

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА**

**Л.Д. Раткович В.Н. Маркин И.В. Глазунова**

**ВОПРОСЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ  
РЕСУРСОВ И ПРОЕКТНОГО ОБОСНОВАНИЯ  
ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ**



**Москва 2013**

ISBN 978-5-89231-415-2

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования**

**Российский государственный аграрный университет МСХА-им. К.А.Тимирязева  
институт природообустройства им. А.Н.Костякова**

**Л.Д. РАТКОВИЧ В.Н. МАРКИН И.В. ГЛАЗУНОВА**

**ВОПРОСЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ  
РЕСУРСОВ И ПРОЕКТНОГО ОБОСНОВАНИЯ  
ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

**МОНОГРАФИЯ**

**москва 2014**

УДК 627.81:556.3  
ББК 28.082:26.3  
В74

*Рецензенты:*

Доктор технических наук, профессор кафедры гидрологии, метеорологии и регулирования стока ФГБОУ ВПО РГАУ МСХА-им. К.А.Тимирязева, институт природообустройства им. А.Н.Костякова.

*Г.Х. Исмайылов*

Доктор технических наук, профессор, заместитель директора по науке Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации им. А.Н.Костякова

*Л.В.Кирейчева*

Рассматриваются вопросы государственной водной политики РФ в свете Водной стратегии и национальной программы развития водохозяйственного комплекса России. Дается классификация водохозяйственных задач, и исследуются методические особенности современных водохозяйственных расчетов, имитационного моделирования водохозяйственных систем и статистического моделирования стока. Затрагивается методология правил использования водных ресурсов водохранилищ, регулирования и территориального перераспределения стока. Анализируются проблемы трансграничных бассейнов. Рассматриваются методы обоснования и определения эффективности мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов, анализируется методика оценки антропогенного воздействия на водные объекты. Ряд разделов посвящен проблемам эффективности использования водных ресурсов в сельском хозяйстве, в частности обеспечению устойчивого функционирования мелиоративных и водохозяйственных комплексов в условиях техногенеза глобальных и региональных изменений климата. Рассматриваются задачи обоснования и внедрения биоинженерных сооружений. Монография адресована ученым и специалистам в области водного хозяйства, а также может быть использована в качестве дополнительного материала к учебному курсу ряда специальностей водохозяйственного профиля.

**ISBN 978-5-89231-415-2**

Л.Д. Раткович, В.Н. Маркин, И.В. Глазунова  
2014

© ФГБОУ ВПО РГАУ МСХА-им. К.А.Тимирязева  
институт природообустройства им. А.Н.Костякова  
2014

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. Водные ресурсы и государственная водная политика российской федерации .....	7
ГЛАВА 2. Особенности водохозяйственных расчетов в проектном обосновании водохозяйственных систем.....	14
ГЛАВА 3. Методика расчета водохозяйственных балансов.....	41
ГЛАВА 4. Регулирование стока и методология правил использования водных ресурсов водохранилищ .....	57
ГЛАВА 5. Проблемы территориального перераспределения стока.....	111
ГЛАВА 6. Водохозяйственные проблемы трансграничных бассейнов и направления их решения .....	133
ГЛАВА 7. Обоснование и эффективность мероприятий по регулированию качества вод и сохранению экологического состояния водных объектов.....	149
ГЛАВА 8. Методические аспекты оценки допустимого антропогенного воздействия на водные объекты .....	155
ГЛАВА 9. Вопросы устойчивого функционирования мелиоративных и водохозяйственных комплексов в условиях техногенеза глобальных и региональных изменений климата .....	180
ГЛАВА 10. Методы улучшения качества вод с помощью биоинженерных сооружений в россии и за рубежом .....	198

## ВВЕДЕНИЕ

Планирование использования водных ресурсов связано с необходимостью решения большого количества водохозяйственных задач, среди которых гарантированное, бесперебойное водообеспечение, снижение и оценка допустимого антропогенного воздействия на водные объекты, прогноз чрезвычайных ситуаций, обусловленных техническим старением сооружений и вероятным изменением природно-климатических условий, предотвращение и (или) минимизация негативного действия вод.

В связи с обострением проблем, связанных с дефицитом пресной воды и проявлением негативного воздействия вод не только в нашей стране, но и мире, развитие водохозяйственного комплекса России во многом зависит от решения вопросов использования трансграничных водных объектов.

Растет необходимость комплексной подготовки специалистов в области водопользования, гидрологии и гидрометеорологии, гидрогеологии и инженерного обеспечения планируемых мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов.

Данные задачи должны решаться на основе современных технологий оценки изменения природных процессов и моделирования сценариев водопользования. К приоритетным направлениям в рамках указанных мероприятий относится экономия водных ресурсов и регулирование качества вод, оптимизация правил использования водохранилищ как в части покрытия отраслевого водопотребления, так и с точки зрения регулирования и пропуска высоких вод, вызывающих ежегодное затопление и подтопление территорий.

Методика водохозяйственных расчетов базируется на классических методах теории вероятностей, однако перечень водохозяйственных задач очень широк и в каждом конкретном случае существуют свои особенности их решения. Задача управления водными ресурсами это сложная задача не только проектирования, но и эксплуатации гидроузлов и их каскадов, которая по-прежнему актуальна. Многие водохозяйственные системы работают по правилам, разработанным несколько десятилетий назад. С тех пор изменились объемы и режим водопользования, подходы к решению экологических задач, методы обоснования режимов эксплуатации. Например, полностью переработана методика составления Схем комплексного использования и охраны водных объектов (КИОВО) и разработаны новые проекты правил использования водных ресурсов водохранилищ. Доминирующее значение приобретают вопросы качества воды, сохранения экологического состояния водных объектов, а также репрезентативности и надежности исходной информации. Все большую роль приобретают методы комплексной оценки антропогенного воздействия на водные объекты. Все эти вопросы напрямую зависят от надежности и стабильности системы мониторинга водных объектов. Широкое применение находят биоинженерные системы, соответственно требует совершенствования и развития методика их обоснования.

Вопросы развития сельского хозяйства, в частности мелиорации, находятся в центре внимания водохозяйственной общественности, а также являются одной из приоритетных задач правительства России. Проблема формулируется как обеспечение устойчивого функционирования водохозяйственных и мелиоративных систем в условиях антропогенной нагрузки и вероятного изменения климата регионов.

Затронутые выше проблемы нашли отражение в предлагаемой вниманию читателя монографии, которая может быть полезна студентам водохозяйственных и гидротехнических специальностей, а также профильным специалистам.

В главах 2-6 (Раткович Л.Д.) рассматриваются вопросы государственной водной политики РФ, методические особенности современных водохозяйственных расчетов, методология правил использования водных ресурсов водохранилищ, регулирования и территориального перераспределения стока, проблемы трансграничных бассейнов, некоторые другие вопросы. Глава 4 написана с участием аспиранта Безруковой О.Е., глава 5 написана совместно с доцентом кафедры КИВР, к.т.н. Ивановой Т.И. при участии аспиранта кафедры КИВР Алиева Д.А., глава 6 – совместно с проф. Козловым Д.В. и аспирантом кафедры КИВР Романовой Ю.А.

В главах 7 и 8 (Маркин В.Н.) исследуются методы обоснования и определения эффективности мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов, анализируется методика оценки антропогенного воздействия на водные объекты.

Главы 9 и 10 (Глазунова И.В.) посвящены проблемам эффективности использования водных ресурсов в сельском хозяйстве, в частности обеспечению устойчивого функционирования мелиоративных и водохозяйственных комплексов в условиях техногенеза глобальных и региональных изменений климата. Рассматриваются задачи обоснования и внедрения биоинженерных сооружений, особенности проектирования мелиоративных систем на основе новой методологии конструирования агроландшафтов, применение локальных очистных сооружений для более полного использования местных ресурсов водосборных бассейнов. Глава 10 написана с участием аспиранта кафедры КИВР Алиева М.П.

В работе над монографией также принимали участие Беглярова Э.С., Дмитриева А.В., Бакштанин А.М., Соколова С.А., Федоров С.А.

## Глава 1.

### ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ГОСУДАРСТВЕННАЯ ВОДНАЯ ПОЛИТИКА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Водно-ресурсный потенциал нашей страны—это десятки миллионов рек суммарной протяженностью около 3 млн км и объемом стока примерно 4300 км<sup>3</sup> в год, 2300 средних и крупных водохранилищ с общей емкостью 800 км<sup>3</sup> воды, пресными и частично слабосоленоватыми пригодными для водоснабжения подземными водами, прогнозные ресурсы которых составляют более 300 км<sup>3</sup> в год.

Наиболее доступными для использования населением и объектами хозяйственного комплекса страны являются ежегодно возобновляемые водные ресурсы рек, а также подземные воды верхних водоносных горизонтов. Водные ресурсы распределены по территории страны крайне неравномерно. Свыше 71 % объема речного стока приходится на районы Сибири и Дальнего Востока [3]. На районы Европейской части России, где сосредоточено до 80% населения и производственного потенциала, приходится лишь 8% речного стока. Водообеспеченность населения округов РФ изменяется в довольно широких пределах от 3.5 тыс.м<sup>3</sup> (в Центральном) до 280 тыс.м<sup>3</sup> (в Дальневосточном) в год на человека, при среднем по стране значении около 30 тыс.м<sup>3</sup> [1].

В современных условиях, по данным государственной статистической отчетности, забор воды из природных водных объектов превышает 80 км<sup>3</sup> в год. Около 80% указанного объема приходится на пресные поверхностные воды. В то же время в Южном, Центральном, Уральском, Приволжском и даже Сибирском регионах наблюдаются проблемы со снабжением водой, вследствие пространственно-временной неравномерности распределения водных ресурсов. При этом благодаря применению оборотных и комбинированных систем ежегодно экономится более 100 км<sup>3</sup> свежей воды [1].

Неблагоприятная обстановка сложилась и в отношении качества природных вод, что вызвано сбросом в них более 25 км<sup>3</sup> в год неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод (материалы IV Международный гидрологический конгресс в Санкт–Петербурге, 2004). Многие реки загрязнены, а их использование проблематично даже в промышленности и сельском хозяйстве. Ухудшение качества воды вследствие антропогенного воздействия стало более важным фактором, чем количественный дефицит водных ресурсов. Практически во всех хозяйственно освоенных районах наблюдается угнетенное состояние водных экосистем и снижение их биологической продуктивности. Связано это, в том числе, и с масштабным гидротехническим строительством прошлых десятилетий и резким возрастанием объемов сточных вод.

Речные системы непосредственно связаны с бассейнами крупных озер и внутренних морей, где проживает значительная часть населения. Это бассейны

Волги и Урала, Куры и Терека, Дона и Кубани. Масштабное регулирование стока этих рек вызвало нарушение режима естественного притока в моря [3]. Антропогенное воздействие проявляется в сокращении притока в дельты рек, повышении солености прибрежных зон, увеличении степени загрязнения водных объектов, в том числе из-за смыва удобрений и ядохимикатов с территории водосбора. Неизбежным следствием нарушения водного режима является изменение условий существования водных экосистем и связанной с ними фауны, снижение рыбохозяйственного значения водоемов, усложнение условий водоснабжения, ухудшение рекреационных условий, повышение стоимости компенсационных водоохраных мероприятий.

Основную долю водного фонда водохозяйственного комплекса составляют системы территориального перераспределения и регулирования стока. Это - десятки тысяч гидротехнических объектов, водозаборных и водовыпускных сооружений, прудов, водохранилищ и накопителей жидких отходов с напорными гидроузлами.

В водохозяйственном комплексе России острой проблемой является затопление земель, населенных пунктов и объектов экономики во время половодий и паводков. На паводкоопасных территориях, составляющих в целом по России свыше 400 тыс. км<sup>2</sup>, ежегодно затопляются до 50 тыс. км<sup>2</sup>. Защита городов и населенных пунктов, объектов экономики и сельского хозяйства обеспечивается, в настоящее время, примерно 10 тыс. км защитных дамб. Однако, ежегодный ущерб оценивается десятками млрд. руб. с выраженной тенденцией к увеличению. Основными причинами роста ущербов являются: недостаточное финансирование строительства противопаводковых сооружений и их эксплуатации; интенсивное хозяйственное использование и бесконтрольная застройка паводковых территорий без проведения защитных мероприятий; ухудшение качества и достоверности прогнозов наводнений из-за сокращения сети мониторинга; сокращение аккумулирующей способности водосборов в результате антропогенной деятельности, в частности сводки лесов. Сочетание перечисленных факторов и катастрофический характер паводка в Краснодарском крае в 2012 году привел к многочисленным жертвам и огромному экономическому ущербу.

Следует обозначить еще одну причину, наверное, одну из самых значимых для условий современной цивилизации. Разрыв между научными разработками по предупреждению и предотвращению тяжелых последствий наводнений и практической деятельностью (точнее бездеятельностью) в этой области. В настоящее время существуют (при необходимости могут быть разработаны или доработаны) имитационные модели, позволяющие анализировать разные сценарии наложения волн паводков и половодий, как в естественных условиях, так и с учетом регулирования стока (10.07.2012 РБК daily). Данные о наводнении в Крымске, происшедшем летом 2012 года, свидетельствуют, что формирование семиметровой паводковой волны, накрывшей город, вызвано наложением потоков воды в условиях резкого сокращения пропускной



способности тракта в створе мостового перекрытия и подпором от железнодорожной насыпи с последующим образованием волны прорыва. Сценарий подобной ситуации вполне поддается моделированию, а также может быть спрогнозирован на уровне экспертной оценки.

Разработанная в 1996 году Федеральная противопаводковая программа РФ предусматривала комплексные меры по борьбе с наводнениями и их последствиями (Совинтервод, Гидропроект, Ленгидропроект) путем планомерного внедрения организационно - предупредительных, адаптационных и инженерно-технических мероприятий по всей стране с учетом предложенной схемы ранжирования регионов по степени паводковой опасности [4]. Особое внимание уделялось научной поддержке программы как в части имитационного моделирования опасных гидрологических процессов в режиме реального времени, так и в части оперативного прогноза. К сожалению, практического выхода данный проектный документ не имел из-за отсутствия финансирования, даже по первоочередным объектам.

Очевидно, за прошедшие десятилетия накопилось множество водохозяйственных проблем, решение которых возможно лишь в условиях комплексного подхода в масштабах государства.

Цели и задачи государственной политики в области использования, охраны и восстановления водных объектов, изложенные в основных направлениях развития водохозяйственного комплекса России, касаются законодательного и нормативно-правового обеспечения водохозяйственной и водоохранной деятельности; экономических методов регулирования водопользования; программно-целевого решения водохозяйственных и водоохраных задач. В числе задач-устранение ошибок проектирования, допущенных ранее при создании водохозяйственного комплекса страны, а также устранение причин деградации, истощения и загрязнения водных объектов. Существенное внимание уделяется совершенствованию структуры и режима функционирования водохозяйственных комплексов, включая вопросы использования водных ресурсов водохранилищ и режимов их эксплуатации, созданию и реконструкции сооружений инженерной защиты от негативного воздействия вод с учетом прогнозируемых глобальных изменения климата. Предусматривается сокращение сброса в водные объекты неочищенных и недостаточно очищенных сточных вод, а также восстановление водных объектов.

Значительную проблему представляет состояние ресурсов подземных вод, во многих районах подвергающихся истощению и загрязнению. Большая роль в государственных планах отводится решению вопросов эксплуатации водохранилищ, изучению их влияния на развитие тектонических процессов и повышение сейсмической активности. Указывается на необходимость совершенствования научно-теоретической и экспериментальной базы для формирования и анализа функционирования водных и околородных экосистем.

К числу проблемных задач ВХК относится вопрос о хозяйственно освоенных и заселенных паводкоопасных территориях. С одной стороны, хозяйственное освоение речных долин оказало негативное воздействие на состояние водных объектов и усилило риск нанесения ущербов при наводнениях. Имеющиеся инженерные защитные сооружения не всегда позволяют снизить риски до необходимых пределов. В то же время вывод населения и объектов экономики с паводкоопасных территорий связано с очень большими затратами. Требуется серьезный анализ всех социально-экономических факторов для обоснованных инженерных, организационно-правовых и экономических решений.

Не закончена дискуссия о перспективах существования крупных водохранилищ на равнинных реках. В России, которая представляет собой равнинную территорию, проблематично создание водохранилищ с достаточными для энергетического использования напорами и глубинами. Образовавшиеся в результате создания таких водохранилищ мелководья и подтопления территорий, с одной стороны, снижают регулирующий эффект, с другой - представляют опасность ухудшения экологической обстановки. Вместе с тем, в настоящее время эти водохранилища являются важным элементом хозяйственной инфраструктуры и играют существенную роль в экономике страны. Если говорить только об энергетической составляющей, то гидростанции, работая на покрытие пиковых нагрузок, обеспечивают надежность и безопасность энергоснабжения совместно с тепловыми и атомными электростанциями.

***Основопологающими документами государственной водной политики следует считать:***

Водный кодекс Российской Федерации, принятый Государственной Думой 12 апреля 2006 года и одобренный Советом Федерации 26 мая 2006 года. (в ред. Федеральных законов от 04.12.2006 N 201-ФЗ, от 19.06.2007 N 102-ФЗ, от 14.07.2008 N 118-ФЗ, от 23.07.2008 N 160-ФЗ, от 24.07.2009 N 209-ФЗ, от 27.12.2009 N 365-ФЗ, от 28.12.2010 N 420-ФЗ, от 11.07.2011 N 190-ФЗ, от 18.07.2011 N 242-ФЗ, от 19.07.2011 N 246-ФЗ, от 19.07.2011 N 248-ФЗ, от 21.07.2011 N 257-ФЗ);

«Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года», утвержденная правительством в 2009 году;

Федеральная целевая программа "Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах" (далее «ФЦП ВХК»), концепция которой утверждена в июле 2011 года.

***Доминирующие направления водной стратегии РФ на период до 2020 года***

***Цели:***

формирование благоприятной водной экологической среды;

обеспечение водными ресурсами социально-экономического развития РФ;  
обеспечение защищенности населения и объектов экономики от негативного воздействия вод.

***Общесистемные задачи и направления развития ВХК:***

совершенствование системы государственного управления;  
формирование кадрового потенциала;  
формирование научно-технического потенциала.

Поэтапное решение вышеназванных задач предусматривается сценарием развития ВХК России в федеральной целевой программе. Согласно концепции «ФЦП ВХК» развитие водохозяйственного комплекса по модернизационному сценарию является наиболее эффективным. При этом создается наиболее благоприятная среда для координации комплексных водохозяйственных задач и привлечения частных инвестиций в водоохранную деятельность и водохозяйственную инфраструктуру.

Многоцелевое назначение «ФЦП ВХК» на период до 2020 года предусматривает:

- решение проблемы водообеспечения в целях макроэкономической стабильности и конкурентоспособность экономики Российской Федерации.
- сохранение и восстановление водных систем до экологически приемлемого состояния путем значительного сокращения негативного антропогенного воздействия на них, что является важнейшим условием достижения высоких стандартов жизни населения РФ современного и будущих поколений [2].

Обеспечение защищенности населения и объектов экономики от наводнений и иного негативного воздействия вод планируется на основе:

- повышения эксплуатационной надежности и безопасного технического состояния гидросооружений;
- обеспечение населения и объектов экономики сооружениями инженерной защиты с учетом экономической целесообразности и сопоставления альтернативных издержек;
- своевременное проведение комплекса превентивных противопаводковых мероприятий.

Достижение декларируемых целей и решение задач в ходе реализации «ФЦП ВХК» требует проведения комплексных мероприятий:

- строительство новых водохранилищ и реконструкция гидроузлов действующих водохранилищ для создания дополнительных регулирующих мощностей и увеличения водоотдачи в районах, испытывающих дефицит водных ресурсов, в том числе водохранилища сезонного и многолетнего регулирования стока;
- строительство систем водоподачи комплексного назначения из поверхностных источников для нужд сельского хозяйства;

- субсидирование процентных ставок по кредитам при реализации проектов по строительству комплексов очистных сооружений промышленности и жилищно-коммунального хозяйства, а также по строительству и реконструкции систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения, направленных на снижение негативного воздействия на водные объекты и рационализацию водопользования;
- восстановление и экологическая реабилитация водных объектов, включая малые реки;
- реализация мероприятий по предотвращению негативного воздействия вод, обеспечению эксплуатационной надежности и безопасности гидротехнических сооружений, а также строительство объектов инженерной защиты населенных пунктов и стратегически важных объектов экономики;
- развитие системы государственного мониторинга водных объектов, в том числе развитие прогностической базы и модернизацию государственной наблюдательной сети, включая широкое использование средств авиакосмического зондирования;
- формирование единой информационно-аналитической системы управления водохозяйственным комплексом Российской Федерации;
- осуществление мероприятий по экспертно аналитическому, научно-методическому и информационному сопровождению реализации мероприятий «ФЦП ВХК» и контролю за эффективностью их исполнения;
- проведение научных исследований и выполнение опытно-конструкторских работ, соответствующих стратегическим потребностям развития водного хозяйства;
- осуществление мероприятий, направленных на просвещение и информирование населения по вопросам использования и охраны водных объектов;
- решение проблем конкретных водохозяйственных комплексов–бассейнов Волги, Амура, Дона с притоками.

Стратегические цели в области сельского хозяйства сформулированы в концепции **Федеральной целевой программы** «Развитие мелиорации сельскохозяйственных земель России на период до 2020 года» (далее ФЦП СХ) [5].

ФЦП СХ- определяет пути и средства повышения конкурентоспособности сельского хозяйства, рентабельности и устойчивости сельскохозяйственного производства средствами комплексной мелиорации, наряду с приемами адаптивно ландшафтного земледелия, для обеспечения продовольственной безопасности и сохранения природных ресурсов для будущих поколений.

### **Состояние и прогноз развития мелиоративного комплекса**

В 1990 году площадь мелиорируемых сельхозугодий достигла своего максимума и составляла 11,5 млн га или 9,9% от общей площади пашни, из них площадь орошаемых сельхозугодий—6,1 млн га, осушаемых 5.4 млн га. На мелиорируемых землях производилось 16% растениеводческой продукции. В году площадь мелиорируемых сельхозугодий сократилась до 9,0 млн га, в том числе орошаемых угодий до 4,2 млн га (на 31%) , осушаемых до 4,2 млн га (на 11%). Износ фондов оросительных систем в целом по России составляет 69,1%. Ввод новых орошаемых и осушаемых земель практически прекратился , реконструкция гидромелиоративных систем осуществляется не более чем на 5...10% от потребности объема. Практически не поливаются зерновые, сенокосы и пастбища, осушаемые земли в основном используются под кормовые культуры. Продуктивность на мелиорируемых землях всего лишь в 1,5 раза больше, чем на богарных, вследствие недостаточного финансирования и отсутствия четкой программы действий.

### **Продовольственная безопасность**

Считается, что стабильное обеспечение населения мясом и молоком отечественного производства может быть достигнуто при объемах кормопроизводства на мелиорируемых землях не менее 30-40% от общей потребности в кормах при распределении производства кормов на орошаемых и осушаемых землях практически в равных долях. Восстановление и развитие мелиоративного комплекса России до 2020 гг. предусматривает использование мелиорируемых площадей под производство высокобелковых кормов (36% от потребности), овощей (90% от потребности), плодово-ягодной продукции (50% от потребности).

Достижение этих показателей планируется за счет повышения продуктивности и эффективности использования мелиорированных земель в результате реконструкции старых систем и строительства новых.

Техническое вооружение предусматривает модернизацию и с учетом новейших достижений науки и техники и возможность применения ресурсосберегающих технологий. Новое строительство должно обеспечивать возможность применения наукоемких и инновационных технологий в строительстве, эксплуатации и функционировании систем.

Реализация государственных планов невозможна без тотальной научной поддержки. Вниманию читателей в монографии представлен цикл научных исследований авторов в области комплексного водопользования и охраны водных объектов.

### **Библиографический список**

1. Вода или нефть? Создание единой водохозяйственной системы / Д.В.Козлов, И.П.Айдаров, Л.Д.Раткович, И.С.Румянцев и др.; под общей редакцией Д.В.Козлова. – М.: МППА БИМПА, 2008 - 456 с.

