max \{ w_{сан i}, w_{экол.i} \}$$

- Определение ущерба речному стоку от водопотребления для целей сельскохозяйственного водоснабжения из подземных вод гидравлически связанных с рекой. Коэффициент гидравлической связи принят равным 0,3: $w_{ущ} = 0,3 \times w_{подi}$ (рис.8.11).

- Рассчитывается величина приходной, расходной части и величины баланса (рис.8.12):

$$\text{Приход} = w_{pi} + w_{подi} + \sum w_{vvi} \qquad \text{Расход} = \sum w_i + \alpha \times w_{ноdi} + w_{попи}$$

$$\text{ВХБ} = \text{Приход} - \text{Расход} \qquad W_{\phi} = \text{ВХБ} + W_{\text{поп}}$$

N15		fx		=N16+N17+N18										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Характеристика загрязненности и объемов сточных вод													
2	Источник загрязнения	W, млн. куб. м	Wвв, млн. куб. м	Квв пз	Wпз, млн. куб. м									
3	КБХ	37	25,9	5,1	132									
4	Промышленность	71	56,8	78	4430									
5	С/х водоснабжение	8,9	4,45	5,6	25									
6	Итого	116,9	87,15	-	4587									
7														
8														
9														
10	Объем стока реки, w _{jr}	19	18	149	404	62	32	27	24	22	22	25	25	829
11	wп.в. j													
12	ΣW _{ввj}													
13	ПРИХОД													
14	Ущерб стоку W _y													
15	Σ w _j , всего:													116,9
16	КБХ:													37
17	промышленность													71
18	с/х водос.													8,9
19	W _{поп}													
20	в т.ч. W _{эк}													
21	W _{сан}	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	312
22	РАСХОД													
23	ВХБ													
24	W _{фак:}													

Рис.8.9. Вид таблицы расчета водохозяйственного баланса с исходными данными

B12		f _к		=B16*0,7+B17*0,8+B18*0,5										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Характеристика загрязненности и объемов сточных вод													
2	Источник загрязнения	W, млн. куб. м	W _{вв} , млн. куб. м	К _{вв} пз	W _{пз} , млн. куб. м									
3	КБХ	37	25,9	5,1	132									
4	Промышленность	71	56,8	78	4430									
5	С/х водоснабжение	8,9	4,45	5,6	25									
6	Итого	116,9	87,15	-	4587									
7														
8														
9														
10	Объем стока реки, w _р	19	18	149	404	62	32	27	24	22	22	25	25	829
11	wп.в. j	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	45,90
12	ΣW _{ввj}	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	87,15
13	ПРИХОД													
14	Ущерб стоку W _у													
15	Σ w _j , всего:	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74	116,9
16	КБХ:	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	37
17	промышленность	5,92	5,92	5,92	5,92	5,92	5,92	5,92	5,92	5,92	5,92	5,92	5,92	71
18	с/х водос.	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	8,9
19	W _{поп}													
20	в т.ч. W _{эк}	17	16	134	364	56	29	24	22	20	20	23	23	746
21	W _{сан}	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	312
22	РАСХОД													
23	ВХБ													
24	W_{фак}:													

Рис.8.10. Вид таблицы расчета водохозяйственного баланса с расчетом объемов водопотребления, в том числе из подземных источников, возвратных вод и экологического стока