2. Распоряжение правительства РФ от 28.07.2011 о концепции федеральной целевой программы "Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012 - 2020 годах"

3. Раткович Д.Я. Актуальные проблемы водообеспечения, -М.: «Наука», 2003.

4. Раткович Д.Я., Раткович Л.Д. Типы наводнений и пути сокращения вызываемых ими ущербов // Водные ресурсы. 2000. Т. 27, № 3, С. 261-266.

5. Концепция Федеральной целевой программы «Развитие мелиорации сельскохозяйственных земель России на период до 2020 года», Минсельхоз РФ, -М: Минсельхоз РФ, РАСХН, 2010, 52 с.

## **Глава 2**

### **ОСОБЕННОСТИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСЧЕТОВ В ПРОЕКТНОМ ОБОСНОВАНИИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

Водохозяйственные расчеты в настоящее время правомерно рассматривать как интегрированную научную дисциплину, которая опирается на методические средства стохастической гидрологии, теории и практики регулирования стока и управления водными ресурсами, гидродинамики и основ проектирования водохозяйственных систем.

Фундаментальные основы теории водохозяйственных расчетов, достижение еще советской научной школы, заложены в трудах основоположников стохастической гидрологии С.Н. Крицкого, М.Ф. Менкеля, Потапова М.Б. и Саваренского А.Д., продолжены их учениками и последователями Асариным А.Е., Блохиновым Е.Г., Исмайыловым Г.Х., Картвелишвили Н.А., Ратковичем Д.Я., Резниковским А.Ш., Сванидзе Г.Г. Практика водохозяйственного обоснования проектных решений основана на широком внедрении компьютерных технологий и развития теоретической базы проектирования благодаря совершенствованию аппарата математического моделирования.

Существенно сместились акценты в оценке располагаемых водных ресурсов от их количества к качеству, а также в части сохранения и восстановления водных и приводных экосистем.

#### **Назначение водохозяйственных расчетов и классификация водохозяйственных задач**

С помощью водохозяйственных расчетов решаются задачи водообеспечения, поддержания и регулирования качества воды и водной экологии, защиты и компенсации негативного действия вод. Часто водохозяйственные расчеты ассоциируются с водохозяйственными балансами, являющимися, однако лишь частью водохозяйственных расчетов (далее ВХР). ВХР направлены на

всестороннюю оценку соответствия проектируемых гидросооружений и водохозяйственных установок режиму и объему требований к воде участников водохозяйственного комплекса или отдельных водопользователей. Водохозяйственные расчеты, касающаяся обоснования параметров и режимов ГЭС и энергетических комплексов, называют водно-энергетическими (ВЭР) [1, 4, 27]. Специфика ВЭР требует их отдельного рассмотрения.

Перечень вопросов и задач, решаемых с помощью водохозяйственных расчетов, достаточно широк и устанавливается в зависимости от условий конкретного объекта с учетом стадии проектирования.

Не всегда возможно разграничить проектные задачи на решаемые в составе «водохозяйственных расчетов» и задачи других разделов. Тем не менее, можно выделить основные и частные водохозяйственные задачи, возникающие в процессе проектирования и эксплуатации водохозяйственных систем. Если число основных задач сформировать несложно, то количество локальных, частных задач, практически неограниченно, что создает широкие возможности для научных исследований.

К числу **основных задач** можно отнести следующие водохозяйственные задачи:

- определение водохозяйственного эффекта, получаемого от водохозяйственной системы или отдельной водохозяйственной установки – гарантированное количество воды и энергии, отдаваемое потребителям;
- обоснование водохозяйственных и водоохраных мероприятий, направленных на экономию водных ресурсов и регулирование качества воды;
- обоснование инженерно-технических мероприятий и параметров гидротехнических сооружений – объемы и характерные отметки водохранилищ гидроузлов (УМО, НПУ, ФПУ), пропускная способность каналов и водоводов, производительность насосных станций, гарантированная и установленная мощность ГЭС, выработка электроэнергии, другие показатели;
- водохозяйственное обоснование системы мероприятий для защиты от наводнений и других проявлений негативного действия вод, сокращения и предотвращения социально-экологических и экономических ущербов;
- водохозяйственное обоснование комплексных мероприятий по восстановлению водных объектов рек, озер, внутренних морей;
- разработка имитационных моделей для систем регулирования и территориального перераспределения стока, в том числе каскадов водохранилищ в составе больших водохозяйственных систем;
- обоснование соглашений о вододелении и совместном управлении водными ресурсами [25];

- разработка «Правил использования водных ресурсов водохранилищ».

### **Часто встречающиеся локальные задачи:**

- оценка располагаемых водных ресурсов (определение водохозяйственного потенциала речного бассейна, в частном случае, оросительной способности реки);
- разработка водохозяйственных балансов разной структуры с учетом вододеления и совместного использования водных ресурсов в трансграничных створах и территориального перераспределения стока;
- оценка качества воды в водных объектах на основе результатов водохозяйственных и гидрохимических балансов;
- повышение репрезентативности гидрологической и водохозяйственной информации: а) восстановление естественного стока с использованием методов ретрансформации:
  - ✓ использование рек-аналогов;
  - ✓ применение стохастических и детерминистических моделей стока;
- обоснование параметров сооружений конкретной водохозяйственной системы, например, с элементами компенсированного регулирования стока, наличием наливных водохранилищ, централизованным покрытием требований к воде обширных регионов;
- построение диспетчерских графиков одного (Цимлянский гидроузел) или каскада водохранилищ комплексного назначения (Москворецкая водная система, каскад Бухтарминского и Шульбинского водохранилищ на Иртыше);
- распределение водных ресурсов между участниками водохозяйственного комплекса (далее ВХК) применительно к проектному варианту и в условиях нормально эксплуатации;
- анализ изменения уровня режима естественных водоемов под влиянием антропогенных факторов и вероятного изменения климата;
- моделирование системы мероприятий для защиты от затоплений, сокращения и предотвращения социально-экологических и экономических ущербов.

Список может быть продолжен, хотя вышеозначенные позиции практически полностью охватывают диапазон водохозяйственных проблем. Далее рассматриваются методические особенности некоторых из названных задач.

### **Методические особенности водохозяйственных расчетов**

В основе оценки водохозяйственного эффекта ВХС или отдельной водохозяйственной установки лежит уравнение (1):

$$A=F(S, C_v, C_s, r, B, P, V, \Xi, U), \quad (1)$$

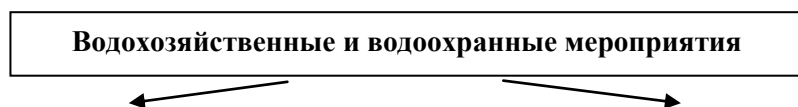


где  $A$ —гарантированные водные ресурсы ВХС, обусловленные системой критериев покрытия, либо условный интегральный целевой показатель (гарантированная мощность ГЭС, выработка электроэнергии и т.п.);  
 $S$ —среднегодовое значение естественных водных ресурсов всех водотоков  
 $C_v, C_s$ —характеристики многолетней и сезонной изменчивости и асимметрии распределения;  
 $r$ —параметр автокорреляционной функции, например коэффициент автокорреляции между обеспеченностями или нормализациями стоков смежных лет для авторегрессии первого порядка (простой цепи Маркова);  
 $B$ —показатели внутригодового распределения стока;  
 $P$ —набор критериев покрытия водопотребления (обеспеченность покрытия, глубина урезки водопотребления, хронологические ограничения);  
 $V$ —показатели водохозяйственной системы: полные и полезные емкости водохранилищ; пропускная способность каналов и водоводов, производительность насосных станций и другие показатели;  
 $\mathcal{E}$ —совокупность санитарно-экологических требований;  
 $U$ —функция управления.

В инженерной практике подобная задача свойственна схемам КИОВО в речном бассейне, когда рассматривается группа створов, а также при исследовании режимов работы водохозяйственных систем (далее ВХС). Лучшим инструментом в таких случаях являются имитационные водохозяйственные модели [10, 11, 14, 15, 24]. Это позволяет провести всесторонний анализ возможных сценариев ситуации как с точки зрения развития водопользования, так и с позиции регулирования и территориального перераспределения стока. Применение оптимизационных моделей эффективно только в сочетании с имитационным анализом. При определенной системе ограничений топографического характера и размещения объектов водопотребления может ставиться задача получения максимальной выработки электроэнергии и (или) максимальной гарантированной водоотдачи при условии соблюдения природоохранных и санитарно-экологических требований конкретного объекта. В наибольшей степени алгоритмы оптимизации применимы при подборе управляющего алгоритма (параметр  $U$  в уравнении (1)).

***Обоснование водохозяйственных и водоохранных мероприятий, направленных на экономию водных ресурсов и регулирование качества воды***

Класс мероприятий указанного вида рассматривается в главе 7. Они позиционируются как РИОВР (рациональное использование и охрана водных ресурсов) в соответствии с рис. 2.1.



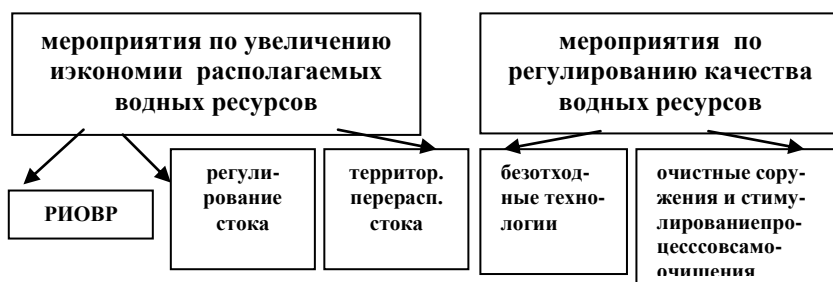


Рис. 2.1. Блок схема мероприятий.

В составе мероприятий по рациональному водопользованию обычно рассматриваются следующие мероприятия.

- Внедрение водосберегающих технологий, прежде всего, оборотных и повторного использования систем водоснабжения. Оборотные системы, зародившиеся на Урале в промышленно развитых районах с напряженным водохозяйственным балансом, позволяют сокращать объемы водозабора и сброса сточных вод в реки водоприемники. Широкое распространение получили оборотно-прямоточные, последовательного использования и комбинированные схемы водоснабжения [32]. Водно-балансовые соотношения для оборотных систем имеют вид:

$$\begin{aligned}
 Q_{tex} &= Q_{\text{бв}} + Q_{\text{ст}} + Q_{\text{об}}; & Q_{\text{св}} &= Q_{\text{бв}} + Q_{\text{ст}}; \\
 (Q_{\text{св}} + Q_{\text{об}}) \cdot K_{\text{об}} &= Q_{\text{об}}; & Q_{\text{св}} &= \frac{1 - K_{\text{об}}}{K_{\text{об}}} \cdot Q_{\text{об}}; \\
 Q_{\text{tex}} &= \frac{1 - K_{\text{об}}}{K_{\text{об}}} \cdot Q_{\text{об}} + Q_{\text{об}}; & Q_{\text{об}} &= K_{\text{об}} \cdot Q_{\text{tex}}; \\
 Q_{\text{св}} &= (1 - K_{\text{об}}) \cdot Q_{\text{tex}}; & K_{\text{бв}} &= \frac{Q_{\text{бв}}}{Q_{\text{бв}} + Q_{\text{ст}}}; \\
 Q_{\text{бв}} &= K_{\text{бв}} \cdot Q_{\text{св}}; & Q_{\text{ст}} &= (1 - K_{\text{бв}}) \cdot (1 - K_{\text{об}}) \cdot Q_{\text{tex}}.
 \end{aligned} \tag{2}$$

где:  $Q_{\text{tex}}$  - технологический расход воды, обеспечивающий производственный цикл;

$Q_{\text{св}}$  - забор свежей воды для покрытия безвозвратных потерь;

$Q_{\text{об}}$  - оборотный расход воды, многократно используемый в производственном цикле;

$Q_{\text{бв}}$  - безвозвратные потери воды, входящие в состав продукции и теряемые на испарение. В сумме со сточными водами определяют расход свежей воды;

$Q_{\text{ст}}$  - сточные воды, определяющие сброс в водоприемник;

$K_{\text{об}}$  - коэффициент водооборота, определяющий долю оборотного водоснабжения в технологическом цикле;

$K_{\text{бв}}$  - коэффициент безвозвратного водопотребления.

Приведенный набор параметров позволяет проектировать системы водоснабжения, подбирая наиболее экономичный и эффективный режим водопотребления с учетом: затрат на создание системы, возможностей

водоисточника в естественных условиях и при наличии водохранилищ с регулирующей емкостью.

- Борьба с непроизводительными потерями воды в сооружениях по распределению и регулированию водных ресурсов.
- Сокращение норм отраслевого водопотребления за счет внедрения прогрессивных технологий.
- Экономия ресурсов за счет альтернативных мероприятий, таких например, как строительство низконапорных гидроузлов (планируется на нижнем Дону; рассматривались как метод сокращения судоходных попусков на нижнем Иртыше для увеличения объемов переброски стока в проекте сибирской переброски) для поддержания судоходства при сокращении или отказе от специальных попусков.
- Строительство очистных сооружений.
- Внедрение безотходных технологий.
- Стимуляция процессов самоочищения водотоков и водоемов–аэрация потоков, охлаждение сточных вод, биологическая самоочистка.

### **Оценка располагаемых водных ресурсов**

Традиционная для середины XX века задача технического водоснабжения, сводилась к чисто инженерной задаче подведения воды к потребителю [21]. Объемы изъятия составляли незначительную часть стока, не вызывая существенного изменения водного режима. В дальнейшем задача водоснабжения трансформировалась в проблему водообеспечения, что было связано с увеличением гарантированного объема воды благодаря регулированию стока во времени и по территории. К настоящему времени сформировалась проблема водообустройства - регулирования количества и качества вод, состояния водных объектов.

Сформулируем понятие. Располагаемые водные ресурсы (далее РПВ) – это доступные для изъятия и пригодные для использования речные и подземные воды с учетом современного состава водохозяйственных и водоохраных мероприятий. Очевидно, что РПВ определяются как естественными природными факторами и существующим уровнем мероприятий, так и инвестиционной способностью для развития водохозяйственного комплекса.

Естественные водные ресурсы, то есть гидрологический режим, обусловлены физико-географическими и климатическими свойствами водосборного бассейна, естественной изменчивостью годового и сезонного стока, хронологической особенностью чередования маловодных и многоводных лет. Располагаемые ресурсы зависят от объема и режима водопотребления и его соответствия гидрологическому режиму, природоохраных и экологических попусков в условиях регулирования стока водохранилищами и его территориального перераспределения.

Анализ водохозяйственной обстановки по отдельным годам (даже в условиях сезонного регулирования стока), как правило, должен базироваться на

оценке водообеспеченности по всему многолетнему расчетному ряду путем сопоставления кривых обеспеченности естественного и проектного стока.

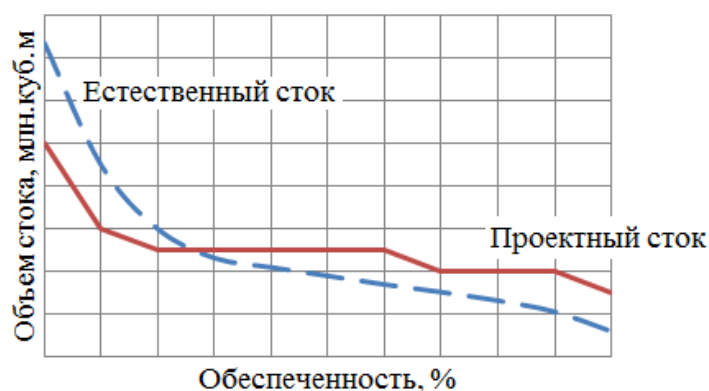


Рис. 2.2. Совмещенные кривые обеспеченности естественного и проектного стока

Определяющее значение в оценке РПВ имеет достоверность и представительность гидрологической информации. В большом количестве проектных случаев повышение «качества» информации, обусловленной многолетними наблюдениями за речным стоком и режимом водных объектов.

Для повышения репрезентативности гидрологической информации существует целый комплекс расчетных приемов, начиная со статистической обработки данных наблюдений с определением многолетних оценок параметров речного стока до прямого моделирования многолетних гидрологических рядов [2, 12, 13, 22, 28, 29].

Один из широко применяемых методов улучшения исходной гидрологической информации—использование рядов аналогов для уточнения многолетних статистических параметров и удлинения исходных гидрологических рядов. Методика основана на использовании линейной корреляции между восстанавливаемым рядом и рядом аналога при продолжительности синхронной выборки не менее 10 лет и значении коэффициентов корреляции не менее 0,6–0,7 [13, 22]. Использование более, чем двух аналогов в проектной практике не наблюдается, для этих случаев в работе [22] получены формулы, вытекающие из уравнений множественной линейной регрессии:

$$\bar{y}_N = \bar{y}_n + A_1 \cdot \frac{\sigma_{yn}}{\sigma_{x_1n}} (\bar{x}_{1,N} - \bar{x}_{1,n}) + A_2 \cdot \frac{\sigma_{yn}}{\sigma_{x_2n}} (\bar{x}_{2,N} - \bar{x}_{2,n}) \quad ,$$

$$\frac{\sigma_{yN}^2}{\sigma_{yn}^2} = 1 + A_1^2 \cdot \left( \frac{\sigma_{x_1N}^2}{\sigma_{x_1n}^2} - 1 \right) + A_2^2 \cdot \left( \frac{\sigma_{x_2N}^2}{\sigma_{x_2n}^2} - 1 \right) + 2 \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \left( \frac{\sigma_{x_1N}}{\sigma_{x_1n}} \cdot \frac{\sigma_{x_2N}}{\sigma_{x_2n}} - 1 \right) \cdot r_{1,2} \quad , (3)$$

где  $\bar{y}_N, \bar{y}_n$  — средние значения восстановленного ряда, расчетное и определенное по синхронной выборке, устанавливающей корреляционную зависимость

$\sigma_{yN}, \sigma_{yn}$  – стандартные отклонения восстановленного ряда, расчетное и определенное по синхронной выборке

$\bar{x}_{1,N}, \bar{x}_{1,n}$  – средние значения первого аналога по длинному и короткому ряду, соответственно

$\bar{x}_{2,N}, \bar{x}_{2,n}$  – то же второго аналога

$\sigma_{x_1N}, \sigma_{x_1n}$  – стандартные отклонения первого аналога по длинному и короткому ряду, соответственно

$\sigma_{x_2N}, \sigma_{x_2n}$  – то же второго аналога

$$A_1 = \frac{r_{y,x_1} - r_{1,2} \cdot r_{y,x_2}}{1 - r_{1,2}^2} \longrightarrow (4)$$

$$A_1 = \frac{r_{y,x_2} - r_{1,2} \cdot r_{y,x_1}}{1 - r_{1,2}^2} \longrightarrow (5)$$

$r_{y,x_1}, r_{1,2}, r_{y,x_2}$  – коэффициенты корреляции восстанавливаемого ряда с первым аналогом, вторым аналогом и взаимной корреляции между аналогами, соответственно.

### К вопросу об обеспеченности

Фундаментальное понятие и в инженерной гидрологии и в водохозяйственных расчетах – понятие обеспеченности (вероятности превышения случайной величины). Не всегда одинаково трактуется данный показатель, что связано, по-видимому, с его использованием именно в водохозяйственной практике. Между тем классический термин - функция распределения вероятностей  $F$  (вероятность не превышения случайной величины) связан с обеспеченностью простым соотношением  $P=1-F$ .

Если говорить о естественном стоке, то обычно строят две кривых обеспеченности – эмпирическую и аналитическую. Аналитическая кривая обеспеченности зависит от принятого типа распределения вероятностей. Существует много всевозможных типов распределения. Это нормальное, Пуассона, гипергеометрическое, гамма-распределение (биномиальное), логарифмически нормальное  $Cs=3Cv+Cv^3$ , показательное, равномерное, распределения Пирсона нескольких типов.

Наиболее широко используется нормальное распределение (симметричное двухпараметрическое). Оно используется в гидрологии для статистической проверки гипотез, оценки точности статистических расчетов, теории корреляции. Основное применение для оценки точности инженерно-гидрологических расчетов. В связи с развитием метода статистических испытаний (Монте-Карло) роль нормального распределения несколько снизилась, оставаясь, безусловно, весьма значимым. По-прежнему вероятностную связь лучше искать на основе линеаризованных нормированных значений исследуемых случайных величин.

Нормальное распределение не годится для описания гидрологических процессов, так как включает отрицательную область значений. Для описания величин стока, изменяющихся от 0 до бесконечности, хорошо использовать гамма-распределение. Это тоже двухпараметрическое распределение, но не симметричное. Его асимметрия жестко связана с коэффициентом вариации –  $2Cv$ . Распределение многих метеорологических и гидрологических величин (ливневые осадки, максимумы дождевых паводков и другие) имеет существенно более высокую асимметрию, чем у гамма – распределения. По этой причине многие годы использовалось распределение Пирсона III типа. Следует отметить, что это трехпараметрическое распределение, однако его асимметрия жестко связана с неким минимальным значением, нахождение которого также довольно сложная проблема. Этот недостаток распределения Пирсона стимулировал поиск такого распределения, которое имело бы три независимых параметра, не влияющих на предельное состояние кривой. В 1946 году такое распределение было разработано. Оно представляло собой степенное преобразование гамма - распределения и поэтому получило название трехпараметрическое гамма-распределение [13]. Его частные случаи при разных предельных значениях параметров приводили к одному из известных распределений: Пирсона третьего типа, Гудрича, экспоненциальное и некоторые другие.

Кроме нормального и трехпараметрического распределения, большое значение имеет равномерное распределение, которому подчиняются сами обеспеченности. Действительно все они равновероятны (одинаковая плотность) и распределены на отрезке от 0 до 1. Используя равномерное распределение для описания величин обеспеченностей, затем легко перейти к квантилям любой вероятности.

Эмпирическая оценка обеспеченности выполняется по известной формуле, задающей обеспеченность в виде линейной функции номера  $m$  элемента ранжированной выборки (6). Эмпирическая оценка имеет очень важное значение не только для естественных рядов, но и для анализа результатов имитационных экспериментов в водохозяйственных моделях.

$$P_m = \frac{m - a}{n + b}, \quad (6)$$

где  $n$  – число членов выборки;  
 $a$  и  $b$  – некоторые константы.

Из условия, что среднее значение обеспеченности равно 0,5, получаем, что:

$$P_m = \frac{m - a}{n + 1 - 2a} \quad (7)$$

Формула (7) приводится в книге [13], где отмечается, что параметр  $a$  может принимать значения от 0 до 1. При  $a=0$  получается известная формула (8), соответствующая математическому ожиданию.

$$P_m = \frac{m}{n + 1} \quad (8)$$

При  $a=0,3$  получается формула Н.Н.Чегодаева, ориентированная на медиану распределения.

$$p_m = \frac{m-0,3}{n+0,4} \quad (9)$$

Из условия несмещенности оценок дисперсии Г.А.Алексеевым и независимо Д.М. Маматкановым получено выражение (10), в котором значение  $a$  в интересующем диапазоне значений  $a \approx 0,25$ .

$$p_m = \frac{2m - (n+1) + \sqrt{n \cdot (n+1)}}{2\sqrt{n \cdot (n+1)}} \quad (10)$$

Все рассмотренные формулы не привязывались авторами к конкретным типам распределения. Применительно к гамма – распределению при  $C_s = 2C_v$  Е.Г. Блохиновым получено выражение, соответствующее  $a=0,4$ . В работе [13] в результате анализа делается вывод в пользу формулы (7), дающей более осторожное решение.

Вышеизложенное относится к последовательностям независимых случайных величин. Для исследования влияния автокорреляции на оценку  $p_m$  автором проведены массовые расчеты методом статистических испытаний для выборок разного объема и автокоррелированности [23]. В результате исследований оказалось, что при длительности рядов более 30 членов влияние автокоррелированности практически не проявляется. Однако и в этом случае при высоких значениях коэффициента автокорреляции влияние сопоставимо с разницей между обеспеченностями, подсчитанными по формулам (6-9), а для крайних точек превышает это влияние в 2 раза. Для учета автокоррелированности в работе [23] на основе результатов статистических испытаний (исследовано 600 выборок длиной от 10 до 30 членов с коэффициентами автокорреляции  $r_0=(0 \div 0,5)$ ) предложена формула (11).

$$p_m = \frac{m + \frac{2r_0}{3n} \cdot (n - 2m + 1)}{n + 1 - \frac{2r_0}{3n} \cdot m \cdot (n - 2m + 1)} \quad (11)$$

Кроме первичного понятия обеспеченности члена ряда, основополагающим в водохозяйственных расчетах является понятие обеспеченности покрытия требований водопользователей (согласно действующей редакции водного кодекса под водопользователями понимаются и водопользователи и водопотребители). Однако в этом случае затрагивается тема назначения критериев удовлетворения требований.

### **Система критериев удовлетворения количественных требований к водным ресурсам**

Значение вопроса очень велико, так как параметры сооружений и водохозяйственных мероприятий полностью определяются результатами водохозяйственных расчетов, ориентированных на значения критериев. Так,

изменение расчетной обеспеченности на несколько пунктов при высокой изменчивости может в 2 раза увеличить или уменьшить требуемую величину объема водохранилища или пропускную способность водозабора. В то же время значения критериев не прописаны в нормативной литературе (за исключением максимальных расходов, устанавливаемых в зависимости от класса сооружений и ситуации в нижнем бьефе гидроузлов). По этой причине критерии устанавливаются на основании опыта отечественного и зарубежного проектирования. Учитывая разноречивые сведения по данному вопросу, в документе [16] прописаны основные методические положения для установления критериев.

Основным из критериев удовлетворения требований водопользователей является расчетная обеспеченность по числу бесперебойных лет, вычисляемая.

$$P_{\text{дл}} = \frac{N - m}{N + 1} \cdot 100, \quad (12)$$

где: N – продолжительность многолетнего расчетного ряда, принимаемого за прототип будущего водного режима, в годах, m – число перебойных лет.

Для водного транспорта, где абсолютная бесперебойность не является самым главным, а важно не сорвать период навигации полностью следует использовать показатель обеспеченности по сумме бесперебойных месяцев (декад) многолетнего расчетного периода, что позволяет оценить относительную продолжительность бесперебойных интервалов времени. Обеспеченность по продолжительности бесперебойных интервалов времени определяется формулой (13):

$$P_{\text{дл}} = \frac{M}{N \cdot n} \cdot 100, \quad (13)$$

где M – суммарное количество бесперебойных периодов времени в расчетном ряду.

n – количество расчетных интервалов в году. Это гораздо менее жесткий критерий, чем по числу бесперебойных лет ( $P_{\text{дл}} > P_{\text{чл}}$ ). В методике [16] дается сравнение показателей для конкретного расчета по 40-летнему расчетному ряду. В ряду оказалось 200 бесперебойных месяцев и 30 полностью бесперебойных лет. Обеспеченность по продолжительности бесперебойных месяцев в этом случае на 10 пунктов выше, а именно она определяет средние ущербы отрасли за многолетний период.

$$P_{\text{чл}} = \frac{N - m}{N + 1} \cdot 100 = \frac{40 - 10}{41} = 73\%, \quad (14)$$

$$P_{\text{дл}} = \frac{M}{N \cdot n} \cdot 100 = \frac{200}{40 \cdot 6} = 83\%, \quad (15)$$

Вторым критерием по значимости в нашей практике является глубина перебоев за пределами расчетной обеспеченности, то есть в оставшихся  $(100 - P_{\text{дл}})$  годах. Часто смежные понятия дефицит и глубина перебоя, различие состоит в том, что «дефицит» в большей степени относится к проектной стадии – это планируемая или прогнозируемая величина, определяющая



параметры водохозяйственных мероприятий. Соответственно, «перебои» характеризуют период эксплуатации водохозяйственных систем. При высокой многолетней и сезонной изменчивости глубина перебоев может достигать более 50% полезной водоотдачи.

Иногда в проектной практике учитывается такой критерий, как продолжительность серий перебойных лет, но чаще он просто отслеживается по результатам баланса параллельно с обеспеченностью и глубиной перебоев. Значимость данный критерий приобретает при высоких значениях коэффициента автокорреляции га между объемами стока смежных лет.

В таблице 2.1 приводятся значения критериев, отвечающие опыту отечественного водохозяйственного проектирования.

ВХК включает обычно несколько водопользователей с разной обеспеченностью покрытия. Для выполнения экспертной оценки водообеспеченности используется так называемая «приведенная обеспеченность» [5]. Смысл ввода данного параметра заключается в том, чтобы свести требования водохозяйственного комплекса к одному условному водопользователю. Обеспеченность условного водопользователя (приведенная обеспеченность) определяется из расчета эквивалентного водопотребления за многолетний период продолжительностью  $n=100$  (условная продолжительность генеральной совокупности).

$$P_{np} = \frac{\sum_1^N [A_i \cdot P_i + A_{сокp_i} \cdot (100 - P_i)]}{\sum_1^N A_i} \quad (16)$$

$$P_{np} = \frac{\sum_1^N (A_i \cdot P_i)}{\sum_1^N A_i}, \quad (17)$$

где  $P_i$  – обеспеченность  $i$ – го водопользователя с проектными требованиями  $A_i$  и сокращенными требованиями  $A_{сокp}$ .

Таблица 2.1

Отраслевое водопотребление	Обеспеченность по числу бесперебойных лет, %	Глубина перебоев, G%
КБХ	95...97	10
Промышленность	95	10
Регулярное орошение	75...90 (гумидная и аридная зоны)	15...50 в зависимости от Cv
Водный транспорт и рыбохозяйственные попуски	50...75	Сокращение сроков навигации
Энергетические попуски	80...90	10...20
Санитарно-экологические (ступенчатые) <sup>1</sup>	75...95	В зависимости от объекта

<sup>1</sup> Попуски назначаются в зависимости от наполнения водохранилища на начало гидрологического года и прогноза водности половодья согласно ПИВР (ЦГУ, ВКК).

Формулу рекомендуется использовать для прикидочных расчетов с целью примерной оценки суммарной гарантированной водоотдачи. Слабым звеном формулы (16) является неопределенность числителя в силу его не связанности с естественной водностью, поэтому более предпочтительна формула (17).

Критерий  $P_{чбл}$  имеет целый ряд недостатков. Не учитывается возможность незначительного отклонения от проектного объема водопотребления. В то же время, отбрасывая дефициты, не превышающие 1% от проектного объема водопотребления, мы увеличиваем обеспеченность покрытия на (5-10)%. Поэтому, целесообразно рассматривать не точное значение водоотдачи, а диапазон отдач и, соответственно, устанавливать обеспеченность  $P_{чбл}^\alpha$  по числу бесперебойных лет для диапазона значений объемов водопотребления  $[\alpha = (0 \div 1) \cdot W_{нор}]$ . Подобный подход соответствует английской проектной практике, хотя, по сути, он близок нашей школе регулирования стока на основе диспетчерских графиков водохранилищ. При проектировании нашими специалистами водохозяйственной системы «Кариотис» в республике Кипр устанавливались следующие режимы требований к водным ресурсам со стороны орошения и хозяйственно-питьевого водоснабжения. Так, для орошения citrusовых и листопадных допускается снижение нормы в пределах 25% в 80% лет расчетного многолетнего периода. Это означает, что для указанного вида растений  $P_{чбл}^{0,75} = 80\%$ . В 20% лет специальные требования не устанавливались. Для зерновых и овощей были приняты  $P_{чбл}^{0,90} = 50\%$ ,  $P_{чбл}^{0,80} = 80\%$ ,  $G_{max} = 0,5W_{нор}$ . Для ВСН принималось  $P_{чбл}^{0,9 \div 1,0} = 80\%$ ,  $G_{max} = 0,25W_{нор}$ . Границы диапазона ограничений устанавливает ответственный исполнитель с учетом особенностей объекта. Изменение водоотдачи внутри диапазонов регулируется с помощью критерия R (Reliability) – суммарное количество гарантированной воды, отданное водопотребителю в долях суммарной проектной водоотдачи за тот же многолетний период.

$$R = \sum_1^N (A - D_i) / (A \cdot N) \quad (18)$$

Несложно заметить, что

$$R = \sum_1^N (A - D_i) / A \cdot N = 1 - \frac{D_{cp}}{A} \quad (19)$$

где  $D_{cp}$  - среднемноголетний дефицит. Критерий R также не учитывает хронологию дефицитов и в отдельности является малоинформативным критерием. Его значения обычно достаточно высоки и всегда  $R \gg P_{чбл}$ . Эти два параметра не эквивалентны, но коррелированы – чем выше R, тем больше  $P_{чбл}$ .

### Обоснование критериев

Участники водохозяйственного комплекса (далее ВХК) представлены как отраслями экономики, так и природными водными объектами. К числу участников ВХК относятся как отраслевые водопользователи, так и водные объекты со своими требованиями к водному режиму.

Различие режимов водопотребления требует оптимизации распределении ресурсов между водопользователями и естественными водными объектами как в многолетии, так и в течение года. Следствием наших просчетов при проектировании и в процессе управления водными ресурсами и водохозяйственными системами являются истощение и загрязнение водотоков и водоемов, деградация водных и околотоводных экологических систем.

Для современных водохозяйственных систем характерно сочетание проблем водообеспечения, качества водных ресурсов, сохранения и поддержания водных и околотоводных экосистем, компенсации и предупреждения последствий негативного действия вод. Проблема водообеспечения по-прежнему остается одной из наиболее приоритетных задач экономики, поэтому развитие теории и практики водохозяйственных расчетов является актуальным направлением научных исследований как для проектирования новых водохозяйственных объектов, включая реконструкцию, так и для обоснования рациональных режимов водохозяйственных установок и ГЭС в период эксплуатации [6].

Режим водопользования в условиях регулирования стока определяется проектными параметрами водохозяйственной системы и установленными правилами управления водными ресурсами, в частности диспетчерскими графиками [4, 5]. И то, и другое в значительной степени зависит от принятой системы критериев удовлетворения требований к воде со стороны водопользователей.

Таким образом, оценка водообеспеченности должна охватывать весь спектр водности, а не отдельные фрагменты проектной кривой обеспеченности стока. Данное обстоятельство приводит к неопределенности в ходе обоснования емкости водохранилищ или гарантированной водоотдачи, а как следствие, и других параметров водохозяйственной системы. Однако, интервал возможных значений параметра, может быть достаточно большим, в зависимости от субъективных суждений проектировщиков. Попробуем исследовать многолетнюю водообеспеченность с целью обоснования значений рассмотренных выше критериев.

Ранее предпринимались попытки к решению проблемы, даже в методических указаниях к разработке схем КИОВР примерно 30 – летней давности содержалось требование обоснования обеспеченности покрытия. Однако конкретных рекомендаций на уровне готовой методики не имеется. Связано это с такими причинами, как необходимость аналитического описания функции ущербов разных водопользователей, отсутствие аргументированной мотивации увеличения расчетной обеспеченности отдачи, сложность совместного учета стохастической природы колебаний стока и режима предъявляемых требований к водным ресурсам.

Один из возможных подходов к решению задачи, основанный на статистическом анализе проектной кривой обеспеченности водоотдачи, приведен ниже. Интегральной характеристикой покрытия требований водопользователей является кривая обеспеченности проектной водоотдачи

(рис.2.3). Эта кривая представляет собой конечный результат водно-балансовых расчетов и соответствует принятому варианту регулирования стока, режима водопотребления и системы критериев удовлетворения требований водопользователей.

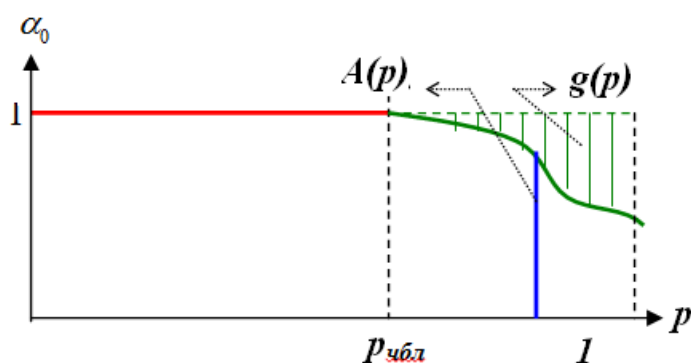


Рис. 2.3. Кривая обеспеченности проектной водоотдачи

На графике показана расчетная обеспеченность  $p$  и некоторая функция дефицитов за пределами  $p$ . Для удобства, дальнейшие выкладки выполняются в относительных величинах.

На графике  $\alpha_0$  – фактическая гарантированная отдача в долях установленного проектного водопотребления, принимаемого за единицу. Эскиз графика отражает выполнение расчетной обеспеченности  $p_{чбл}$  некоторого водопользователя. В пределах участка  $[0; p_{чбл}]$  требования удовлетворяются бесперебойно. На участке  $[p_{чбл}; 1]$  функция, характеризующая распределение дефицитов за пределами расчетной обеспеченности. Какой следует принять  $p_{чбл}$ ? Штриховкой показана зона дефицитов. Какой должна быть эта функция, по существу функция распределения дефицитов, чтобы многолетний ущерб от недодачи воды был минимальным? Необходимые критерии  $R$  и  $p$ . Критерий  $R$  – надежность водоподачи по гарантированному объему (формула 19) «отвечает» за возможности регулирования стока, связанные с особенностями объекта. Гарантия водоотдачи характеризуется параметром  $p$ , задающим многолетнюю бесперебойность. Математическая постановка задачи выглядит в этом случае следующим образом:

*Определить обеспеченность покрытия водопотребления  $p_{чбл}$  (надежность по фактору бесперебойности) и соответствующую функцию распределения гарантированной отдачи  $A(p)$ , приводящих в совокупности к наименьшей за многолетие сумме экономических рисков  $U$  при заданных уровне надежности  $R$  по объему многолетней гарантированной водоотдачи и установленной зависимости  $u(g)$  экономического ущерба  $u$  от недодачи (дефицита) воды  $g$ .*

Строго говоря, функцию рисков следует искать в виде произведения величины экономического ущерба на вероятность риска. Однако основная сложность и состоит в назначении данного показателя. Первое побуждение принять в качестве такового  $(1 - p_{чбл})$  (зона дефицитов за пределами расчетной

обеспеченности) не оправдано с водохозяйственной точки зрения. Действительно, переход от  $p_{чбл}=0,9$  к  $p_{чбл}=0,8$  в результате такого подхода приводит к увеличению значения функционала в два раза, что представляется несоразмерным. Более обоснованным является назначение весовых коэффициентов, обратно пропорциональных обеспеченности  $K_p=1/p$ . Тем не менее, окончательное решение о принятии показателя риска требует дополнительного анализа, связанного с оценкой социально-экономической значимости критерия обеспеченности. Необходимо добиться сопоставимости величин экономического ущерба с фактором многолетней бесперебойности. Это возможно только в процессе выполнения водохозяйственных расчетов для конкретной водохозяйственной системы. Вернемся к исходной задаче.

Пусть  $u(g)$  заданная функция ущерба, и  $g(p)$  функция распределения ранжированных дефицитов за пределами расчетной обеспеченности, тогда  $A(p) = 1 - g(p)$ .

$$(1 - p_{чбл}) \cdot \int_0^{g_{max}} g \cdot \rho(g) \cdot dg = 1 - R ;$$

$$\int_0^{g_{max}} \rho(g) \cdot dg = 1 \quad , \text{ где } \rho(g) - \text{плотность безусловного} \quad (20)$$

распределения дефицитов;

$(1 - R)$  - объем недополученной за многолетие воды

Формализуем задачу:

$$\left\{ \begin{array}{l} p, \rho(g), g_{max} - \text{варьируемые (искомые) характеристики} \\ - \text{переменные} \\ R - \text{константа, } 0 < R \leq 1, 0 < p_{чбл} \leq R - \text{ограничения по} \\ \text{возможностям регулирования;} \\ \left\{ \begin{array}{l} g(p) = 0 \text{ при } p \in [0; p_{чбл}], \\ g(p) \in [0; g_{max}] \text{ при } p \in [p_{чбл}; 1], \\ 0 \leq g_{max} \leq 1 - \text{ограничения на переменные;} \end{array} \right. \\ \int_0^{g_{max}} g \cdot \rho(g) \cdot dg = \frac{1 - R}{1 - p_{чбл}} - \text{ограничение по ресурсам} \\ U = K_p \cdot \int_0^{g_{max}} u(g) \cdot \rho(g) \cdot dg \Rightarrow \min, \\ K_p = \varphi(p) - \text{принятая функция весовых коэффициентов для} \\ \text{функции ущерба,} \\ U - \text{многолетняя сумма рисков,} \end{array} \right. \quad (21)$$

Соответственно имеем:

$$A(p) = \begin{cases} 1 & \text{при } x \in [0; p_{чбл}] \\ 1 - g(p) & \text{при } x \in (p_{чбл}; 1] \end{cases} ; \quad (22)$$

Таким образом, неизвестные искомые величины – это значения функции плотности распределения дефицитов  $\rho(g)$  и максимальное значение

дефицита  $g_{max}$ . Что касается функции  $g(p)$ , то она определяется из уравнения (23) после интегрирования.

$$(1 - p_{чбл}) \cdot \int_0^g \rho(g) \cdot dg + p_{чбл} = p \Leftrightarrow \int_0^g \rho(g) \cdot dg = \frac{p - p_{чбл}}{1 - p_{чбл}} \quad (23)$$

Система (21) типовая задача вариационного анализа. Решение ее в общем виде представляет в большей степени математический интерес. С точки зрения водохозяйственного смысла требуется большая конкретика в части входящих параметров, включая функции отраслевых ущербов и вид функции распределения дефицитов. Используя численные методы, применительно к рассмотренной методике автором разработана несложная имитационная модель с применением алгоритма поиска решения в среде XL.

Алгоритм модели предусматривает разбиение области распределения дефицитов на конечное число интервалов (от 20 до 50). Неизвестные значения плотности распределения задаются массивом первого приближения. Массив первого приближения очень важен, поскольку задает тип распределения. После множества статистических испытаний наиболее устойчивой оказалась монотонно возрастающая функция плотности распределения дефицитов, начиная с некоторого значения дефицита. Во избежание получения нескольких локальных оптимумов во всех вариантах используется именно такой подход (исключение составляет равномерное распределение, рассмотренное в дальнейшем изложении). Функция ущербов удобнее всего задавать степенной функцией  $u = g^m$ , которая меняет кривизну при переходе показателя степени  $m$  через единицу. Принимая максимальный дефицит за единицу, максимальный ущерб также получаем равным единице. Параметр  $m$  задает скорость увеличения ущерба с ростом дефицита. В диапазоне значений  $g \in [0; 1]$  имеем  $u \in [0; 1]$  (рис.2.4). Результаты расчетов с использованием модели приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Оптимальные сочетания критериев в зависимости от характера изменения функции ущерба.

<b>R</b>	<b>m</b>	<b>p<sub>чбл</sub>, %</b>	<b>g<sub>max</sub></b>
0,95	0,5	95	1,00
	0,8	95	1,00
	<b>1,0</b>	<b>95</b>	<b>1,00</b>
	<b>1,2</b>	<b>83</b>	<b>0,42</b>
	<b>1,5</b>	<b>67</b>	<b>0,21</b>
	<b>1,8</b>	<b>55</b>	<b>0,16</b>
	<b>2,0</b>	<b>50</b>	<b>0,14</b>
0,90	0,5	95	1,00
	0,8	95	1,00
	<b>1,0</b>	<b>89</b>	<b>1,00</b>
	<b>1,2</b>	<b>83</b>	<b>0,80</b>

	<b>1,5</b>	<b>67</b>	<b>0,42</b>
	<b>1,8</b>	<b>55</b>	<b>0,32</b>
	<b>2,0</b>	<b>50</b>	<b>0,28</b>

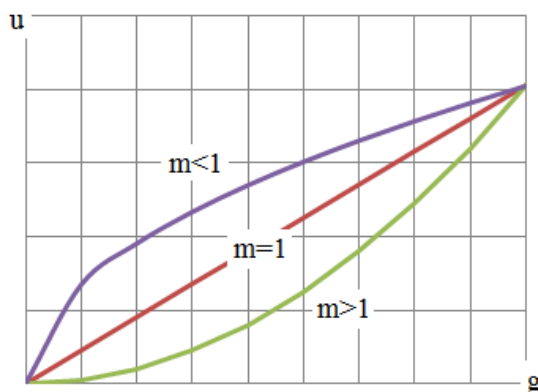


Рис. 2.4. Зависимость относительных отраслевых ущербов ( $u$ ) от объема относительного дефицита ( $g$ ).

Для сопоставления результатов с аналитическим решением рассмотрен вариант равномерного распределения.

$$\int_{g_{\min}}^{g_{\max}} \frac{g}{g_{\max} - g_{\min}} \cdot dg = \frac{1-R}{1-p_{\text{чбл}}}; \frac{g_{\max}^2 - g_{\min}^2}{2 \cdot (g_{\max} - g_{\min})} = \frac{1-R}{1-p_{\text{чбл}}};$$

$$\frac{g_{\max} + g_{\min}}{2} = \frac{1-R}{1-p_{\text{чбл}}}; g_{\text{cp}} = \frac{1-R}{1-p_{\text{чбл}}} \quad (24).$$

$$U = K_p \cdot \int_{g_{\min}}^{g_{\max}} \frac{g^m}{g_{\max} - g_{\min}} \cdot dg = K_p \cdot \frac{g_{\max}^{m+1} - g_{\min}^{m+1}}{(m+1) \cdot (g_{\max} - g_{\min})};$$

$$\text{Если принять } g_{\min} = 0, \text{ то } U = K_p \cdot \frac{g_{\max}^m}{m+1} = \frac{g_{\max}^m}{p_{\text{чбл}} \cdot (m+1)}.$$

С учетом (24) получаем.

$$U = \frac{g_{\max}^m}{p_{\text{чбл}} \cdot (m+1)} = \frac{2 \cdot (1-R)}{p_{\text{чбл}} \cdot (1-p_{\text{чбл}}) \cdot (m+1)} \quad (25)$$

Очевидно функционал (25) достигает минимума при  $p_{\text{чбл}}=0.5$  вне зависимости от значения  $m$ . Таким образом, сужение области решения до равномерной плотности приводит к 50 %-й обеспеченности практически при любом очертании функции ущербов. Завершая рассмотрение вопроса, отметим необходимость дальнейших исследований на основе анализа частных функций экономического и социального ущерба от недодачи воды.

### Вопросы моделирования гидрологических рядов

Стохастические модели имеют большое значение с точки зрения надежности результатов водохозяйственных расчетов. Необходимость использования искусственных гидрологических рядов обусловлена недостаточностью данных наблюдений, их репрезентативностью, высокой степенью антропогенного искажения, не поддающегося достоверной ретрансформации, а также наличием

нескольких асинхронных водотоков в составе водохозяйственной системы. При проектировании сложных водохозяйственных систем особенно важными становятся вероятностные связи между стоками различных территориальных зон.

Возможности использования таких моделей существенно расширились с развитием компьютерных технологий. Роль статистического моделирования в водохозяйственных расчетах показана в работах [3, 7, 8, 12, 18, 24, 26, 30, 31]. Различие методик проявлялась в выборе типа функции безусловного распределения, а также автокорреляционной функции для моделирования совокупностей с принятым шагом дискретности во времени. Требования к функции безусловного распределения определяются двумя обстоятельствами – необходимостью исключения области отрицательных значений и наличием независимой асимметрии распределения.

Достаточно надежной моделью автокорреляционной функции является простая цепь Маркова, устанавливающая связь между смежными величинами случайного ряда и представляющая собой авторегрессию первого порядка между величинами стока, их нормализованными значениями, либо между обеспеченностями (вероятностями превышения) годового стока. Одна из модификаций Марковского процесса (Раткович Д.Я., Сарманов И.О.) предусматривает линейную корреляцию между обеспеченностями  $P_i$ ,  $P_{i+1}$  стока смежных лет [19] с последующим переходом к величинам  $S_i$ ,  $S_{i+1}$  стока посредством трехпараметрического гамма распределения. Последовательность операций характеризуется схемой (26).

$$\begin{aligned} P_i &\Rightarrow S_i = g(P_i, \bar{S}, C_V, C_S / C_V), P_{i+1} = \psi(P_i, r_a, \delta_{i+1}) \Rightarrow \\ &\Rightarrow S_{i+1} = g(P_{i+1}, \bar{S}, C_V, C_S / C_V) \end{aligned} \quad (26)$$

Схема (26) работает только для одиночного ряда, что сужает область применения методики, сохраняя привлекательность и прозрачность самого вероятностного подхода. При необходимости моделирования нескольких взаимосвязанных гидрологических рядов задача естественно усложняется [9, 17, 20, 26].