B22		f _*		=B14+B15+B19										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Характеристика загрязненности и объемов сточных вод													
2	Источник загрязнения	W, млн. куб. м	W _{вв} , млн. куб. м	К _{вв} пз	W _{пз} , млн. куб. м									
3	КБХ	37	25,9	5,1	132									
4	Промышленность	71	56,8	78	4430									
5	С/х водоснабжение	8,9	4,45	5,6	25									
6	Итого	116,9	87,15	-	4587									
7														
8														
9														
10	Объем стока реки, w _р	19	18	149	404	62	32	27	24	22	22	25	25	829
11	wп.в. j	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	45,90
12	ΣW _{ввj}	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	87,15
13	ПРИХОД	30,09	29,09	160,09	415,09	73,09	43,09	38,09	35,09	33,09	33,09	36,09	36,09	962,05
14	Ущерб стоку W _y	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	2,67
15	Σ w _j , всего:	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74	116,9
16	КБХ:	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	37
17	промышленность	5,92	5,92	5,92	5,92	5,92	5,92	5,92	5,92	5,92	5,92	5,92	5,92	71
18	с/х водос.	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	8,9
19	W _{поп}	23	26	134,1	363,6	55,8	28,8	26	26	26	26	26	26	787,3
20	в т.ч. W _{эк}	17	16	134	364	56	29	24	22	20	20	23	23	746
21	W _{сан}	23	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	309
22	РАСХОД	32,96	35,96	144,06	373,56	65,76	38,76	35,96	35,96	35,96	35,96	35,96	35,96	906,87
23	ВХБ	-2,88	-6,88	16,02	41,52	7,32	4,32	2,12	-0,88	-2,88	-2,88	0,12	0,12	55,18
24	W_{фак}:	20,12	19,12	150,12	405,12	63,12	33,12	28,12	25,12	23,12	23,12	26,12	26,12	842,48

Рис.8.11. Вид таблицы с рассчитанным водохозяйственным балансом

Оценка качества воды в реке делается на основе расчетов коэффициента предельной загрязненности речной воды ($K_{пз\ p}$). Для этого определяется показатель предельной загрязненности речной воды в год 95% обеспеченности ($K^{95\%}_{пз\ p}$).

$$K^{95\%}_{пз\ p} = ((\sum W_{пз\ i} + \sum W_{вв}) / W_{\phi}) - A,$$

где W_{ϕ} – объем фактического стока (транзит) реки (берется из таблицы водохозяйственного баланса); A – параметр учитывающий естественный речной фон (если естественный фон соответствует классу качества воды на уровне «чистого», то $A=1$. Если естественный фон соответствует классу «умеренно загрязненному», то $A=0$). Естественный фон принимается соответствующим классу «чистый».

$$K^{95\%}_{пз\ p} = (4587 + 87,15) / 842,48 - 1 = 4,58$$

Используя полученное значение $K^{95\%}_{пз\ p}$ строится кривая обеспеченности показателя $K_{пз\ p}$

		D27		f_x	$=B27+(C27-B27)*(0,26-0,2)/(0,3-0,2)$	
		A	B	C	D	E
7	25					
8	26	P%	Cv=0,2	Cv=0,3	Cv=0,26	Kпз
9	27	0	2,09	2,82	2,53	0,19
10	28	10	1,26	1,4	1,34	1,24
11	29	20	1,16	1,24	1,21	1,49
12	30	30	1,09	1,13	1,11	1,7
13	31	40	1,04	1,05	1,05	1,88
14	32	50	0,98	0,97	0,97	2,09
15	33	60	0,94	0,89	0,91	2,31
16	34	70	0,89	0,82	0,85	2,55
17	35	80	0,83	0,75	0,78	2,85
18	36	90	0,75	0,64	0,68	3,41
19	37	100	0,59	0,44	0,5	5,03

Рис.8.12. Расчет $K_{пз}$ по координатам трёхпараметрического гамма распределения (Значения модульных коэффициентов для $Cv=0,2$ и $Cv=0,3$ приводятся для интерполяции значений K_p для $Cv=0,26$)

Используя кривую обеспеченности показателя качества воды определяется экологическое состояние водного объекта, как описано выше.

Трофический статус водной экосистемы определяется на основе оценки величины индекса Шеннона (Н), который определяется методом «Соответствия параметров» (рис.8.13). Для этого используется график, позволяющий по значениям $K_{пз}^{р\%}$ определить значение Н для лет разных обеспеченностей (рис.8.14).