Остановимся на одном из наиболее общих подходов, предложенных в работе [18]. Задача ставилась следующим образом. Задавая конечное число независимых случайных величин, ищется такое линейное преобразование, при котором их статистические характеристики: математические ожидания, ковариационная матрица (дисперсии, коэффициенты корреляции) и третьи несмешанные моменты (асимметрия) совпадают (достаточно близки) с известными оценками параметров моделируемых последовательностей. Пусть  $y_i$  один из моделируемых рядов, представляющий собой линейную комбинацию из независимых случайных величин (26). Присутствие названных величин в каждом из моделируемых рядов создает вероятностную связь.



Математические ожидания и дисперсии независимых рядов определяются формулами (27) и (28).

$$y_i = a_{i,1} \cdot x_1 + a_{i,2} \cdot x_2 + a_{i,3} \cdot x_3 + \dots + a_{i,n} \cdot x_n, \quad i = 1, n$$

$$\bar{y}_i = a_{i,1} \cdot \bar{x}_1 + a_{i,2} \cdot \bar{x}_2 + a_{i,3} \cdot \bar{x}_3 + \dots + a_{i,n} \cdot \bar{x}_n \quad (27)$$

$$\sigma^2_{y_i} = a_{i,1}^2 \cdot \sigma_{x_1}^2 + a_{i,2}^2 \cdot \sigma_{x_2}^2 + a_{i,3}^2 \cdot \sigma_{x_3}^2 + \dots + a_{i,n}^2 \cdot \sigma_{x_n}^2 \quad (28)$$

В матричной форме первое уравнение имеет вид  $Y = A \cdot X$ , где  $A$  – прямоугольная матрица порядка  $n \times N$  с элементами  $a_{i,j}$ ,  $X$  – вектор-столбец независимых случайных величин  $x_1, \dots, x_n$ . В [18] показано, что ковариационная матрица  $B = A \cdot A_T$ , где  $A_T$  – матрица, транспонированная к матрице  $A$ . Средствами матричной алгебры были получены выражения для коэффициентов  $a_{i,j}$  и параметры вспомогательных многолетних последовательностей  $x_j$ .

Применительно к описанной выше методике нами разработана компьютерная программа для практического моделирования нескольких гидрологических рядов с заданными параметрами, коэффициентами корреляции и автокорреляции. Поскольку нормальная корреляция свойственна нормально распределенным случайным величинам, принимается нормальное распределение для  $x_1, \dots, x_n$ . Внутрирядная связь воспроизводится в виде Марковского процесса первого порядка между обеспеченностями величин стока с последующим переходом к нормально распределенным значениям по равновероятным квантилям. Дальнейшая трансформация обеспеченностей в объемы стока выполняется в соответствии с алгоритмом (26).

Строго говоря, построение корреляции между случайными величинами требует точного знания закона распределения. Пожалуй, только обеспеченности обладают привилегией априорной принадлежности к равномерному распределению. Построение корреляции между обеспеченностями стока представляется эффективным по ряду факторов. Во-первых, переход непосредственно к гидрологическим величинам хорошо отработан благодаря универсальному трехпараметрическому распределению С.Н.Крицкого–М.Ф.Менкеля. Во-вторых, все другие модификации Марковского процесса предусматривают субъективные процедуры перехода к величинам стока. Наконец использование обеспеченностей привлекательно для гидролого-водохозяйственных расчетов.

Невозможность реализации в данном случае подхода (26) связано с тем, что композиционный метод не применим к равномерно распределенным случайным последовательностям (то есть обеспеченностям), поскольку равномерное распределение – однопараметрическое. Поэтому с целью расширения области действий с обеспеченностями нами рассмотрена возможность использования для их описания бета – распределения. Бета – распределение – двухпараметрическое, при определенных ограничениях –

одномодальное, с регулируемым положением моды. Последнее обстоятельство особенно важно для построения условных распределений вероятностей величин стока.

### **Постановка задачи**

Рассмотрим две последовательности равномерно распределенных случайных величин  $p$  и  $q$ . Безусловное распределение каждой из них равномерное. Соответствующая функция плотности распределения этих величин имеет вид (29), функция распределения (30).

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)} \quad (29)$$

$$F(x) = \int_0^x \frac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)} dx \quad (30)$$

Условное распределение, достаточно гибкое, может быть подобрано вариацией параметров бета-функции. Параметры бета-функции, в свою очередь зависят от оценки корреляции и достигнутого значения обеспеченности  $p$ , которое принимается за моду распределения. Существенным моментом при формировании характера связи является выбор параметра для построения уравнения регрессии. При сравнении математического ожидания и моды предпочтение было отдано модальным значениям, более подходящим для построения корреляционной связи. Основным аргументом здесь явилось то обстоятельство, что выдержать одномодальное распределение (условие одномодальности бета - распределения:

$(\alpha > \beta > 1$  или  $\beta > \alpha > 1)$  при высоких значениях коэффициента корреляции невозможно. Это подтверждено проведенными нами статистическими испытаниями. Кроме того, мода безусловного распределения совпадает с математическим ожиданием, поскольку равномерное распределение есть частный случай бета-распределения при  $\alpha = \beta = 1$ . И наконец, «движение» моды делает понятным изменение асимметрии условного распределения.

Таким образом, для описания линейной корреляции между равномерно распределенными случайными величинами  $p$  и  $q$  принята модель соответствия коэффициента корреляции  $r$  моде условного распределения  $m_q$ . Мода условного распределения определяется достигнутым значением  $p$  (табл. 2.3), также, как и асимметрия этого распределения (в отличие от [19], где берется не модальное значение, а математическое ожидание). Принимаемая линейная зависимость между модой условного распределения и коэффициентом корреляции согласуется с логикой предшествующих исследований и не несет ощутимых противоречий.

Таблица 2.3.

Коэффициент корреляции, R	Мода условного распределения, $m_q$
---------------------------	-------------------------------------

-1	1-p
0	0.5
1	P

Структура уравнения регрессии не меняется по сравнению с [19].

$$m_q = m = 0.5 + r \cdot (p - 0.5) \quad (31)$$

Далее используем известную формулу, выражающую условный стандарт (32) через стандартное отклонение безусловного равномерного распределения.

$$\sigma_r^2 = \sigma_0^2(1-r^2) \quad \sigma_r^2 = \frac{1-r^2}{12} \quad (32)$$

Приравняв известные выражения для моды распределения и стандарта, получаем систему уравнений (33), в результате решения которой определяются параметры бета-функции и соответствующего бета-распределения.

$$\begin{cases} \alpha = \frac{(M \cdot \beta - 2 \cdot M + 1)}{1 - m} ; \\ \frac{\beta \cdot (M \cdot \beta - 2 \cdot M + 1) \cdot (1 - M)^2}{(\beta - 2 \cdot M + 1)^2 \cdot (\beta - 3 \cdot M + 2)} = \sigma^2 = \frac{1 - r^2}{12} \end{cases} \quad (33)$$

Решение системы (33) сводится к кубическому уравнению относительно  $\beta$  (34). Решение уравнений (34) позволило определить значения параметров  $\alpha$  и  $\beta$  бета-функции условного распределения в зависимости от коэффициента корреляции  $r$  и достигнутой обеспеченности  $p$ .

$$\begin{cases} \frac{\alpha - 1}{\alpha + \beta - 2} = M = 0.5 + r \cdot (p - 0.5) & - \text{мода распределения;} \\ \frac{\alpha \cdot \beta}{(\alpha + \beta)^2 (\alpha + \beta + 1)} = \sigma^2 = \frac{1 - r^2}{12} & - \text{условный стандарт} \end{cases} \quad (34)$$

$M$  – мода распределения;  $\alpha, \beta$  – параметры  $\beta$  – функции, получаемые в результате решения

На рисунке 2.5 показаны эскизы графиков совместной функции плотности распределения коррелированных обеспеченностей.

### Практическое приложение методики

С целью практической реализации изложенной методики составлена компьютерная программа, включающая следующие блоки: нахождение параметров бета – функции для конкретного значения  $p$  при заданном значении коэффициента корреляции; построение условных распределений при заданных параметрах бета-функции; моделирование двух параллельных рядов обеспеченностей с последующим переходом к объемам стока.

Сложность верификации модели осложнена отсутствием натурального материала для непосредственной проверки гипотезы о типе условного распределения. Косвенная проверка моды и асимметрии распределения в настоящее время выполняется.

В ходе расчетов получены условные распределения обеспеченностей для разных сочетаний коэффициентов корреляции и модальных значений (табл.2.4).

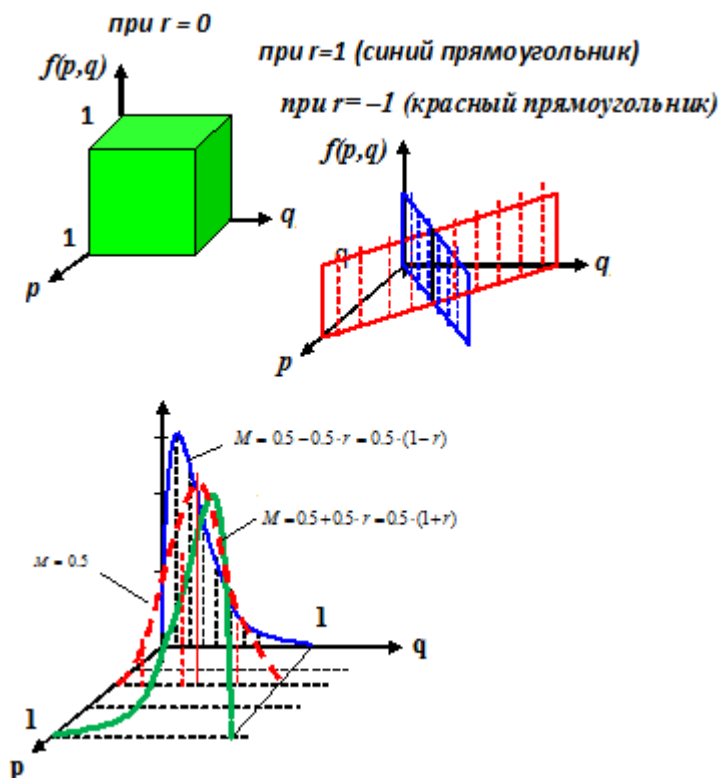


Рис. 2.5. Эскизный график функции плотности распределения обеспеченностей величин стока при крайних значениях коэффициента корреляции и в общем случае

Пример практического моделирования двух параллельных рядов стока в створах Оби и Иртыша продолжительностью 55 лет приведен в табл.2.5. В нижних строках таблицы даны расчетные показатели замоделированных рядов.

Таблица 2.4.

Условные плотности распределения  $q$  при достигнутом значении  $p$  и коэффициенте корреляции  $r$  между обеспеченностями параллельных рядов

q, %	r=0,5					q, %	r=0,8				
	p=0	p=0,3	p=0,5	p=0,75	p=1,0		p=0	p=0,3	p=0,5	p=0,75	p=1,0
0	0,17	0,03	0,01	0,00	0,00	0	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00
5	1,09	0,74	0,56	0,39	0,29	5	2,34	0,28	0,03	0,00	0,00
10	1,23	0,94	0,76	0,58	0,46	10	2,51	0,75	0,14	0,02	0,01
15	1,29	1,07	0,91	0,73	0,59	15	2,42	1,23	0,35	0,06	0,03
25	1,33	1,21	1,10	0,95	0,81	25	1,98	1,91	0,97	0,27	0,11
30	1,33	1,25	1,16	1,03	0,91	30	1,71	2,07	1,31	0,44	0,19
40	1,28	1,28	1,24	1,16	1,06	40	1,20	2,03	1,87	0,91	0,41
50	1,19	1,25	1,27	1,25	1,19	50	0,75	1,64	2,08	1,45	0,75
55	1,13	1,22	1,26	1,27	1,23	55	0,57	1,37	2,03	1,71	0,96
60	1,06	1,18	1,24	1,28	1,28	60	0,42	1,08	1,87	1,93	1,2
75	0,81	0,98	1,10	1,24	1,33	75	0,11	0,34	0,97	2,07	1,98
80	0,71	0,88	1,02	1,19	1,33	80	0,06	0,19	0,64	1,87	2,23
90	0,46	0,61	0,76	0,99	1,23	90	0,01	0,02	0,14	1,04	2,51
95	0,29	0,42	0,56	0,80	1,09	95	0,00	0,00	0,03	0,47	2,35
100	0,00	0,00	0,01	0,04	0,17	100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17

Таблица 2.5.

**Замоделированные ряды годового стока Иртыша и Оби в створах  
Тобольска и Белогорья соответственно**

Номер года (1-55)	Обеспеченности, %				Объемы стока, км <sup>3</sup>			
	Фактический ряд		Модельный ряд		Фактический ряд		Модельный ряд	
	Иртыш	Обь	Иртыш	Обь	Иртыш	Обь	Иртыш	Обь
<b>1</b>	57.14	39.29	76.21	42.20	55.45	320.93	49.76	320.76
<b>2</b>	64.29	82.14	48.27	33.12	51.08	249.67	61.60	341.72
<b>3</b>	55.36	83.93	3.30	34.87	56.98	244.08	97.19	337.69
<b>4</b>	82.14	91.07	14.60	24.70	45.34	232.37	80.65	364.83
<b>5</b>	92.86	75.00	64.23	49.94	43.40	254.17	54.98	302.77
<b>***</b>	<b>***</b>	<b>***</b>	<b>***</b>	<b>***</b>	<b>***</b>	<b>***</b>	<b>***</b>	<b>***</b>
<b>52</b>	60.71	94.64	64.84	68.16	53.11	222.35	54.72	263.87
<b>53</b>	91.07	96.43	56.08	65.52	43.46	209.74	58.36	269.65
<b>54</b>	39.29	42.86	3.09	18.56	64.60	314.47	97.76	387.26
<b>55</b>	51.79	41.07	4.75	17.08	58.06	316.19	93.20	394.05
<b>Сред.</b>	50.00	50.00	49.44	50.66	62.39	310.96	63.27	303.74
<b>Сv</b>	0.57	0.57	0.57	0.45	0.27	0.20	0.26	0.18

### **Библиографический список**

1. Александровский А.Ю. Теория и методы водохозяйственных и водноэнергетических расчетов каскадов ГЭС, 1991 257 с.
2. Александровский А.Ю., Хасянов С.В. Управление режимами работы водохранилищ гидроэлектростанций в соответствии с требованиями по обеспечению безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений. Труды Всероссийской научной конференции, посвященной памяти выдающегося ученого гидролога, профессора А.В. Рождественского, 2012, С.219-226
3. Асарин А.Е. Применение искусственных рядов притока и испарения для расчета ожидаемых уровней замкнутых водоемов // Гидротехническое строительство, 1972, № 8. С. 10-11
4. Асарин А.Е. Водно-энергетические расчеты / А.Е. Асарин, К.Н. Бесстужева.- М.: Энергоатомиздат, 1986. 223 с.
5. Асарин А.Е. Методические основы управления речным стоком при комплексном его использовании. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. –М.:1986.
6. Асарин А.Е. Современные проблемы и перспективы развития гидроэнергетики России // Стратегические проблемы водопользования России: сб. науч. трудов. – М.: Новочеркасск, НОК, 2008. С.133–138.
7. Блохинов Е.Г., Сарманов И.О. Гамма-корреляция и ее использование при расчетах многолетнего регулирования речного стока //Тр. ГГИ. Вып. 143.-Л.: Гидрометеиздат, 1968. Вып. 143. С. 52-75.
8. Болгов М.В. Стохастические модели периодически коррелированных внутригодовых колебаний речного стока//Метеорология и гидрология. 1996. №1. С. 101-116.
9. Болгов М.В., Сарманов И.О., Сарманов О.В. Марковские процессы в гидрологии. ИВП РАН. –М.: 2009.
10. Воропаев Г.В., Г.Х. Исмайлов Г.Х., В.М.Федоров Проблемы управления водными ресурсами Арало-Каспийского региона. –М: Наука. 2003. 400 с.
11. Исмайлов Г.Х., Прошляков И.В., Раткович Л.Д. Методология управления большими водохозяйственными системами на примере Волжско-Камского каскада водохранилищ Мелиорация и водное хозяйство, 2006 год , №4, С.17-22.
12. Картвелишвили Н.А. Стохастическая гидрология. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 200 с.
13. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления управления речным стоком – М. : Наука, 1981.–255 с
14. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами – М. : Наука, 1982. – 271 с.
15. П.Лаукс, И.ванБик Планирование и управление водохозяйственными системами. ФАВР.-М.:2009.
16. методика расчета водохозяйственных балансов водных объектов
17. Музылев С.Н., Фролов А.В. О статистическом моделировании многомерных гидрологических процессов // Водные ресурсы. 1978. № 3. С. 14-21.

18. Музылев С.В., Привальский В.Е., Раткович Д.Я. Стохастические модели в инженерной гидрологии. –М.: Наука. 1982.
19. Раткович Д.Я. Многолетние колебания речного стока. –Л.:Гидрометеиздат, 1976, 255 с.
20. Раткович Д.Я. Моделирование взаимозависимых гидрологических рядов (на примерах притока к Аральскому и Азовскому морям) // Водные ресурсы. 1977. № 1. С. 5-15.
21. Раткович Д.Я. Актуальные проблемы водообеспечения. –М.: Наука 2003
22. Раткович Л.Д. О восстановлении коротких рядов стока по аналогам. //Водные ресурсы, 1983, N 5, С.26-44
23. Раткович Л.Д. Распределение вероятностей членов ранжированной выборки // Водные ресурсы, 1984, N3, С. 15-22
24. Раткович Л.Д. Методология обосновывающих водохозяйственных расчетов. // Мелиорация и водное хозяйство. 2007, № 6, С.32-34.
25. Раткович Л.Д., Козлов Д.В. Водохозяйственные аспекты трансграничного вододеления и совместного управления водными ресурсами. Материалы второй международной конференции «Управление трансграничными водными ресурсами», -М.: 2010,С.165-176
26. Раткович Л.Д. Моделирование гидрологических рядов с использованием бета-распределения, Труды Всероссийской научной конференции, посвященной памяти выдающегося ученого гидролога, профессора А.В. Рождественского, 2012, С.141-147
27. Рубинштейн М.И. Управление режимами водохранилищ гидроэлектростанций –М.: Энергия 1974, 176с.
28. Рождественский А.В., Лобанова А.Г. Приведение рядов речного стока к длительному периоду методом множественной линейной корреляции. – Труды ГГИ, 1968, вып. 163.
29. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. -М.:Гидрометеиздат, 1974.
30. Сарманов О.В. Основные типы корреляции, применяемые в гидрологии/О.В. Сарманов, И.О. Сарманов.-М.: Наука, 1983. 200 с.
31. Сванидзе Г.Г. Математическое моделирование гидрологических рядов для водно-энергетических и водохозяйственных расчетов/Г.Г. Сванидзе.- Л.:Гидрометеиздат, 1977.
32. Шахов И.С. Водные ресурсы и их рациональное использование. Учебное пособие.-Екатеринбург. 2000, 289 с.



### Глава 3.

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ БАЛАНСОВ

Водохозяйственный баланс (далее ВХБ) наиболее распространенное сочетание слов в практике водохозяйственных расчетов, вызывающее иллюзию простоты расчета балансовых таблиц. Достаточно сопоставить располагаемые водные ресурсы с предъявляемыми к воде требованиями, и дело сделано. Осталось только оценить ресурсы, сформулировать требования к ним и придумать, каким образом указанные требования можно удовлетворить (если конечно это возможно).

Различают отчетные, оперативные, плановые и перспективные водохозяйственные балансы. Отчетные балансы выполняются за отчетный период, служат для анализа работы водохозяйственных систем в течение прошедшего периода. Фиксируется рост водопотребления, соблюдение договорных обязательств (лимитов водопотребления и водоотведения). Оперативные балансы отслеживают соблюдение режима эксплуатации или коррекции правил водопользования (в том числе диспетчерских правил водохранилищ). Они требуются при необходимости перераспределения ВР между потребителями, внесения уточнений в режим водопользования, исправления недопустимых отклонений от действующего проекта. Первые два типа балансов направлены на анализ ретроспективной информации и формирование статистической базы данных. Плановые водохозяйственные балансы отражают современное состояние водохозяйственного комплекса и являются составной частью планов развития бассейна (региона, области и т.д.). Наконец перспективные балансы предназначены для оценки достаточности существующих и проектируемых мероприятий и сооружений для удовлетворения требований водохозяйственного комплекса в проектной и отдаленной перспективе.

При решении названных задач проявляется отличие ВХБ от бухгалтерского баланса. Становится очевидным, что водохозяйственный баланс – это не «очень просто», поскольку требуют серьезного осмысления и разработки многие факторы [6, 8, 12, 13]. Именно по этой причине водохозяйственный баланс является лишь составляющей более общей методологии, называемой «водохозяйственными расчетами» (глава 2).

Часто в проектной документации вопросы водохозяйственного обоснования объединяют в разделе «Водохозяйственные расчеты и балансы». В разделе решаются задачи водообеспечения, поддержания и регулирования качества воды, экологического состояния водных объектов, защиты и компенсации негативного действия вод.

Возвращаясь к водохозяйственным балансам, как к инструменту сопоставления ресурсов и требований, коротко рассмотрим некоторые методические особенности, поскольку общая методика изложена в материалах [7, 12, 14, 15, 16].

Наиболее часто встречаются два вида балансов – постворный баланс и ВХБ в створе гидроузла. Первый ориентирован на анализ водообеспеченности по длине реки во избежание скрытых дефицитов. Здесь важно корректное распределение возвратных вод по участкам, которые устанавливаются в результате водохозяйственного районирования. Расчет баланса неразрывно связан с понятием водохозяйственного участка. Водохозяйственный участок определяется положением расчетных створов, намечаемых путем водохозяйственного районирования.

В соответствии со статьями 28 и 32 Водного кодекса «водохозяйственное районирование территории Российской Федерации (выделение, документирование и утверждение количества водохозяйственных участков и их границ) осуществляется Федеральным агентством водных ресурсов на основе методики водохозяйственного районирования территории Российской Федерации» (далее Методика ВХР). В составе ГИС Росводресурсов внедрена подсистема гидрографического и водохозяйственного районирования, позволяющая отображать на карте бассейновые округа, речные бассейны и подбассейны, водохозяйственные участки.

Согласно утвержденной МПР методике районирования «водохозяйственные участки представляют собой «минимальные части речных бассейнов, используемые при составлении водохозяйственных балансов и достаточные для определения лимитов забора воды, лимитов сбросов сточных вод, других параметров использования водных объектов или их частей, расположенных в пределах конкретных водохозяйственных участков». Выделение водохозяйственных участков осуществляется на основании пунктов 5-36 Методики ВХР.

Уравнение баланса [14] может быть более детальным или укрупненным в зависимости от особенностей конкретного объекта и состава мероприятий по рациональному водопользованию, регулированию стока и его территориальному перераспределению.

$$S_{nn} + S_{бок} + W_{подз} \pm \Delta S_{ант} + TR + W_{вв} \pm \Delta V = W_{\Sigma} + КП + D_F + D + L \quad (1)$$

где:  $S_{nn}$  – проектный приток сверху;  $S_{бок}$  – боковая приточность на участке;  $W_{подз}$  – подземный водозабор;  $\Delta S_{ант}$  – антропогенное изменение стока;  $TR$  – переброска стока извне;  $W_{вв}$  – возвратные воды на участке;  $\Delta V$  – регулирование стока на ВХУ;  $W_{\Sigma}$  – суммарный водозабор на участке;  $КП$  – комплексный попуск; ущерб речному стоку в результате подземного водозабора; переброска стока из реки;  $D_F$  – сокращение речного стока в результате подземного водозабора;  $D$  – дотация стока в другие бассейны или створы;  $L$  – потери из водохранилищ.

Баланс в створе гидроузла имеет в основном формальные отличия от рассмотренного выше. Первые два члена уравнения заменяются притоком к расчетному створу. Возвратные воды также необходимо разделить между верхним и нижним бьефами.