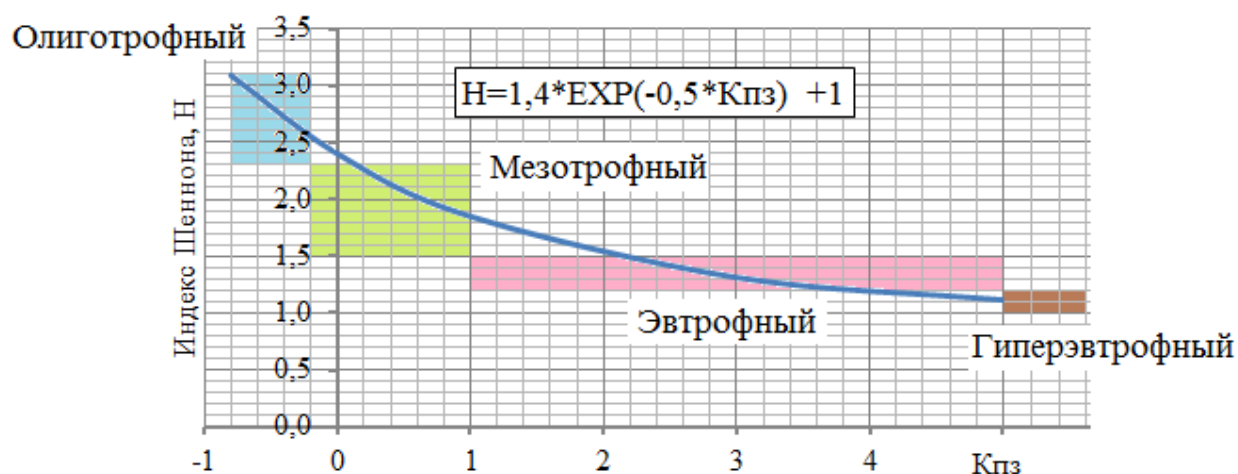


Рис.8.13. Соответствие трофического статуса оцениваемого по индексу Шеннона (Н) классу качества воды, по коэффициенту предельной загрязненности ($K_{пз}$).

Кривая обеспеченности индекса Шеннона (рис.8.14) показывает:

- в средние по водности годы (30...60% обеспеченности) трофический статус водного объекта оценивается на «Эвтрофном» уровне;
- в остро маловодный год 95% складываются условия соответствующие «эвтрофному» уровню.

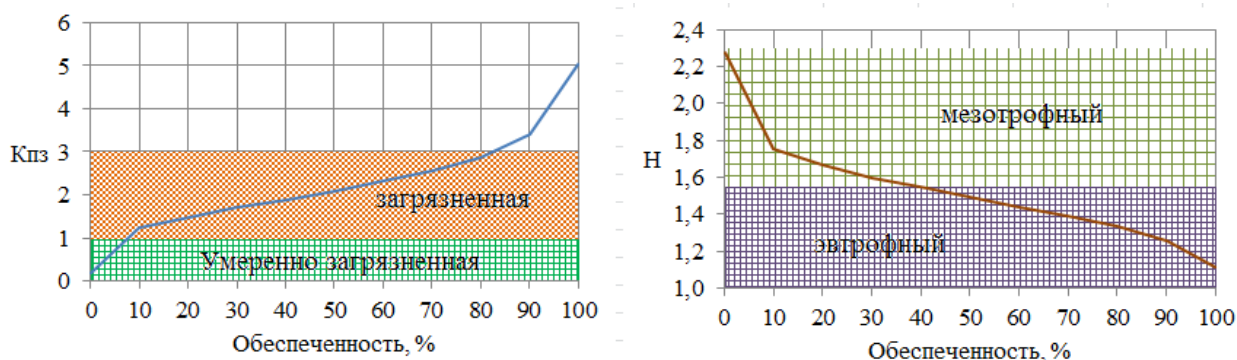


Рис. 8.14. Кривая обеспеченности индекса Шеннона (Н)

8.4 Вариант определения состояния экосистемы

В приведенных выше расчетах экологическое состояние водной экосистемы определяется по вероятности соответствия определенному классу качества воды. В этом случае, определяется величина степени соответствия классу качества естественного фона. В качестве последнего рекомендуется принимать классы «чистый» и «умеренно загрязнённый». Ориентировочно, класс «чистой» воды рекомендуется принимать для стока, который характеризуется коэффициентом вариации $C_v \leq 0,5$. Класс «умеренно загрязненной» воды, соответственно, принимается для $C_v > 0,5$.