Каждая составляющая в уравнении баланса имеет свою специфику и методику определения. В частности, приток на водохозяйственный участок и сток, формирующийся непосредственно на участке – это не просто фиксированные данные наблюдений, подвергнутые камеральной обработке. Предстоит статистический анализ этих данных, определение многолетних параметров стока, оценка репрезентативности полученной информации, однородности многолетних рядов наблюдений. Для водохозяйственного баланса, как правило, необходим естественный сток. Но водный режим большей части рек искажен хозяйственной деятельностью. Поэтому, во многих случаях необходимо восстанавливать сток, прибегая к ретрансформации. Ретрансформация предусматривает проведение гидравлических расчетов разной степени сложности, освобождающих сток от влияния водопотребления и регулирования на протяжении расчетного ретроспективного периода, принимаемого за прототип будущего водного режима.

Стандартная структура водохозяйственного баланса включает приходную и расходную части, а также результат баланса. Так как ВХБ отражает режим работы водохозяйственных систем, в большинстве случаев варьируются некоторые составляющие баланса или сама структура. Разработка макета и линейной расчетной схемы баланса водохозяйственной системы позволяет отразить природные особенности водного объекта, схему функционирования водохозяйственного комплекса, все планируемые мероприятия.

При составлении баланса сложной водохозяйственной системы существенным моментом является порядок представления материалов. Возможная форма представления водохозяйственных балансов определяется специалистами в процессе работы. Это может быть многолетний водохозяйственный баланс в годовых объемах стока и водопотребления; баланс характерных по водности лет и иллюстративный ВХБ (рис. 3.1), дающий графическую интерпретацию произведенных балансовых расчетов [14, 16]. Основные расчетные составляющие на графике показываются на фоне естественного стока (гарантированное водопотребление, санитарно-экологические попуски, зарегулированный сток).

Представляемые балансы должны не только нести информацию о существующих водохозяйственных мероприятиях, но и отражать правила регулирования стока. В качестве примера рассмотрим участок р. Дон в зоне влияния Цимлянского водохранилища. На рис.3.2 показана линейная схема р. Дон.

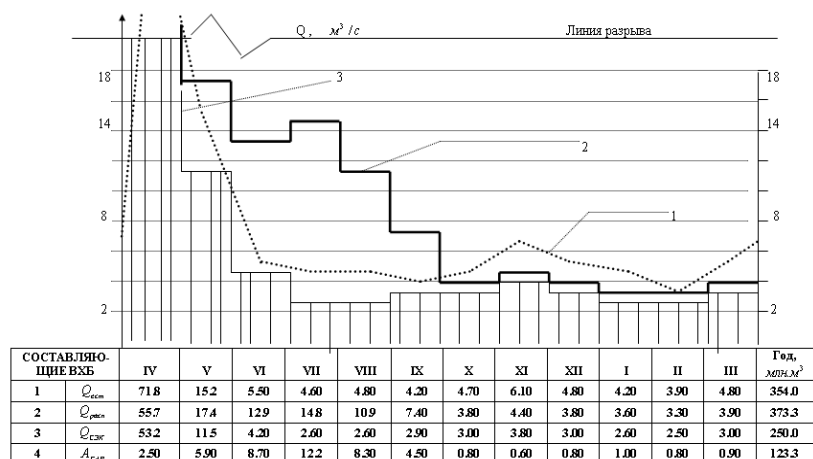


Рис. 3.1. Эскиз иллюстративного ВХБ

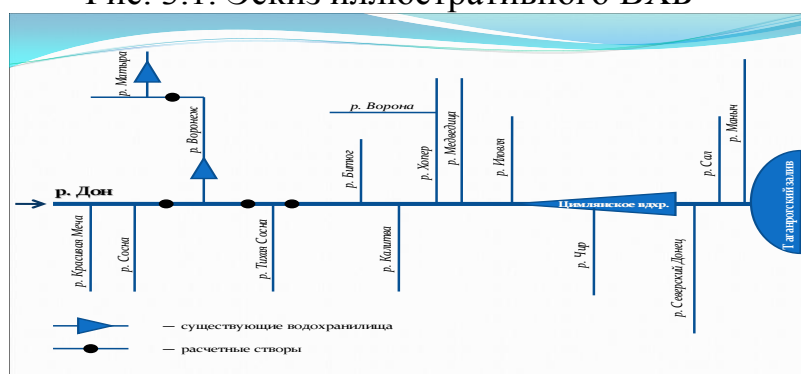


Рис. 3.2. Линейная расчетная схема р.Дон.

В таблицах 3.1 и 3.2 приведены балансы нижнего участка Дона в створе Цимлянского гидроузла по одной из авторских версий имитационной модели.

Ресурсы водохранилища, контролируемые в створе плотины, определяются объемом и режимом притока с верхней и нижней части бассейна, а также размерами безвозвратного водопотребления выше гидроузла. Расчетный многолетний ряд декадно-месячных значений стока притока к створу ЦГУ получен в результате постворного ВХБ, а также наложением суммарной поправки, учитывающей безвозвратное водопотребление и изменение стока в результате сработки и наполнения многочисленных прудов и водохранилищ верхнего и среднего Дона (использована исходная информация ОАО Гидропроект). Безвозвратное водопотребление этой части бассейна относительно невелико и находится в пределах пяти % от среднегодового стока.

Регулирование стока в Цимлянском водохранилище выполнено на основании диспетчерского графика (одна из рабочих версий<sup>2</sup>) в пределах отдачи 75%-й обеспеченности и с использованием прогноза половодья для многоводных и средних по водности лет. Набор участников водохозяйственного комплекса достаточно широк, поэтому в предлагаемой

<sup>2</sup>Балансы, представленные в табл. 3.1 и 3.2, не являются официальной версией ПИВР, поэтому могут использоваться только как методический материал.

структуре баланса они разделены на группы по приоритетам. Первая группа – хозяйственно-питьевое, промышленное и сельскохозяйственное водоснабжение, коммунальное и техническое водоснабжение. Вторая группа – орошение. С учетом отраслевой приоритетности построена приоритетность распределения воды между конкретными потребителями. В частности, к первому приоритету отнесены хозяйственно-питьевое и промышленное водоснабжение, Волго-донской канал, приоритетная составляющая ДМК (Донской магистральный канал), подача на РЗУ, минимальный попуск. Вторым приоритетом предусмотрен для орошения и рыбного хозяйства, в том числе в требованиях ДМК. Здесь же обводнение рек Сал и Маныч. Все остальные требования причислены к третьему приоритету.

### **К вопросу о структуре баланса**

Как следует из табл. 3.1 и 3.2 не всегда стандартная форма баланса оказывается приемлемой. Касается это, главным образом, сложных водохозяйственных систем, обычно связанных с трансграничными бассейнами и межбассейновыми перебросками. Формально такой баланс ничем не отличается от остальных, но в его структуре должны быть заложены правила распределения стока между субъектами вододеления, пропускная способность водозаборов и трактов переброски, особенности алгоритма компенсированного регулирования стока, некоторые другие особенности [15, 16]. Совместное использование водных ресурсов неразделимо с водохозяйственным балансом каждого периода водности как внутри года, так и в многолетии. В качестве трансграничного баланса можно рассматривать ВХБ р. Самур.

Своеобразная водохозяйственная система этой реки (рис. 3.3) не может быть описана балансом одной структуры. Здесь необходимы два ВХБ – баланс «изъятия» и баланс «распределения». Баланс «изъятия» определяет располагаемые водные ресурсы бассейна и их распределение между Дагестаном, Азербайджаном и уникальной дельтой Самура на основании согласованного принципа вододеления (табл.3.3). Детализация баланса здесь необходима вследствие разветвленной системы ирригационных каналов и других особенностей этой сложной водохозяйственной системы.

Принятой структуре баланса должна соответствовать одна или несколько балансовых формул, алгоритм определения отдельных составляющих баланса. Применительно к табл. 3.3 используются следующие зависимости:

$$(3)=(1)-(2); (5)=(3)-(4) \geq 0;$$

*d* - показатель вододеления

$$(6)=f(d,5);$$

$$(7) \leq (0,2 \div 0,3) * (6) - \text{реальный водозабор из живого тока}$$

$$(20-30) \% \text{ текущего расхода};$$

$$(10)=g(6, 7, 8, 9)$$

Баланс «распределения» здесь близок к традиционному, поскольку распределение речного стока в настоящее время осуществляется фактически без регулирования стока, так как вододелитель не имеет регулирующей

емкости. Экологическая проблема в дельте Самура возникла после строительства гидроузла, вызвавшего изменение режима поверхностных и подземных вод. Самурский лес в низовьях Самура требует согласованных попусков, как для предотвращения иссушения, так и переувлажнения. Объем и режим попусков в совокупности с двумя магистральными каналами, Самур-Апшеронским (САК) и Самур-Дербентским (СДК), составляет суммарную гарантированную водоотдачу в створе вододелителя.



Рис. 3.3. Укрупненная линейная схема бассейна реки Самур.

Непростая обстановка в бассейне связана и с тем, что в свое время не была реализована идея строительства водохранилища сезонного регулирования в створе Ахты, что позволило бы организовать централизованную водоподачу в обе республики. Современная концепция водопользования в бассейне предусматривает строительство водохранилища на территории Дагестана (см. главу 6).

Таблица 3.1

**ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ БАЛАНС р. ДОН В СТВОРЕ ЦИМЛЯНСКОГО ГИДРОУЗЛА ПО  
МНОГОЛЕТНЕМУ РЯДУ, км<sup>3</sup>**

ГОДЫ	Располагаемые ресурсы				Расчетные требования к цимлянскому водохранилищу с учетом правил управления					Расчетный сток в нижнем бьефе ЦГУ
	Приток к створу	Регулирование наполнение +сработка	Объем водохранилища на конец интервала	ВСЕГО	Требования I-го приоритета	Требования II-го приоритета	Комплексные попуски сверх минимального (4,99 км <sup>3</sup> )	Потери из водохранилища	Суммарное водопотребление	
1914-15	14,80	6,75	4,45	21,5 5	5,88	1,72	10,10	1,58	19,26	17,37
1915-16	43,00	-5,96	10,41	37,0 4	5,88	1,72	10,87	1,79	20,25	32,65
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<b>1966-67</b>	<b>13,20</b>	<b>2,81</b>	<b>1,78</b>	<b>16,0 1</b>	<b>5,88</b>	<b>1,72</b>	<b>6,75</b>	<b>1,66</b>	<b>16,01</b>	<b>11,74</b>
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1979-80	28,70	-3,94	9,69	24,7 6	5,88	1,72	10,87	1,79	20,25	20,37
1980-81	19,53	0,56	9,12	20,0 9	5,88	1,72	10,87	1,63	20,09	15,86
1981-82	26,26	-2,08	11,20	24,1 9	5,88	1,72	10,87	1,79	20,25	19,81
<b>1914-82</b>	<b>20,45</b>	<b>0,00</b>	<b>5,88</b>	<b>20,4 5</b>	<b>5,88</b>	<b>1,63</b>	<b>8,60</b>	<b>1,64</b>	<b>17,75</b>	<b>16,30</b>

Таблица 3.2

**ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ БАЛАНС р. ДОН В СТВОРЕ ЦИМЛЯНСКОГО ГИДРОУЗЛА  
ПО МАЛОВОДНОМУ ГОДУ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ P=80%, км<sup>3</sup>**

Месяцы, декады	Располагаемые ресурсы				Расчетные требования к цимлянскому водохранилищу с учетом правил управления					Сопоставление проектных и расчетных попусков					
	Проектные водные ресурсы в створе ЦГУ	Регулирование стока-наполнение+сработка	Наполнение в-ща на конец интервала	ВСЕГО	Требования высшего приоритета	Требования второго приоритета	Комплексные попуски сверх минимального (4,99 км <sup>3</sup> )	Потери на дополнительноеиспарени	ВСЕГО	проектные попуски разного уровня, м <sup>3</sup> /с					Расчетные расходы в нижнем бьефе
										Первый P=95-97%	Второй P=75-80%	попуски, назначаемые на основании прогноза объема половодья и наполнения водохранилища на начало гидрологического года			
												P=50-60%	P=30-50%	Макс.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Март 1	0,871	0,712	5,302	<b>0,159</b>	0,105	0,008	0,045	0,001	<b>0,159</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>230</b>	<b>230</b>	<b>230</b>	<b>150</b>
Март 2	0,871	0,712	6,014	<b>0,159</b>	0,105	0,008	0,045	0,001	<b>0,159</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>230</b>	<b>230</b>	<b>230</b>	<b>150</b>
Март 3	0,871	0,678	6,692	<b>0,193</b>	0,139	0,008	0,045	0,001	<b>0,193</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>230</b>	<b>500</b>	<b>500</b>	<b>200</b>



Апр.1	0,918	0,365	7,057	<b>0,553</b>	0,412	0,067	0,045	0,032	<b>0,556</b>	<b>440</b>	<b>440</b>	<b>800</b>	<b>800</b>	<b>900</b>	<b>492</b>
Апр.2	0,918	0,098	7,155	<b>0,820</b>	0,412	0,067	0,311	0,029	<b>0,819</b>	<b>440</b>	<b>800</b>	<b>1200</b>	<b>1200</b>	<b>1200</b>	<b>800</b>
Апр.3	0,918	0,073	7,081	<b>0,991</b>	0,412	0,067	0,483	0,029	<b>0,991</b>	<b>440</b>	<b>1000</b>	<b>1700</b>	<b>1700</b>	<b>2000</b>	<b>999</b>
Май.1	0,270	0,844	6,237	<b>1,114</b>	0,433	0,083	0,500	0,098	<b>1,114</b>	<b>440</b>	<b>1000</b>	<b>2200</b>	<b>2500</b>	<b>2800</b>	<b>1000</b>
Май.2	0,270	0,833	5,404	<b>1,103</b>	0,433	0,083	0,500	0,086	<b>1,102</b>	<b>440</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>2200</b>	<b>2300</b>	<b>1000</b>
Май.3	0,270	0,831	4,573	<b>1,101</b>	0,433	0,083	0,500	0,084	<b>1,100</b>	<b>440</b>	<b>1000</b>	<b>1000</b>	<b>1700</b>	<b>2000</b>	<b>1000</b>
Июнь 1	0,474	0,127	4,446	<b>0,601</b>	0,125	0,113	0,242	0,121	<b>0,601</b>	<b>100</b>	<b>380</b>	<b>380</b>	<b>500</b>	<b>500</b>	<b>380</b>
Июнь 2	0,484	0,117	4,329	<b>0,601</b>	0,125	0,113	0,242	0,121	<b>0,601</b>	<b>100</b>	<b>380</b>	<b>380</b>	<b>380</b>	<b>380</b>	<b>380</b>
Июнь 3	0,484	0,116	4,213	<b>0,600</b>	0,125	0,113	0,242	0,121	<b>0,601</b>	<b>100</b>	<b>380</b>	<b>380</b>	<b>380</b>	<b>380</b>	<b>380</b>
Июль	1,184	0,794	3,419	<b>1,978</b>	0,396	0,382	0,750	0,451	<b>1,979</b>	<b>100</b>	<b>380</b>	<b>380</b>	<b>380</b>	<b>380</b>	<b>380</b>

Авг.	0,895	0,920	2,499	<b>1,815</b>	0,385	0,258	0,750	0,422	<b>1,815</b>	<b>100</b>	<b>380</b>	<b>380</b>	<b>380</b>	<b>380</b>	<b>380</b>
Сент.	0,670	0,893	1,606	<b>1,563</b>	0,372	0,183	0,725	0,282	<b>1,562</b>	<b>100</b>	<b>380</b>	<b>380</b>	<b>380</b>	<b>380</b>	<b>380</b>
Окт.	0,560	0,763	0,843	<b>1,323</b>	0,382	0,086	0,750	0,104	<b>1,322</b>	<b>100</b>	<b>380</b>	<b>380</b>	<b>380</b>	<b>380</b>	<b>380</b>
Нояб.	0,634	-0,196	1,039	<b>0,438</b>	0,294	0,000	0,181	-0,037	<b>0,438</b>	<b>100</b>	<b>170</b>	<b>230</b>	<b>230</b>	<b>230</b>	<b>170</b>
Дек.	0,506	-0,202	1,241	<b>0,304</b>	0,274	0,000	0,134	-0,104	<b>0,304</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>230</b>	<b>230</b>	<b>230</b>	<b>150</b>
Янв.	0,617	-0,305	1,546	<b>0,312</b>	0,274	0,000	0,134	-0,095	<b>0,313</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>230</b>	<b>230</b>	<b>230</b>	<b>150</b>
Фев.	0,514	-0,232	1,778	<b>0,282</b>	0,247	0,000	0,121	-0,087	<b>0,281</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>230</b>	<b>230</b>	<b>230</b>	<b>150</b>
Год	<b>13,20</b>	<b>2,81</b>	<b>1,78</b>	<b>16,01</b>	<b>5,88</b>	<b>1,72</b>	<b>6,75</b>	<b>1,66</b>	<b>16,01</b>	<b>4,99</b>	<b>11,69</b>	<b>15,86</b>	<b>17,28</b>	<b>18,25</b>	<b>11,74</b>

Таблица 3.3

**ПРОЕКТУ ВОДОХРАНИЛИЩА ШУРДЕРЕ В РЕСПУБЛИКЕ ДАГЕСТАН**

№ п/п	Статьи баланса	Календарные месяцы										ГОД			
		I	II	III	*	VIII	IX	X	XI	XII					
1	Сток в створе объединенного водозабора				*										
2	Водопотребление   Ахтынская ОС				*										

	верхнего Самура	Верхнезейхурская ОС				*						
		Магарамккий и Мугергский каналы				*						
3	Проектный сток в створе объединенного водозабора					*						
4	Санитарно-экологический попуск в дельту Самура					*						
5	Резерв ВР для водопотребления					*						
6	Резерв ВР Дагестана для принятой схемы вододеления					*						
7	Ограничение изъятия в условиях бесплотинного водозабора					*						
8	Водопотребление из нижнего Самура	Коллективный труд				*						
		Правобережье				*						
		Головная часть СДК				*						
		Всего				*						
9	Производительность объединенного водозабора, м <sup>3</sup> /с					*						
10	Возможный объем изъятия в створе объединенного водозабора по сумме ограничений (6, 7, 8, 9)					*						
11	Транзит СДК=(1)-(2)-(4)-(8)-(10)-(САК)											

### **Учет подземных вод в водохозяйственном балансе**

Водохозяйственный баланс подземных вод может выполняться отдельно, и тогда, часть требований исключается из расходной части баланса поверхностных вод, однако возвратные воды последнего корректируются согласно схеме водоотведения. При другом способе подземный водозабор включается в приходную часть суммарного баланса. Но здесь необходимо учитывать, что изъятие подземных вод отражается на речном стоке в соответствии с характером гидравлической связи поверхностных и подземных вод. Обычной практикой является введение в расходную часть баланса величины «ущерба речному стоку» в результате подземного водозабора. Считается, что влияние отбора подземных вод практически не сказывается на поверхностном стоке при расположении подземных горизонтов ниже местного базиса эрозии или если водозабор находится на значительном удалении от гидрографической сети. Отбор из речных долин (аллювиальные отложения) полностью можно отнести к поверхностному стоку. В промежуточных ситуациях коэффициент гидравлической связи принимается обычно 0.3 - 0.7 в соответствии с оценкой взаимодействия подземных вод с речным стоком. Методика оценки ущерба изложена в работах [5, 9]. Следует отметить, что вопрос данного раздела заслуживает большого внимания, поскольку актуальность совместного использования поверхностных и подземных вод постоянно возрастает [9].

### **Учет регулирования стока в уравнении водохозяйственного баланса**

Регулирование стока учитывается в балансах введением составляющих сработки (+) или (–) наполнения водохранилищ или прудов. Лучше всего и то, и другое задавать в приходной части баланса для возможности оценки располагаемых ресурсов. При сезонном регулировании стока сумма плюсов (+) и минусов (–) за год равна нулю. При многолетнем регулировании – эта сумма должна быть равна нулю за многолетие (табл.3.2). Выполняя баланс, нельзя забывать, что мы обязаны следовать правилам регулирования всех существующих на данном участке водохранилищ. Однако в случае изменения режима использования водных ресурсов, отход от правил (диспетчерского графика) неизбежен.

Водохозяйственный баланс рассчитывается для реальных водных объектов. Если рассматривать речной бассейн, то динамика водного потока реки существенно отличается от движения воды в лотке. Русло потока и пойма реки обладают определенной аккумулярующей способностью. В случае значительного влияния названных факторов используются модели руслового водного баланса. Модели руслового баланса применяются для обоснования необходимости учёта руслового и берегового регулирования стока при составлении водохозяйственного баланса. Различают два вида указанных моделей: стационарный и нестационарный. При использовании стационарной модели русловое и береговое регулирование стока не учитываются. Нестационарная модель учитывает влияние названных факторов.

Необходимость ее использования определяется временем «добегания» расходов воды, то есть интервалом времени между появлением характерных и соответствующих друг другу фаз гидрографа во входящем и замыкающем створах расчетного водохозяйственного участка. Если время «добегания» расходов в пределах участка превышает 10% от продолжительности расчётного интервала, рекомендуется применение нестационарной модели. В остальных случаях используется стационарная модель руслового водного баланса, отвечающая традиционному балансовому уравнению.

### **Особенности формирования расходной части водохозяйственного баланса**

Расходная составляющая баланса в створе гидроузла складывается из объемов отраслевого водопотребления (включая отборы воды на переброску), специальных попусков разного назначения и потерь на дополнительное испарение и фильтрацию. Известная степень неопределенности свойственна попускам. Для обоснования режима попусков необходима их классификация, возможный вариант которой приведен на рис. 3.4. Ниже приводится краткая характеристика классифицированных попусков.

К гарантированным хозяйственным попускам можно отнести энерготранспортные расходы и попуски, осуществляемые для покрытия водопотребления, включая требования к уровням воды для обеспечения нормальной работы водозаборных сооружений. Санитарные попуски предназначены для обеспечения качества воды в соответствии с санитарными нормами, а также предотвращения обратных течений в нижнем бьефе гидроузлов, что может привести к попаданию сточных вод в водозаборные сооружения.

Экологические попуски имеют целью поддержание условий жизнедеятельности и воспроизводства водных экосистем, способствуя повышению их биологической продуктивности. Они должны обеспечивать требования экосистем ниже рассматриваемых створов к водному и уровенному режиму, а также специальные требования по качеству воды для водотоков рыбохозяйственного значения. В группу экологических попусков входят и режимные. Функция последних - вынос солей, поступающих с дренажными водами на реках с развитым орошением; предупреждение повышения русла вследствие отложения наносов (на реках с большой мутностью при значительных изъятиях стока); обеспечение баланса притока к устьевым створам с целью максимального сохранения водно-солевого режима. Режимные попуски далеко не всегда предусматриваются ввиду напряженного водохозяйственного баланса, что может быть причиной негативных экологических последствий.

Методика назначения попусков (при отсутствии регулирования стока - минимально допустимых расходов) изложена в специальной литературе по данному вопросу [1-4,10,11,17-19].

Работы в области обоснования экологических требований свидетельствуют о необходимости серьезных методических обобщений для согласования методик и повышения степени обоснованности специальных и комплексных попусков из водохранилищ. Должны приниматься во внимание располагаемые водные ресурсы, сложившийся водохозяйственный баланс, состояние природной (водной) среды, ущербы от угнетения природных экосистем, ряд других факторов.

Резюмируя вышеизложенное, отметим, что водохозяйственный баланс является эффективным инструментом анализа водообеспеченности, обоснования параметров сооружений и режима водохозяйственных систем, соответствия водопотребления уровню комплексных мероприятий. Представляя неотъемлемую часть водохозяйственных расчетов, ВХБ позволяет судить о многих факторах, не являющихся результатами непосредственных вычислений. К примеру, величина безвозвратного водопотребления указывает на экологическую допустимость или недопустимость принимаемого или планируемого объема изъятия воды [10, 11]; введение в состав попусков параметра, указывающего на кратность разбавления сточных вод, позволяет анализировать изменение качества воды под влиянием хозяйственной деятельности. Развитие компьютерного моделирования увеличивает значимость водохозяйственных расчетов и, в частности, водохозяйственных балансов.

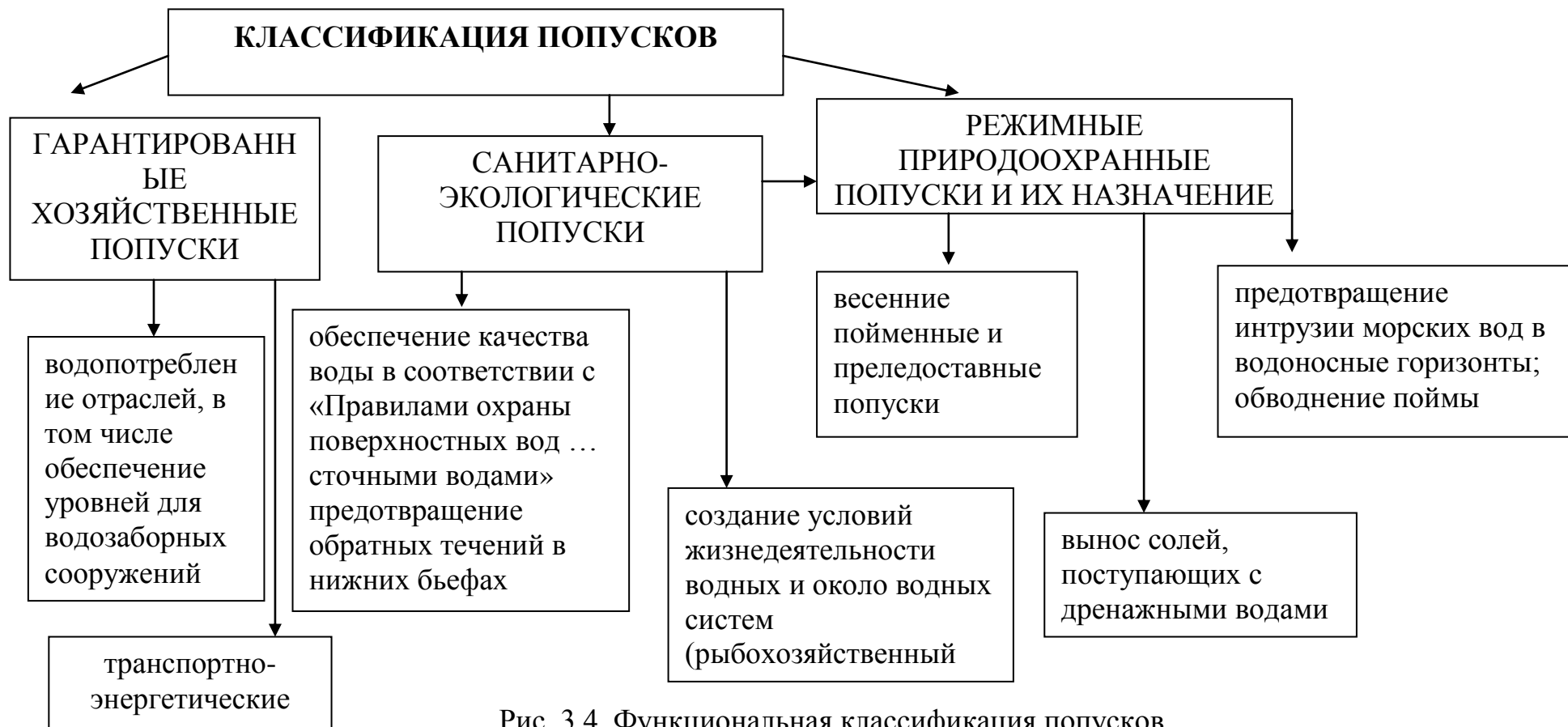


Рис. 3.4. Функциональная классификация попусков

## Библиографический список

1. Вельнер Х.А., Каск А.Г., Хосровянц И.Л., Методика определения минимальных допустимых расходов рек с учетом качества вод. Регулирование качества воды (часть 1): Материалы V Всесоюзного симпозиума по современным проблема самоочищения и регулирования качества воды. - Таллин, 1975. С.43-47.
2. Гатилло П.Д., Филиппович И.М. Об использовании предложений о минимально допустимом расходе воды в реках для охраны природы//Комплексное использование водных ресурсов. -М.:ВНИИГиМ.-1977.- Вып.5-С.45-54
3. Дубинина В.Г. Методические основы экологического нормирования безвозвратного изъятия речного стока и установления экологического стока (попуска). –М.:Минприроды РФ 2001 125с.
4. Кефели Ф.Ф. О минимальных попусках из водохранилищ с учетом требований водопользователей и санитарии в нижнем бьефе//Регулирование качества воды: Материалы IV Всесоюзного симпозиума по современным проблемам самоочищения и регулирования качества вод.- Таллин, 1975.- С.131-135.
5. Ковалевский В.С. Комбинированное использование ресурсов поверхностных и подземных вод. -М.: Научный мир. 2001, 331.
6. Раткович Л.Д. Аспекты развития теории и практики водохозяйственных расчетов IV Международный гидрологический конгресс –СПб.:2004.
7. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами. -М.: Наука, 1982, 271с.
8. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Принципы и методы составления водохозяйственных балансов. –М.:Наука 1981 255с.
9. Манукьян Д.А., Жабин В.Ф. Гидрогеоэкологические проблемы в задачах природообустройства. -М.:ФГОУ ВПО МГУП, 2006,193 с.
10. Маркин В.Н. Универсальный метод. Определение экологического стока путем оценки по степени сохранности экосистемы.// Вода Magazine, 2012 №1 С.30-33
11. Маркин В.Н., Шабанов В.В.. Метод оценки качества вод и состояния водных экосистем в схемах КИОВР. МГУприродообустройства – М.: 2007-81с.. - Рус. - Деп. в ВИНТИ 06.11.07
12. Методические особенности водохозяйственных расчетов в современных условиях. Труды конференции «Современные проблемы стохастической гидрологии», -М.:РАН, 2001, С.166-170
13. Методические указания по разработке ВХБ, -М.:НПЦ «Союзводпроект»1990.
14. Методика расчета водохозяйственных балансов водных объектов.-М.: МПР России, 2007



15. Раткович Л.Д. Особенности водохозяйственных расчетов при территориальном перераспределении речного стока. //Мелиорация и водное хозяйство, 2001, № 1

16. Раткович Л.Д. Водохозяйственные проблемы трансграничных бассейнов.// Природообустройство, 2008-№ 4

17. Фащевский Б.В. Методические основы определения допустимых величин изъятия стока из северных и сибирских рек //Тезисы конференции «Природа Арктики в условиях межзонального перераспределения водных ресурсов». – Л., 1980. – С.21-24.

18. Шабанов В.В., Маркин В.Н. Методика эколог-водохозяйственной оценки водных объектов.-М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2009 154с.

19. Шахов И.С. Водные ресурсы и их рациональное использование. - Екатеринбург. 2000 289 с.

#### **ГЛАВА 4. РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА И МЕТОДОЛОГИЯ ПРАВИЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ВОДОХРАНИЛИЩ**

Существует достаточно много причин, определяющих необходимость регулирования стока. В их числе неравномерное распределение стока по территории и во времени. Свойственный многим рекам России водный режим с выраженным весенним половодьем, осенними дождевыми паводками и продолжительной летне-осенней и зимней меженью, не совпадает с режимом отраслевого водопользования.

Сами участники водохозяйственного комплекса также конкуренты, поскольку КБХ требует воды практически равномерно весь год, как и промышленность, а высокие зимние расходы нужны гидроэнергетике. Весной необходимы рыбохозяйственные и обводнительные пойменные попуски, в летнее время включается орошаемое земледелие. Согласование требований возможно только путем регулирования стока. Наиболее кардинальным способом регулирования является строительство гидроузлов с водохранилищами комплексного назначения.

Обычно словосочетание «регулирование стока» подразумевает изменения стока во времени, без его пространственного перераспределения. Регулирование речного стока это вид антропогенного воздействия, заключающийся в направленном изменении естественного гидрологического режима рек с целью его использования для хозяйственных целей или защиты от опасных проявлений водной стихии. Регулирование стока может быть масштабным и локальным. Это зависит от конкретных гидролого-

водохозяйственных задач (включая оценку ресурсов и определение основных гидрологических характеристик) и способов их решения [6].

Причины регулирования речного стока, сформулированы ниже.

- Несовпадение водного режима и режима требований к водным ресурсам. Режим водопользования и водный режим рек, как правило, не совпадают. Причем несовпадение имеет место во всех временных интервалах, от суток до многолетия. Поэтому и типы регулирования имеют соответствующие названия – суточное, сезонное, многолетнее.
- Недостаточная водообеспеченность отраслей экономики (энергетики, промышленности, сельского хозяйства, коммунально-бытового сектора) на современном уровне развития и в планируемой перспективе. Кроме того, отбирая воду из источника, нельзя просто изменить гидрологический режим. Необходимо после воздействия сохранить санитарно-экологическое состояние водного объекта.
- Высокая изменчивость (отклонение от средних значений водности) стока внутри года и в многолетнем разрезе. Данное обстоятельство сильно ограничивает возможности отбора из живого тока, либо просто исключает такие возможности.
- Необходимость обводнения пойм рек, подверженных опасности истощения.
- Необходимость защиты территорий от водной эрозии, наводнений, селей.

Более 2,3 тысяч водохранилищ суммарным объемом порядка 900 км<sup>3</sup>, в том числе примерно 260 считающихся крупными и особо крупными построено в нашей стране. Кроме того, значительную роль играют малые пруды и водохранилища, которые решают локальные задачи водообеспечения и защиты от наводнений. Возможная классификация речных водохранилищ с позиций водопользования показана на рис. 4.1.

Разделим водохранилища, регулирующие водный режим, на три основных группы:

- по назначению;
- типу регулирования;
- масштабам влияния.

**По назначению** выделяются отраслевые гидроузлы, ориентированные на удовлетворение требований одной отрасли (энергетика, сельское хозяйство, хозяйственно-питьевое водоснабжение и т.п.); более распространенные водохранилища комплексного назначения; водохранилища природоохранные для решения экологических задач, возникающих под влиянием хозяйственной деятельности; противопаводковые водохранилища для защиты территорий и населения от наводнений.



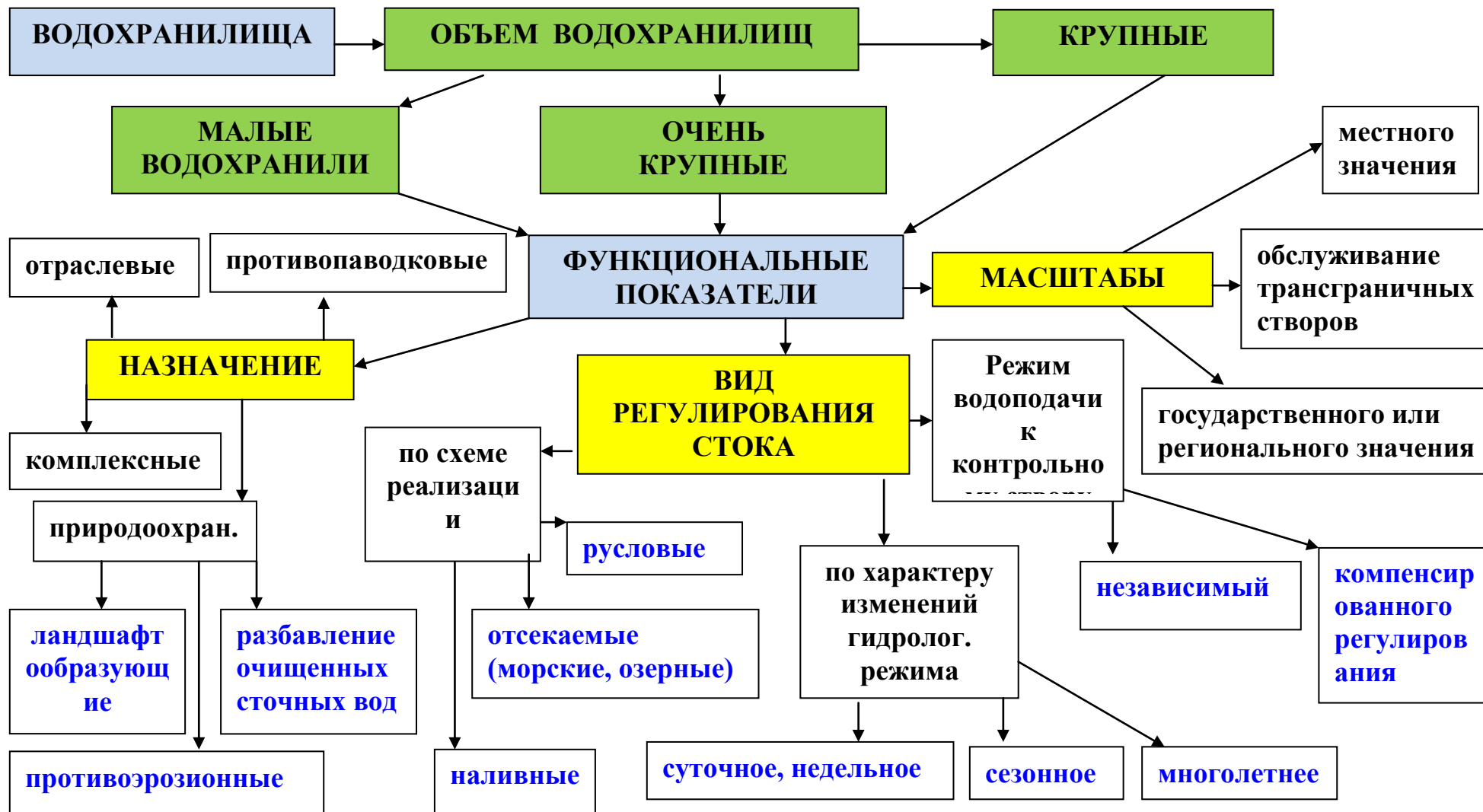


Рис. 4.1. Функциональная классификация водохранилищ

**Виды регулирования стока** включают три основных группы, отличающиеся схемой реализации; режимом водоподачи к целевому створу; характером изменения гидрологического режима. Если говорить о схемах реализации, то для низконапорных гидроузлов характерны русловые водохранилища, контролируемые сток в створе плотины. Русловая компоновка не всегда возможна по топографическим или гидрогеологическим условиям. В таких случаях может использоваться схема размещения регулирующей емкости в имеющемся естественном понижении, балке, где указанные условия соблюдаются. В выбранном створе устраивается деривация в виде канала, туннеля или водовода, подающих воду к месту предполагаемой аккумуляции стока, где и создается наливное водохранилище.

Наконец, **по масштабам влияния** можно выделить объекты местного значения; государственного или регионального значения и трансграничные.

Очевидно, практически каждая из позиций схемы имеет свои особенности, которые следует учитывать в водохозяйственных расчетах, в частности, выполняемых с применением имитационного моделирования. В большинстве случаев увеличивается число взаимосвязанных параметров ВХС, которые необходимо анализировать с целью принятия решения. Например, в условиях компенсированного регулирования, к водохранилищу (системе водохранилищ) предъявляются требования за вычетом боковой приточности на участке реки между створом гидроузла и точкой водопотребления. Эта методика используется при управлении водными ресурсами Москворецкой водной системы (рис. 4.2). Нерегулируемый приток Москвы реки на участке от Можайского водохранилища до Рублевского гидроузла вычитается из суммарного водопотребления, после чего требования предъявляются к МВС и ВГТС в соответствии с действующими правилами управления.

Возможны и другие схемы компенсирующей дотации воды к расчетным створам.

Правила управления водными ресурсами водохранилищ одна из наиболее актуальных задач современного водного хозяйства России.

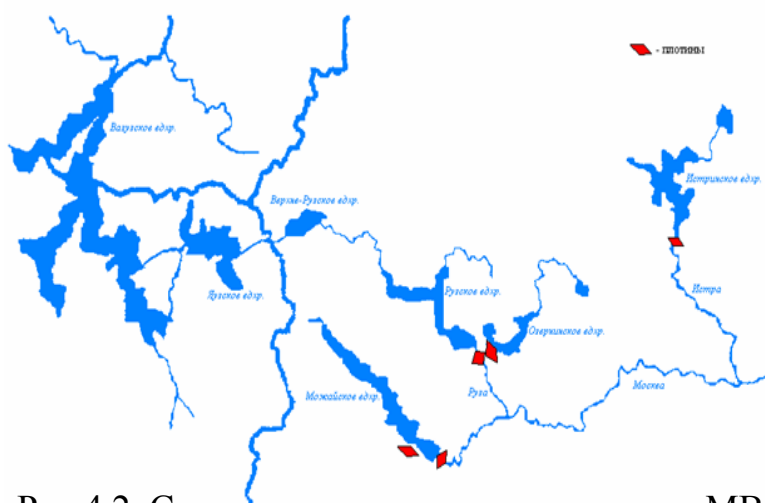


Рис.4.2. Схема размещения водохранилищ МВС и ВГТС

В настоящее время практически разработана нормативно-методическая документация для составления ПИВР (правил использования водных ресурсов водохранилищ, ОАО Гидропроект), однако ПИВР многих крупных и средних водохранилищ еще нуждаются в доработке и совершенствовании [1-5, 10].

Режим регулирования стока и использования водных ресурсов крупных водохранилищ РФ определен несколько десятилетий назад, постоянно уточняется и совершенствуется, является предметом пристального внимания ученых и специалистов в области водохозяйственного и энергетического строительства. «Правила» подлежат пересмотру не реже, чем один раз в 10-12 лет с учетом гидрометеорологических и экологических изменений, а также новых данных о режиме водопользования.

В настоящее время основным документом, регламентирующим принципы и методы управления стоком рек с максимально возможным учетом интересов водопользователей и безопасности подпорных сооружений гидроузла, населения и хозяйства в его нижнем бьефе, являются «Основные правила или Основные положения правил использования водных ресурсов» водохранилищ. Вновь составляемые или пересматриваемые документы именуется «Правила использования водных ресурсов ...».

Разработка «Правил...» сложная многофакторная проблема, которая решается при участии специалистов разного профиля. Развитие методической базы связано по - нашему мнению с дальнейшим внедрением компьютерных технологий. Содержание и последовательность операций может быть представлена в виде электронного редактора, программной оболочки для разработки «Правил», включающей функциональные, информационные и управляющие блоки (рис.4.3).

Создание редактора приведенной структуры может оказать серьезную помощь при составлении (либо корректировке) «Правил ...», поскольку он содержит саму последовательность позиций, данные о задачах каждого раздела, освещает состояние рассматриваемого вопроса, нормативную базу, методику решения, литературные источники.

Позиция 4.2 на блок – схеме касается имитационной водохозяйственной модели, которая является основой, как для проектирования мероприятий, так и для эксплуатационных условий. В свою очередь один из основных элементов модели составляют правила управления. Ядром «Правил...» являются диспетчерские графики, опираясь на которые работает большинство водохранилищ. Одним из аспектов разработки диспетчерских графиков водохранилищ на крупных реках является неопределенность назначения комплексных попусков в различных по водности условиях (Цимлянский гидроузел, водохранилища Волжско-Камского каскада и другие примеры).

Имитационная модель включает набор расчетных модулей, определяющих состав решаемых задач и качество получаемых решений. На рисунке 4.4 приведена информационно-функциональная схема задачи управления водными ресурсами на основе имитационного моделирования водохозяйственных систем

[5]. Схема содержит две группы взаимосвязанных блоков – информационно анализирующей части модели и группы управляющих модулей. В первых блоках формируются данные о природных, водохозяйственных, энергетических и других объектах, необходимые для моделирования режима водохозяйственной системы. Третий, четвертый и пятый блоки являются функциональными и должны моделировать режимы работы системы в период половодья и в текущем году. Шестой, седьмой и восьмой блоки подготавливают управляющую функцию для диспетчерского управления одного или каскада водохранилищ. Здесь же осуществляется корректировка режимов работы ВКК, полученных в информационно-анализирующей части модели.

Одним из наиболее сложных и существенных моментов в алгоритме регулирования стока одиночных гидроузлов или каскадов водохранилищ является разработка диспетчерских правил регулирования. На таких крупных объектах как ВКК и ЦГУ (Цимлянский г/у) диспетчерские правила включают помимо основного диспетчерского графика и вспомогательный в виде таблиц и рекомендуемых алгоритмов. Вспомогательный график предназначен для назначения разного уровня попусков в зависимости от начального наполнения емкости на начало половодья и прогноза стока половодья. Методика подхода декларирована в правилах использования водных ресурсов водохранилищ, но требуется дополнительное теоретическое обоснование. Разработка данного вопроса также предусматривается в плане намеченных нами работ. В принципе все модели, входящие в информационно-функциональную схему управления водными ресурсами ВКК, работают в режиме “обратной связи”.

Методикой Гидропроекта для условий нормальной эксплуатации предусматривается основной диспетчерский график, и таблица для назначения высоких попусков в зависимости от наполнения водохранилища на начало половодья и прогноза водности на предстоящий период.

Нам представляется, что при сохранении данного подхода в целом требуются два диспетчерских графика – основной и вспомогательный. Основной определяет нормальную и пониженную гарантированную отдачу, а вспомогательный (взамен таблицы) – касается технологии назначения повышенных целевых и комплексных попусков. В литературе по вопросу нет описания методики построения вспомогательных графиков – в реальных проектах они задаются обычно в виде таблиц зависимости объема пуска от прогноза половодья и наполнения на начало половодья (ЦГУ).

Для формирования функции управления при назначении попусков разного уровня обеспеченности предлагается следующий методический подход. Пусть  $\Pi_p$  - прогноз половодья с обеспеченностью  $P$ . При высокой корреляции между годовым стоком  $\Gamma_p$  и стоком половодья  $\Pi_p$  можно воспользоваться уравнением регрессии:

$$\Gamma_p = \bar{\Gamma}_p + r_{zn} \frac{\sigma_z}{\sigma_n} (\Pi_p - \bar{\Pi}_p) \quad (1)$$





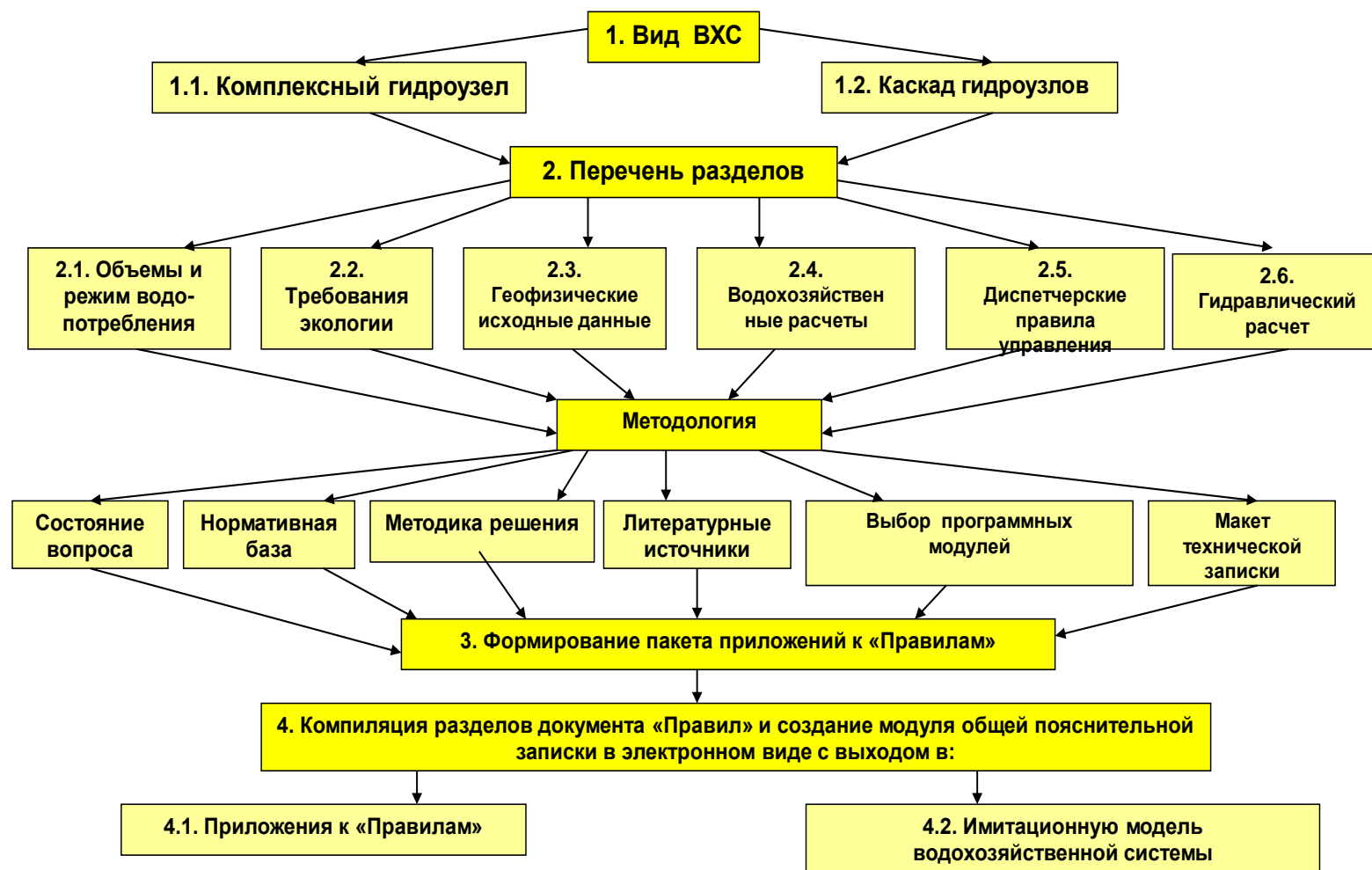


Рис. 4.3. Блок схема электронного редактора «Правил»



Рис. 4.4. Блок-схема информационно-анализирующей системы

Назначаемый объем попуска, а точнее его превышение над гарантированным в рамках диспетчерского графика, принимается как функция двух переменных [9] – обеспеченности паводка  $P$  и наполнения на начало водохозяйственного года  $v$  (рис.4.5).