Степень соответствия (сохранности) водной экосистемы (ΔP) представляет собой вероятность того, что качественный состав воды в системе, для рассматриваемых условий, соответствует условиям естественного фона (рис.8.15). В этом случае используется только кривая обеспеченности показателя качества воды (например, коэффициент предельной загрязненности $K_{пз}$).

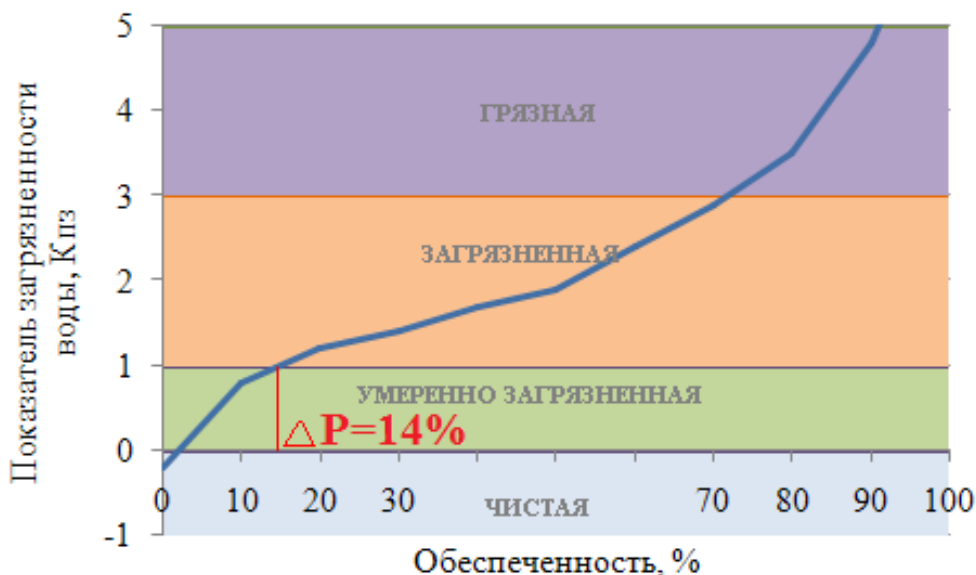


Рис. 8.15. Пример определения величины степени соответствия «умеренно загрязненному» классу качества (ΔP) по кривой обеспеченности показателя предельной загрязненности речной воды ($K_{пз}$)

Полученное значение степени сохранности ΔP используются для оценки состояния системы в соответствии с классификационной таблицей 5.2. Данный способ проще, описанного выше, так как не требует трудоемких построений кривых распределения, не требуются данные о естественном фоне (для оценочных расчетов).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алимов А.Ф. Территориальность у водных животных и их размеры//Известия АН. Сер. Биологическая, 2003. №1. С. 93-100.
2. Аржанова В.С., Елпатьевский Л.В. Геохимия ландшафтов и техногенез: монография/В.С. Аржанова, Л.В. Елпатьевский. - СПб.: Наука, 1990. - 197с.
3. Булгаков Н.Г. Метод поиска сопряженностей между гидробиологическими показателями и абиотическими факторами среды/Н.Г.Булгаков, В.Г. Дубинина, А.П. Левич, А.Т. Терехин//Успехи соврем. биологии. 2001 . Т. 121, N 2
4. Вершинская М.Е. Эколого-водохозяйственная оценка водосбора и водных объектов в бассейне Иртыша/М.Е. Вершинская, В.В. Шабанова, В.Н. Маркин//Природообустройство. №2 ,2008.-с.50-57
5. Владимиров А.М. Принцип оценки экологического стока рек./А.М. Владимиров, Ф.А. Имамов//Вопросы экологии и гидрологические расчеты. - СПб, 1994
6. Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба. Утверждена Государственным комитетом Российской Федерации по охране окружающей среды. - М: 1999. – с.173
7. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР: монография/М.А. Глазовская. - М., 1988. – с.328
8. Глазовская М.А. Общее почвоведение и география почв: монография.- М.:1981. -С.400
9. Глазовская М.А. Общее почвоведение и география почв. М.: Высшая школа, 1983.- С.400
10. Данилов-Данильян, В.И. Потребление воды: экологический, экономический, социальный и политический аспекты: монография/ В.И. Данилов-Данильян, К.С. Лосев. – М.: Наука, 2006. - 221 с.