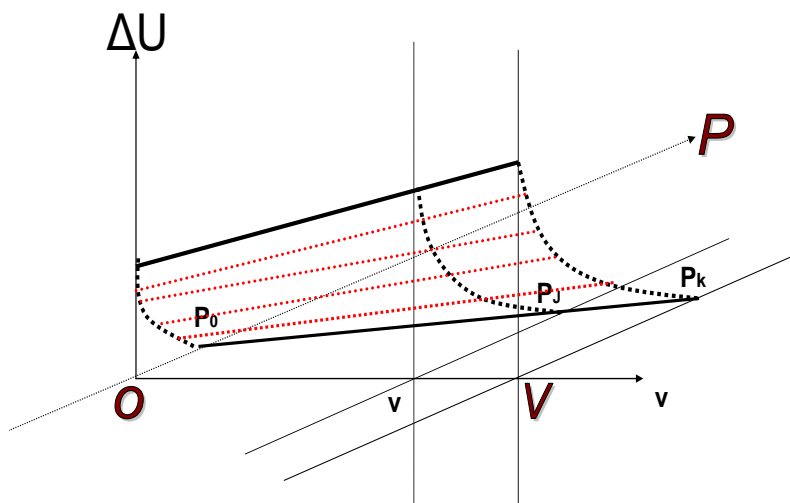


Рис. 4.5. Функция превышения  $\Delta U = F(p, v)$

$(\Gamma_p - A - \alpha_p V)$  – возможный попуск сверх гарантированного при пустом водохранилище на начало половодья;  $(\Gamma_p - A)$  – то же при полном водохранилище, где  $A$  – гарантированная водоотдача водохранилища;  $\alpha_p$  – доля емкости, аккумулирующая половодный сток;  $V$  – полезный объем водохранилища;  $P(v) = (P_0, P_v, P_k)$  – прогнозируемая обеспеченность половодья;  $P_0, P_v, P_k$  – крайние обеспеченности при пустом, наполненном до отметки  $v$  и полном водохранилище на начало половодья;

В рамках подхода искомую зависимость можно аппроксимировать в виде степенной зависимости (2):

$$\Delta U = \Gamma_p - A - [1 - (\frac{v}{V})^m] \cdot V \quad (2)$$

Реализация подхода, однако, требует дополнительных исследований.

### **Особенности проектного обоснования наливных водохранилищ**

Нередко в проектных схемах встречаются наливные водохранилища [7]. Они проектируются в тех случаях, когда невозможно или экономически либо экологически нецелесообразно строить русловое водохранилище на реке, являющейся гарантом водообеспечения. Наливные водохранилища чаще всего сооружают путем использования естественных котловин и обвалования пониженных участков территорий вблизи реки, а также в естественных депрессиях, куда по каналам подводятся избыточные паводковые или половодные воды, а аккумулированная в них вода затем расходуется для хозяйственных целей. Применяют их главным образом при орошении земель и строительстве ГАЭС.

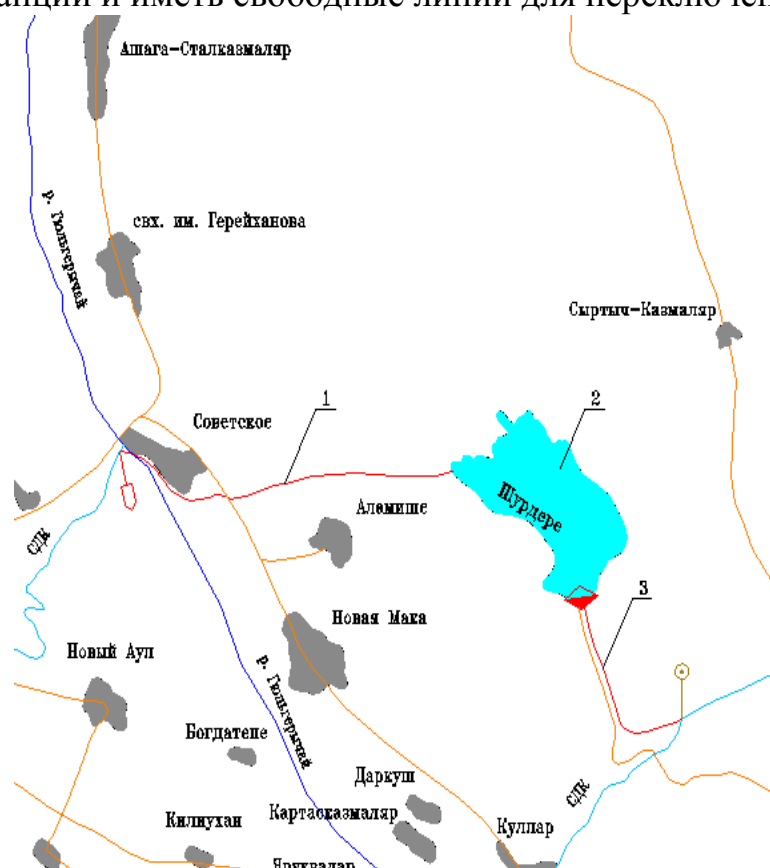
В ряде случаев необходимо перерегулировать перебрасываемый сток в график водопотребления, как например Джейранбатанское водохранилище в концевой части Самур-Апшеронского канала. Также целесообразно создание наливных емкостей при угрозах периодического или аварийного загрязнения поверхностного водоисточника в составе водозаборного узла.

Примером современного строительства является проектируемое водохранилище Шурдере в междуречье рек Самур и Гюльгерычай (рис. 4.6).

По характеру питания наливные водохранилища можно разделить на три основные группы:

- питаемые из реки и водохранилищ искусственные водоемы
- водохранилища на каналах
- водоемы в низовых участках ирригационных систем, являющиеся коллекторами сбросных вод.

Полезный объем наливного водохранилища должен определяться с учетом прогнозируемого для данной местности периода вероятного загрязнения, но не менее десятисуточной производительности водоочистной станции. Коммуникации наливного водохранилища должны обеспечивать поступление воды от насосной станции первого подъема через наливное водохранилище к водоочистной станции и иметь свободные линии для переключения.



1—отводящий канал от водохранилища Шурдере в СДЖ;

2—наливное водохранилище Шурдере

3—канал водоподачи из Самура в водохранилище Шурдере.

Рис.4.6. Схема локального регулирования стока р. Самур

Наливные водохранилища должны оборудоваться устройствами, обеспечивающими в нем активный водообмен.

Особенности проектного обоснования наливных водохранилищ связаны со спецификой их водохозяйственного расчета. Расчетная схема включает водный объект, из которого забирается вода, водохранилище и условный комплексный потребитель  $W$  (рис.4.7).

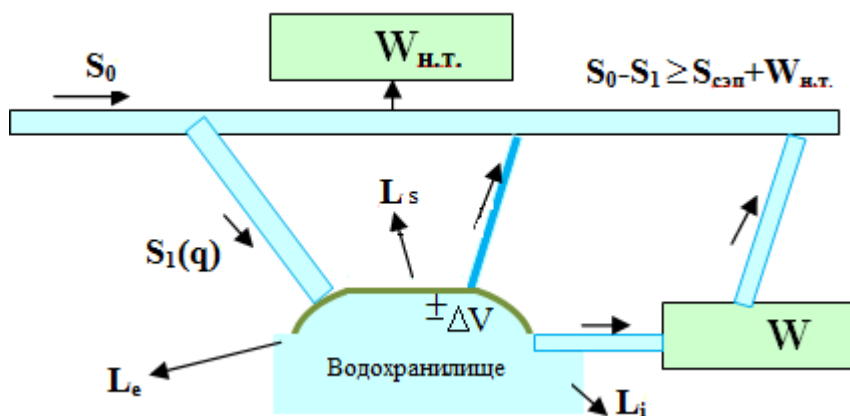


Рис. 4.7. Расчетная схема имитационной модели;

где  $S_0$ —приток к створу изъятия;

$S_{сэп}$ —санитарно-экологические попуски;

$q$ —пропускная способность подводящего водовода;

$W_{нт}$ —водопотребление в нижнем течении;

$S_1$ —объем притока к водохранилищу с учетом возможного изъятия и пропускной способности тракта водоподачи;

$\pm \Delta V$ —регулирование притока;

$W$ —комплексное водопотребление;

$L_e = w_{зеп} \times h_e$ —потери на испарение;

$w_{зеп}$ —площадь зеркала;

$h_e$ —интенсивность видимого испарения;

$L_s = w_{зеп} \times h_s$ —потери на фильтрацию;

$h_s$ —интенсивность фильтрации на момент стабилизации гидравлического режима по окончании строительства водохранилища;

$L_i = w_{зеп} \times h_i$ —потери на льдообразование,

$h_i$ —толщина льда.

На схеме показаны также система аварийного опорожнения емкости и система сброса излишков воды и сточных вод от водохозяйственного комплекса.

В общем виде емкость наливного водохранилища является функцией объема и режима водопотребления  $W$ , притока к створу изъятия  $Q_p$ , пропускной способности водозабора и деривационного водовода  $Q_б$ , а также гарантированного транзита  $Q_{мп}$ .

$$V = f(Q_p, Q_a, Q_{\delta\delta}, W) \quad (3)$$

Для описания режима сработки - наполнения водохранилища можно использовать уравнение водохозяйственного баланса в дифференциальной форме (без учета функции потерь на льдообразование, существенно усложняющей форму записи, но не имеющей принципиального значения) [7]:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = q(t) - Q(t) - \omega(H(t)) \cdot (h_e(t) + h_s(H(t))) \quad (4)$$

Расход водозабора увеличивается при сработке водохранилища, что соответствует отрицательной производной функции объема.

$H(t)$ —функция наполнения;  $V(H)$ -функция текущих объемов водохранилища;  $\omega(H)$ -батиграфическая функция площади зеркала;  $Q(t)$ -гидрограф гарантированной водоотдачи;  $h_s(H)$ —интенсивность фильтрации на момент стабилизации гидравлического режима после окончания строительства водохранилища;  $q(t)$ —функция водоподачи в водохранилище с учетом пропускной способности деривации;  $h_e(t)$ -интенсивность видимого испарения(м/с).

Аналитическое решение возможно лишь в самых простых случаях при аппроксимации функций  $\omega$ ,  $q(t)$ ,  $h(t)$  степенными функциями. Например, когда сезонное регулирование обеспечивается не лимитированным изъятием при заданной пропускной способности тракта, а потери исключаются из балансового уравнения. Но и в этом случае решение получается настолько громоздким, что теряет практический смысл. В более сложных случаях, когда водозабор из источника лимитирован, то есть расход канала случайная функция с усеченным распределением, необходимо переходить к конечно-разностным схемам. Тем более это неизбежно при многолетнем регулировании стока в наливном водохранилище.

Решение уравнения (4) не имеет большого практического значения, поэтому в основе расчетов лежит уравнение водохозяйственного баланса для конечных интервалов времени:

$$S_1 \pm \Delta V - L_s - L_e - L_f - W = 0 \quad (5)$$

где  $S_1$ -объем притока к водохранилищу с учетом возможного изъятия из реки и пропускной способности тракта водоподачи;  $\pm \Delta V$ -регулирование притока, м<sup>3</sup>.

Уравнение (5) не учитывает холостые сбросы поскольку при полном водохранилище водоподача прекращается и сток пропускается транзитом по реке. Разумеется, в эксплуатационных условиях обязательно предусматривается аварийный сброс избытков воды в установленный водоприемник.

### **Оптимизация затрат при проектировании наливных водохранилищ**

Затраты на регулирование стока значительно зависят от геологических и морфологических особенностей створов размещения водохранилищ, степени освоения территорий, удаленности от транспортных и энергетических магистралей, баз стройматериалов и т.д. В то же время корреляция между

емкостью водохранилищ и капитальными затратами достаточно очевидна. Формальная постановка задачи имеет следующий вид (6).

$$\left\{ \begin{array}{l}
 W_{i\min} < W_i < W_{i\max} \text{ – водопотребление } i\text{-го} \\
 \text{потребителя в каждом интервале времени} \\
 P_{\phi}(W_i \geq W_{i\text{зад}}) \geq P_i \text{ – фактическая вероятность} \\
 \text{превышения проектных требований } i\text{-го} \\
 \text{потребителя будет не меньшего проектной} \\
 \text{обеспеченности покрытия по ЧБЛ;} \\
 P_{\phi}(W \geq \Sigma W_i) \geq P_{np} \text{ – обобщенное требование по} \\
 \text{приведенной обеспеченности;} \\
 V_{плз} = f(q, P_{np}) \text{ – объем водохранилища как функция} \\
 \text{пропускной способности и критериев покрытия;} \\
 V_{плз} \leq V_{\max} - V_{умо}; V_{полн}(t) = V_{умо} + V_{плз}(t); V_{умо} \leq V(t) \leq V_{полн}; \\
 V_{\max} \text{ – максимальный объем по топографическим условиям,} \\
 V(t) \text{ – текущее наполнение водохранилища;} \\
 Z = K(V, q) \rightarrow \min \text{ – функционал минимизирующий} \\
 \text{капитальные затраты.}
 \end{array} \right. \quad (6)$$

Для решения задачи (6) предпочтительнее использовать имитационное моделирование. В результате имитационных расчетов должны быть получены номограммы вида (рис. 4.8).

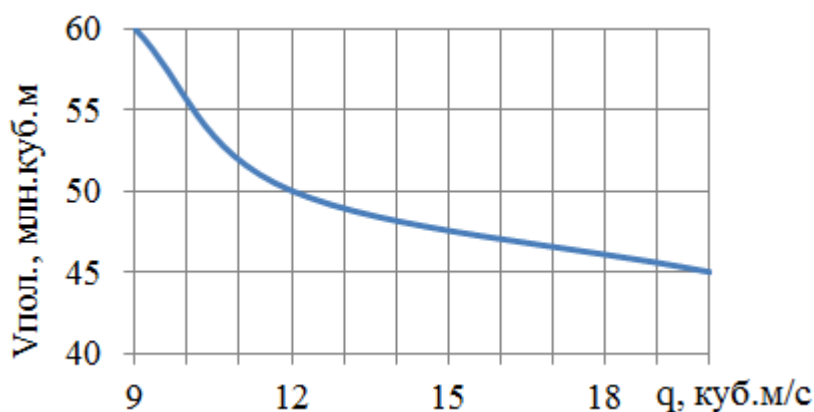


Рис. 4.8. Эскиз графика зависимости объема водохранилища от пропускной способности деривационного водовода

Область оптимальных значений объема водохранилища находится на линии графика. Переход к стоимостным параметрам дает область наилучших решений для выбора варианта при фиксированных значениях водоотдачи ( $A_i$ ) рис. 4.9. В случае поиска оптимальной водоотдачи требуются другие экономические показатели, такие как ежегодный чистый доход или многолетний ЧДД.



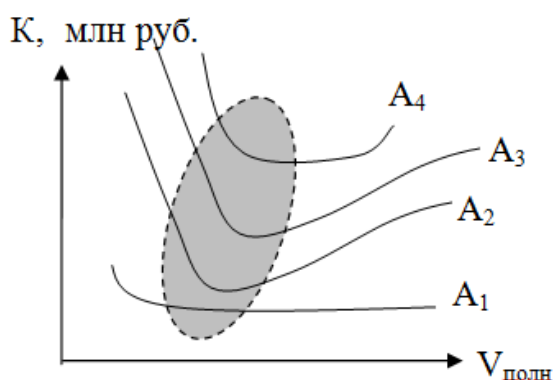


Рис. 4.9. Номограммы для выбора варианта

В расчетах описанных выше одним из существенных моментов является оценка возможного объема водозабора. Причем эта задача актуальна как для рассмотренной проблемы, так и для проектов территориального перераспределения стока [8]. Существенную роль здесь играет сезонная неравномерность, влияние которой в наибольшей степени проявляется при бесплотинном водозаборе и отсутствии регулирования в створе изъятия.

#### **Эффективность регулирования стока в условиях высокой изменчивости**

В условиях высокой многолетней изменчивости стока во многих случаях необходимо многолетнее регулирование. Многолетнее регулирование в свою очередь может сопровождаться большими площадями затопления. Кроме того, снижается эффект от регулирования, выраженный приращением гарантированной отдачи и усложняются правила управления водными ресурсами. Согласно номограммам Гуглия И.В. многолетняя емкость водохранилища для средней ситуации ( $\alpha = 0,85; P = 80\%; r = 0,3$ ) составляет  $0,4S_{cp}$  при  $C_V = 0,4$  и  $S_{cp}$  при  $C_V = 0,6$ . Таким образом, увеличение коэффициента вариации в 1,5 раза вызывает рост емкости регулирования в 2,5 раза.

Характерным примером является бассейн р. Меджерды в пределах Алжира, где более 10 лет назад была запроектирована водохозяйственная система (рис.4.10).

Поверхностные водные ресурсы района Сук – Ахрас представлены стоком бассейна реки Меджерды с четырьмя наиболее крупными притоками Шук, Джедра, Берриш и Ренем. Среднемноголетний сток реки составляет  $296 \text{ млн м}^3$  в год, что соответствует  $720 \text{ м}^3$  в год на человека (или  $2 \text{ м}^3$  в сутки). Этого достаточно для водообеспечения собственных потребностей **вилайи**, но распределение естественного стока в многолетии и внутри года способствует острому дефициту воды практически ежегодно в летнее время, а в маловодные годы и зимой, в период дождей. Водный режим относится к типу с дождевыми паводками во влажный период года, с декабря по апрель, и очень низким стоком в сухой период с мая по август. Доля подземного питания из глубоких горизонтов невелика и в отдельные месяцы сток отсутствует. Гидрологические характеристики даны в табл.4.1.

Таблица 4.1

Расчетные параметры стока р. Меджерды и ее притоков.

Река	Створ	$F_{в-ра}$ , км <sup>2</sup>	$\bar{S}$ , млн.м <sup>3</sup>	$C_v$
Меджерда	Аин-Далия	120	49,10	0,65
	ВышеРенема	-	230,20	-
	граница с Тунисом	193	321,90	-
Джерда	г/у	123	29,96	0,69
Берриш	г/у	-	31,20	0,67
Ренем	г/у	-	52,70	-

Сток Меджерды и ее притоков характеризуется высокой многолетней изменчивостью ( $C_v=0,6-0,7$ ) что практически исключает возможность использования живого тока реки без регулирования. Основной объем стока проходит в период с ноября по май месяцы. Величина среднего расхода межени находится на уровне точности расчетов стока и составляет в створе Аин–Далия менее  $0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ . В ходе чередования многоводных и маловодных лет просматриваются маловодные серии три-четыре года, разделяемые годом, близким к среднему.

Единственным гарантом водообеспечения в бассейне является существующее водохранилище Аин–Далия, которое не может покрыть более 30-35 млн  $\text{м}^3$  гарантированной отдачи. Не покрываемый дефицит (как показали расчеты, выполненные в ТЭО) составляет примерно третью часть водопотребления (около 15 млн  $\text{м}^3$ ), заложенного в проекте этого гидроузла. Отдача может быть и больше, но ее обеспеченность будет низкой. Цель проекта удовлетворение количественных требований к воде городского и сельского водоснабжения, промышленности, скотоводческих хозяйств, полива улиц, насаждений и других объектов. Гарантами водообеспечения планировались гидроузлы Ренем и Джерда, притоки реки Меджерды. С целью оптимизации работы ВХС в дополнение к гидроузлам Джедра и Ренем рассматривался вариант компенсированной дотации из Меджерды (пунктир на схеме). Таким образом, как показали расчеты на основе имитационного моделирования, водохозяйственная эффективность вариантов с дотацией из нижнего течения в 1,5 раза выше, чем для независимого регулирования. Разумеется, стоимость проекта в этом случае возрастает вследствие увеличения эксплуатационных затрат, связанных с насосной подкачкой. Однако с точки зрения водохозяйственной эффективности данный режим является более предпочтительным.

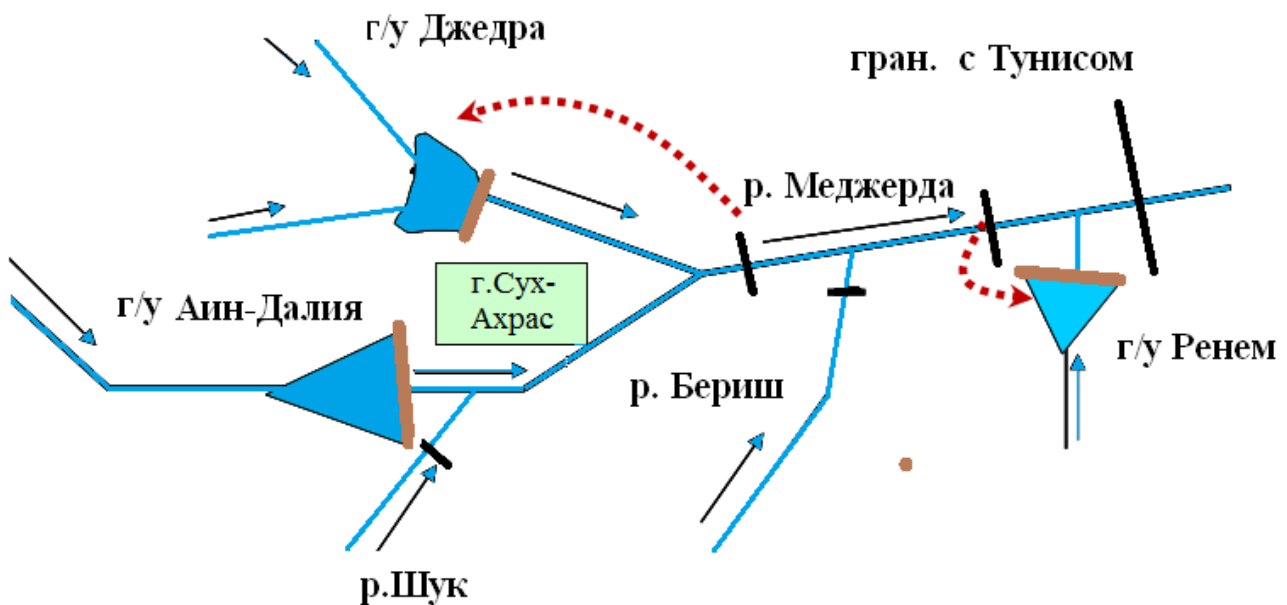


Рис. 4.10. Схема бассейна р.Меджерды в Алжире.