- 11.Добровольский Г.В Методическое руководство по микроморфологии почв/Г.В. Добровольский и [др.]. - М.: Московский университет, 1983. – с.63.
- 12.Коваленко Э.П. Фащевский Б.В. Вода, природа, человек: монография/Э.П. Коваленко, Б.В. Фащевский. - Минск.: Ураджай, 1986. – с.144
- 13.Ладынина Н.В. Определение резервируемого стока малых рек Молдавии. –В кн. Рациональное использование поверхностных и подземных вод. –М.,1986
- 14.Маркин В.Н. Определение экологически допустимого воздействия на малые реки// Мелиорация и водное хозяйство. 2005. № 4. – с.8-11.
- 15.Маркин В.Н. Универсальный метод. Определение экологического стока путем оценки по степени сохранности экосистемы//Журнал Вода Magazine №1 2012 с.30-33
- 16.Оценка экологического состояния реки Охта на основе гидрохимических и гидробиологических методов//Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон: Международная научная конференция, Санкт-Петербург, 18-20 окт., 2000. Материалы конференции. - СПб., 2000, -С. 11-12.
- 17.Перельман А.И. Геохимия ландшафтов: монография/А.И. Перельман. - М.: Высшая школа, 1975. - С.342
- 18.Полынов Б.Б. Очерк развития учения о почве как отрасли естествознания//Б.Б. Полынов. - Избр. тр. М.: Изд-во АН СССР, 1956. С.659-726
- 19.Реймерс Н.Ф.Экология: словарь-справочник/Н.Ф. Реймерс. - М: Мысль, 1990. – С.639
- 20.Реймерс Н.Ф. Экология: Теория, Законы, правила, принципы и гипотеза: монография/Н.Ф. Реймерс. - М.; Россия молодая 1994. – с.366

- 21.Ткачев Б.П. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы: аналитический обзор/Б.П.Ткачев, В.И.Буланов. – Новосибирск, ГПНТБ СО РАН. 2002. - 114 с.
- 22.Угланов И.Н. Мелиорируемая толща почв и пород Юго-Западной Сибири: монография/И.Н.Угланов. - Новосибирск, Наука, Сибирское отделение1981. - 192 с.
- 23.Фашевский Б.В. Проблемы экологического нормирования водного режима рек. Мелиорация и водное хозяйство. 1993. № 5.-с.1719
- 24.Фашевский Б.В. Экологическое обоснование допустимой степени регулирования речного стока: монография/ Б.В. Фашевский. - Минск, БелНИИНТИ, 1989. – с.51
- 25.Шабанов В.В. Метод оценки качества вод и состояния водных экосистем в схемах КИОВР./В.В. Шабанов, В.Н. Маркин. – М.: Москов. Гос. ун-т. природообустройства - Москва 2007-81с. Библиогр.: 44назв. - Рус. - Деп. в ВИНТИ 06.11.07
- 26.Экологический мониторинг. Часть 5. Учебное пособие под ред. проф. Д.Б.Гелашвили. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского ун-та, 2003, с. 93-259

Научное издание

Вершинская Маргарита Евгеньевна

Шабанов Виталий Владимирович

Маркин Вячеслав Николаевич

**ЭКОЛОГО-ВОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОЦЕНКА
ВОДНЫХ СИСТЕМ**

Монография

Редактор А.А.Боркова

Компьютерная верстка оригинал-макет М.В. Васильева

Обложка М.В.Васильева

Подписано в печать г. Формат 60×84
Усл. печ. л. Уч.-изд. Тираж 100экз. Зак.

Издательство РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева
127550, Москва, Тимирязевская ул., 44
Тел. 977-00-12, 977-26-90, 977-46-64