### Библиографический список

1. Александровский А.Ю., Хасянов С.В. Управление режимами работы водохранилищ гидроэлектростанций в соответствии с требованиями по обеспечению безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений. Труды Всероссийской научной конференции, посвященной памяти выдающегося ученого гидролога, профессора А.В. Рождественского, 2012, С.219-226
2. Асарин А.Е., Малисов Ю.М., Раткович Л.Д. Расчеты регулирования стока водохранилищем при переменной потребности в воде (статья) Бюллетень СЭВ по водному хозяйству, раздел “Математические методы расчета гидрологических процессов”-М.:1987, N2, 107 с. (С.62-65)
3. Асарин А.Е., Бестужева К.Н., Христофоров А.В., Чалов С.Р. Водохозяйственные расчеты, географический факультет МГУ. Учебное пособие –М.: Изд.-во МГУ 2012, 143 с.
4. Великанов А.Л., Коробова Д.Н, Пойзнер В.И. Моделирование процессов функционирования водохозяйственных систем. – М.: Наука, 1983.
5. Исмайылов Г.Х., Прошляков И.В., Раткович Л.Д. Методология управления большими водохозяйственными системами на примере Волжско-Камского каскада водохранилищ. Мелиорация и водное хозяйство, 2006, № 4, С.16-24
6. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами. -М.: Наука. 1982, 271 с.
7. Никифорова Д.А. Имитационная модель для расчета емкости наливных водохранилищ. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.-М: 2007.
8. Раткович Л.Д. Методические особенности водохозяйственных расчетов в современных условиях. Труды конференции «Современные проблемы стохастической гидрологии», -М.:РАН, 2001, С.166-170

9. Раткович Л.Д., Русакова П.А. Водохозяйственные аспекты правил управления водохранилищами комплексных гидроузлов. Материалы международной научно-практической конференции «Роль природообустройства в обеспечении устойчивого развития экосистем» -М.: МГУП, 2006, 488 с. (С.157-165)

10. Резниковский А.Ш., Александровский А.Ю., Атурин В.В. Гидрологические основы гидроэнергетики. – М.: Энергия, 1979.

## **Глава 5. ПРОБЛЕМЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА**

### **Исторические предпосылки**

В настоящее время в мире проектируется, строится и работает большое количество систем перебросок стока. Их суммарный объем составляет около 400 км<sup>3</sup>/год. В сочетании с регулированием стока они обеспечивают большие регионы, параллельно решая проблемы энергетики, транспорта, орошения, рекреации, занятости населения [14]. В России на системы территориального перераспределения стока приходится 40% производственных фондов водохозяйственного комплекса, что составляет в объемах примерно 80 км<sup>3</sup>/год. Поэтому проектирование и управление такими системами является одной из актуальных водохозяйственных проблем [7].

Основная причина территориального перераспределения стока заключается в неравномерности распределения природных вод, несоответствии в распределении водных и других природных ресурсов географии размещения водоемких отраслей экономики. В частности, южные районы, где сосредоточены благоприятные агроклиматические ресурсы, недостаточно обеспечены водой. Многочисленные каналы Средней Азии и Казахстана требуют отдельного рассмотрения, поскольку их строительство связано с давними историческими особенностями, необходимостью обводнения пустынных и безводных областей.

Переброски речного стока каналами для нужд орошения и водного транспорта осуществляются уже в течение многих сотен лет. Со временем системы перебросок стока усложнялись, приобретали комплексный характер, увеличивался объем перебрасываемой воды, протяженность её транспортирования. Возникла проблема взаимодействия систем переброски стока с окружающей природной средой, предотвращения негативных последствий переброски вод.

В настоящее время в мире проектируется, строится и функционирует большое число самых разнообразных по мощности, целевому назначению, техническим решениям, физико-географическим условиям подконтрольных территорий систем перебросок стока.

В сочетании с регулированием стока его территориальное перераспределение может обеспечивать гарантированное водообеспечение больших регионов, решая попутно проблемы транспорта, рекреации, занятости населения.

Долгие годы не прекращается дискуссия о целесообразности переброски 27 км<sup>3</sup>/год из нижнего течения Иртыша в бассейн Аральского моря каналом протяженностью более 2000 км и расчетным расходом 1100 м<sup>3</sup>/с [10]. Перспективы реанимации проекта, разработанного во второй половине XX века, неясны. Ряд важных для экономики страны систем, базирующихся на перебросках, нуждаются в реконструкции, расширении, либо в изменении режима водоподачи – Волго-Донской канал, канал им. Москвы, дотация воды из Чусовой в Екатеринбург, внутрибассейновые переброски в бассейне Тобола, перераспределение стока р. Самур и другие примеры.

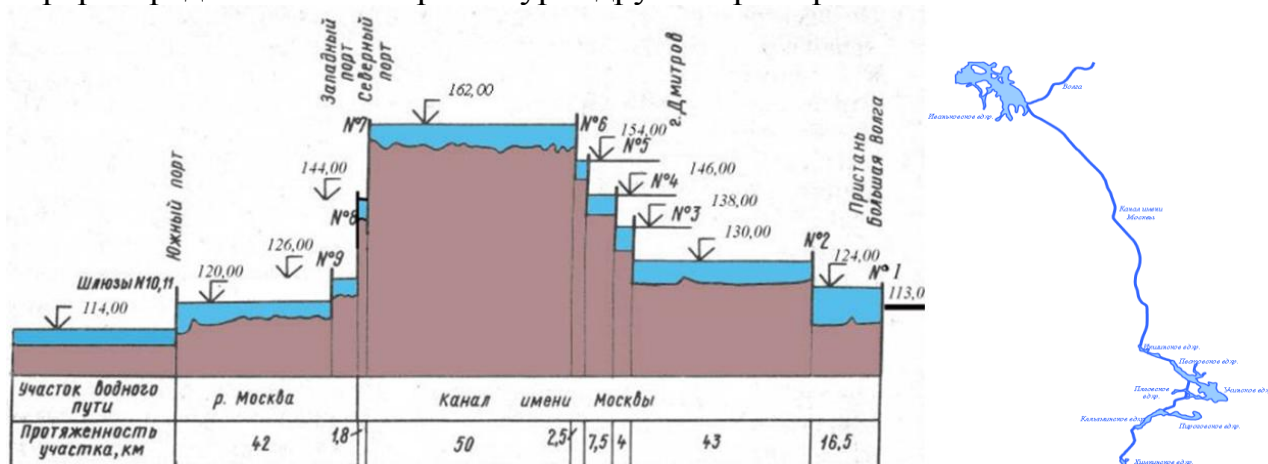


Рис. 5.1. Схема продольного профиля и плановое очертание канала им. Москвы

Инженерное решение любой системы переброски стока должно обеспечивать проектные показатели гарантированной доставки воды потребителю с наименьшими потерями и сохранением качества, достаточную экономическую эффективность и минимальное негативное влияние на окружающую среду.

Для выбора оптимального направления и конструктивного решения систем перебросок стока производится, как правило, многовариантное проектирование. Так, например, в процессе проектирования переброски стока из бассейна р. Оби в бассейны рек Амударьи и Сырдарьи рассматривалось более 30 различных вариантов. Вспомним некоторые из них. Исследовался головной водозабор из Верхней Оби из намечаемого к строительству водохранилища в створе г. Камень-на-Оби (выше Новосибирска) с обводнением объектов междуречья Оби и Иртыша и последующим транзитом перебрасываемого стока непосредственно по Иртышу. Большая часть вариантов тяготела к створу Тобольска. При этом по-разному решалась задача сохранения судоходства на нижнем Иртыше от Тобольска до Ханты-

Мансийска. Был вариант создания крупного водохранилища в створе водозабора, сопряженный с большими затоплениями. Были варианты создания левобережного судоходного канала на указанном участке. Наиболее предпочтительным из множества сценариев по сумме показателей оказался тогда вариант строительства низконапорных гидроузлов, обеспечивающих судоходство посредством подпертых бьефов в условиях насосной подкачки из створа Белогорье на Оби. В этом случае сэкономилось  $10 \text{ км}^3$  для переброски. Было несколько экзотических вариантов, не представляющих практического интереса.

Научная составляющая проблемы территориального перераспределения стока представляет собой один из важнейших разделов методики водохозяйственных расчетов (главы 2-3) наряду с теорией и практикой решения инженерно-технических задач, связанных со строительством гидротехнических сооружений, оценкой и компенсацией экологических ущербов [1, 8, 9].

Проблема гарантированного водообеспечения растущего населения земного шара, сельскохозяйственного и промышленного производства является одной из наиболее актуальных проблем современности. Напряженное положение с ресурсами пресных вод во многих районах мира, прогрессирующее загрязнение рек и водоемов заставляют изыскивать новые способы экономии воды, очистки сточных вод и освоения дополнительных источников водоснабжения. Все актуальнее становятся вопросы оценки водных ресурсов и водопотребления, прогноза их состояния на ближайшую и отдаленную перспективу, охраны водных объектов.

Масштабные переброски стока рек стали осуществляться со второй половины XX в. В это же время были предложены и начали разрабатываться такие проекты, как НАВАПА (США - Канада - Мексика), схема Национальная водная сеть и Большая водная гирлянда (Индия), переброска части стока сибирских рек в бассейн Аральского моря, переброска части стока р. Янцзы в северные районы Китая, другие проекты.

Одной из наиболее протяженных реализованных систем переброски стока в мире является Каракумский канал (объем переброски  $W=11 \text{ км}^3/\text{год}$ , протяженность трассы  $L=1100 \text{ км}$ , сводный показатель масштаба ( $W \times L=12100 \text{ км}^3/\text{год} \cdot \text{км}$ ). Близкие к Каракумскому каналу параметры имеет строящийся в Индии канал Нармада ( $W=13 \text{ км}^3/\text{год}$ , протяженность трассы  $L=1000 \text{ км}$ , сводный показатель масштаба  $WL=13000 \text{ км}^3/\text{год} \cdot \text{км}$ ). Показатель масштаба крупнейших канадских перебросок стока составляет  $1000-2000 \text{ км}^3/\text{год} \cdot \text{км}$ , а наиболее крупных перебросок стока в США, в Калифорнии- $4000 \dots 4500 \text{ км}^3/\text{год} \cdot \text{км}$ .

Суммарный объем перебросок стока в мире составляет около  $400 \text{ км}^3/\text{год}$ , в том числе в Канаде  $140 \text{ км}^3/\text{год}$ , в Российской Федерации- $60 \text{ км}^3/\text{год}$ , в Индии- $50 \text{ км}^3/\text{год}$ , в США- $30 \text{ км}^3/\text{год}$ .

### **Известные проекты перераспределения стока**

**США.** В настоящее время в США функционирует ряд водохозяйственных систем, осуществляющих межбассейновую переброску воды в объеме около 30 км<sup>3</sup>/год.

Первые значительные переброски воды в США были осуществлены на грани XIX и XX вв. с целью водоснабжения крупнейших городов на промышленном востоке страны (Нью-Йорк). Переброска 2,8 км<sup>3</sup>/год воды из оз. Мичиган в р. Иллинойс осуществляется для коммунально-промышленного водоснабжения г. Чикаго, разбавления и удаления сточных городских вод. Помимо местного перераспределения водных ресурсов в пределах границ США, восточные районы получают около 4...5 км<sup>3</sup>/год воды из Канады.

Наиболее крупные системы переброски объемом около 18 км<sup>3</sup>/год действуют в западных штатах. Основными экспортёрами воды являются речные бассейны севера Калифорнии и бассейн р. Колорадо.

В 60-х годах XX века было разработано несколько грандиозных проектов межзонального перераспределения водных ресурсов континента. Крупнейшим среди них является проект 1964 года НАВАПА - «Северо-Американский водноэнергетический альянс». Проект стоимостью около 100 млрд долларов (в ценах 1964г.), предусматривал переброску от 100 до 300 км<sup>3</sup>/год воды из рек Тихоокеанского и Арктического бассейнов в пределах Аляски, канадских штатов Юкон и Британской Колумбии в 7 провинций Канады, 33 американских и 3 мексиканских штата. Центральное звено водохозяйственной системы-водохранилище Рокки-Маунтен-Тренч емкостью 600 км<sup>3</sup> и протяженностью 800 км предназначалось для аккумуляции притока из более мелких водохранилищ на реках Аляски и Юкона. Из этого водохранилища воду в свою очередь планировалось перекачивать в водохранилище Состус в Центральном Айдахо с последующей самотечной водоподачей в западные штаты США и Мексики. Другая ветвь этой системы предназначалась для подачи воды в центральные степные провинции Канады и далее к Великим Озерам. По предварительным оценкам осуществление проекта позволило бы оросить 14 млн га, обеспечить выработку 100 млн кВт электроэнергии, дать более 45 км<sup>3</sup>/год воды для промышленных и коммунальных нужд.

Кроме проекта НАВАПА, в 1960-е годы в США были разработаны и другие проекты, идейно близкие проекту НАВАПА. Так, в проекте «Гранд-канал» предусматривалось перекрытие мелководной части залива Джеймс и опреснение его стоком нескольких рек объемом около 360 км<sup>3</sup>/год. Из залива Джеймс воду предполагалось транспортировать сначала по рекам в оз. Гурон, а затем по речным системам с помощью каналов и насосных станций в степные районы Канады, в аридные центральные и юго-западные штаты США. На Великие Озера накладывались функции гигантского водохранилища.

В 70-е годы XX века интерес к нереализованным проектам упал. Реальное водопотребление отставало от планов преобразования природы. Кроме того, проекты наталкивались на серьезные трансграничные проблемы как межгосударственные, так и между штатами.

Характерно, что отношение Канады к таким проектам в основном отрицательное и из-за сложности инженерного воплощения проектов, и неоправданности затрат, и неопределенности антропогенного воздействия.

**Канада** осуществила комплекс масштабных перебросок стока (около 40 % мирового масштаба), сделав ставку на экспорт электроэнергии, а не водных ресурсов.

Интересно, что наиболее ранней системой переброски в Канаде считается канал Уэлленд, построенный в 1829 г. в обход Ниагарского водопада с целью создания сплошного водного пути из Великих Озер в р. Св. Лаврентия и залив Св. Лаврентия, а также для получения дешевой электроэнергии.

Главные водохозяйственные системы, перебрасывающие речной сток объемом более 10 км<sup>3</sup>/год введены в строй в 70-80-е годы прошлого века. Около 90 км<sup>3</sup> воды перебрасываются в проектах «Черчилл» в провинции Манитоба, «Джеймс-Бей» в Квебеке и «Черчилл-Фолс» в Ньюфаундленде. Это самые крупные межбассейновые переброски в мире.

Цель территориального перераспределения стока в Канаде сводится главным образом к увеличению гидроэнергетического потенциала рек и покрытие дефицита воды в недостаточно обеспеченных водой районах. Нетрадиционная функция канадских перебросок-отвод воды из переувлажненных районов. Около 95% перебросок стока в Канаде предназначены для нужд гидроэнергетики и в небольшой степени для судоходства и лесосплава.

Канадские переброски характеризуются относительно короткими искусственными трассами, и самотечной водоподачей. Роль водохранилищ часто выполняют озера, что снимает серьезные проблемы, связанные с затоплением земель.

Другая важная особенность канадских перебросок, то, что они производятся в малоосвоенных в хозяйственном отношении и малонаселенных районах. Все это обуславливает относительно малую стоимость канадских перебросок, их высокую экономическую эффективность и небольшое влияние на окружающую среду. Канадские переброски допускают, с одной стороны, резкое сокращение (на 80% и более) стока рек-доноров, а с другой - увеличение во много раз стока рек, принимающих перебрасываемый сток.

**КНР.** Возможность крупномасштабной переброски речного стока из южных водообеспеченных областей Китая в маловодные северные рассматривается уже в течение нескольких десятилетий. Обсуждались три варианта переброски стока из бассейна р. Янцзы: Западный, Средний и Восточный - из верхнего, среднего и нижнего течения этой реки.

По принятому Восточному варианту водозабор из р. Янцзы предусматривается сооружение 10 мощных насосных станций, потребляющих 3...5 млрд кВт. Через р. Хуанхэ перебрасываемая вода будет подаваться по 600-метровому каналу, проложенному под руслом реки. Объем переброски изменяется от 14 км<sup>3</sup> (средний по водности год) до 30 км<sup>3</sup> в многоводный год. Проект позволит осуществить орошение 4 млн га земель и направить около 3



км<sup>3</sup>/год воды для улучшения промышленного водоснабжения. Общая длина трассы 1150 км.

Другой менее масштабный проект связан с переброской части стока Иртыша, что оказывает серьезное влияние на водохозяйственный комплекс реки на территории Казахстана и России и создает сложные трансграничные проблемы [10].

Отдельного рассмотрения требуют переброски в бассейне р. Аргунь (рис. 5.2).



Рис. 5.2. Схема перераспределения стока в бассейне Аргуни.

**Индия.** В XIX веке часть стока в районе Керала на юго-западе страны была направлена на восточные засушливые плато. Тогда же построены каналы, отводящие воду из рек Ганг, Годавари и Кришна для ирригации прилегающих территорий.

В настоящее время в стране ведутся крупные гидротехнические работы: строится канал, длиной 178 км для орошения 1,2 млн га пустынных районов Раджастхана. Другой крупный канал Сарда-Сахайак в шт. Уттар-Прадеш на севере Индии длиной 260км. предназначен для орошения 1,6 млн га. Сооружаются и другие системы для развития орошения в засушливых районах. Влияние осуществленных проектов на окружающую среду проявляется в снижении минерализации дельтового стока Годавари и Кришна.

Индийские комплексные водохозяйственные проекты будущего предусматривают создание единой национальной водной системы. Предусматривается переброска стока северной высокогорной части Индии в маловодные центральные и южные районы. Не касаясь деталей крупнейших

водных систем, отметим, что реализация проектных трактов переброски протяженностью от 3 до 9 тыс км ограничено огромными капиталовложениями и отсутствием необходимых трудовых ресурсов.

### **Проекты перераспределения стока в Российской Федерации и странах СНГ**

Строительство значительных по масштабам систем переброски стока началось во второй четверти XX века. В 1937г. был завершен канал им. Москвы протяженностью 128 км, осуществляющий переброску больше 2 км<sup>3</sup>/год воды из р. Волги в Москву-реку для водоснабжения г. Москвы и ее судоходной связи с Единой глубоководной системой Европейской части СССР. Проплывая на теплоходе по каналу им. Москвы, не стоит забывать, что история этой и многих других строек коммунизма связана с искалеченными судьбами и гибелью огромного количества людей, ставших жертвами сталинских репрессий.

В Средней Азии в 1939г. был построен Большой Ферганский канал по протяженности и объему перебрасываемой воды – один из крупнейших для своего времени. В 1950-х годах началось строительство Каракумского канала для переброски воды из р. Амударья в бассейны рек Теджен и Мургаб и далее в безводные районы пустыни Каракум - это крупнейшая осуществляемая переброска речного стока объемом 11км<sup>3</sup>/год на расстояние около 1100 км.

В настоящее время перераспределяемые в стране объемы воды оцениваются более, чем в 80 км<sup>3</sup>/год. Только крупных каналов с водозабором в головной части более 1,0 км<sup>3</sup>/год насчитывается сегодня более 9 с объемом переброски в среднем около 80 км<sup>3</sup>/год.

В XXI веке водные приоритеты могут стать одной из главных причин социально-экономических и военных конфликтов вследствие недальновидной внешней политики и недостаточного внимания к проблемам распределения и управления водными ресурсами. Есть мнение, что вода, приобретет статус «международного товара», и в недалеком будущем цена литра воды превысит цену литра бензина [3].

Регулирование и территориальное перераспределение стока, пожалуй, не имеют серьезных альтернатив в обозримом будущем для решения проблемы водообеспечения. В то же время, по мере роста масштаба перебросок речного стока, стоимость проектов и их влияние на природную среду становятся все более значительными, в то время, как прогноз антропогенного влияния все более неопределенным. Кроме того, оказались чрезвычайно сложно преодолимыми социально-правовые и политические аспекты проектов территориального перераспределения больших масс воды между различными природными и административными районами.

В связи с этим, в настоящее время во многих странах мира к осуществлению проектов перебросок стока подходят с большой осторожностью, выполняя комплексные научные исследования по их обоснованию, изыскивая всевозможные альтернативные варианты восполнения дефицита водных ресурсов помимо перебросок, осуществляя различные мероприятия по экономному использованию пресных вод, по сохранению их качества. Проекты

крупномасштабных перебросок стока стали предметом ожесточенных дискуссий и критики, в основном с природно-экологических позиций.

Водопотребление во всех странах растет очень быстрыми темпами, что в условиях крайне неравномерного распределения водных ресурсов по территории и во времени, а также большого антропогенного загрязнения природных вод уже в настоящее время обуславливает значительный дефицит пресных вод во многих странах и регионах Земли, особенно в маловодные годы.

Значительные средства затрачиваются ежегодно на разработку и реализацию мероприятий по устранению дефицита чистой пресной воды в разных районах страны. В числе мероприятий, помимо регулирования стока и перебросок, применяются:

- снижение водопотребления посредством внедрения прогрессивных технологий в промышленности и сельском хозяйстве, увеличение доли водооборотных и комбинированных систем водоснабжения в промышленности;
- сокращение или полное прекращение сбросов в озерно-речную сеть сточных вод; более полное использование местных вод в результате сезонного и многолетнего регулирования стока;
- более широкое использование соленых морских и подземных вод;
- в ряде случаев сработка вековых запасов воды в озерах, льдах и снеге.

Выбор мероприятий (за исключением очистки сточных вод, которые всегда необходимы) основан на сравнении их по всему комплексу показателей. Ориентировочные среднестатистические удельные капитальные затраты на единицу произведенной гарантированной воды разными способами приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Капитальные затраты при получении 1 км<sup>3</sup>  
дополнительных водных ресурсов

Способы получения дополнительной воды	Капитальные затраты, млн. \$ на 1 км <sup>3</sup>
Регулирование речного стока водохранилищами	50...80
Очистка промышленных сточных вод	200...1500
Использование ледников горных районов	50...100
Реконструкция оросительных систем	700...900
Опреснение методом дистилляции	600...1600
Опреснение мембранными методами	100...700
Использование антарктических айсбергов	500...700
Территориальное перераспределение	100...800

Способы получения дополнительной воды	Капитальные затраты, млн. \$ на 1км <sup>3</sup>
водных ресурсов	

Данные таблицы 5.1.дают лишь представление о порядке цифр, поскольку изменяются в широком диапазоне в зависимости от временного и регионального факторов.

Таким образом, территориальное перераспределение стока является одним из эффективных методов повышения водообеспеченности водохозяйственных комплексов наряду с регулированием стока и специальными водохозяйственными мероприятиями по экономии воды и под-держанию ее качества. Масштабное перераспределение водных ресурсов предусматривалось в проектах переброски части стока северных рек в бассейн р. Волги и сибирских рек в бассейн Аральского моря. Известно также и множество менее глобальных проектов переброски стока.

#### Классификация схем территориального перераспределения стока

Социально-экономическая эффективность проектов переброски стока неодинакова по причине разности целей, масштабов влияния и последствий для окружающей среды. В исследовательской практике принято деление по **гидрографическому** (локальные, внутриводосборные, межводосборные), **физико-географическому** (внутризональные и межзональные), **политико-административному** (внутригосударственные и межгосударственные) и **функционально-целевому** (отраслевые, природообразующие) признакам [5]. Названные признаки характеризуют назначение, масштабность и режим перераспределения водных ресурсов.

Таблица 5.2

Наиболее крупные действующие переброски стока на территории РФ

Канал	Река-донор	Расстояние от устья реки до головной части канала, км	Пропускная способность, м <sup>3</sup> /с	Средний объем водозабора, км <sup>3</sup> /год
Донской	Дон	327	250	2,6
Б. Ставроп.	Кубань	775	180	2,5
Кубанский	Кубань	146	210	1,9
Терско-Кумский	Терек	385	100	2,7
Дельтовый	Терек	108	180	2,0
Кумский	Кума	220	60	1,0
им. Москвы	Волга	2972	125	2,3
Невинно-мысский	Кубань	-	-	1,9
Волго-Каспийский	Кубань	-	6300	64,3

В СССР разрабатывались различные системы перебросок стока из северных и сибирских рек на Южный склон:

- из озер Лача и Воже (верховье р. Онеги) через озеро Кубинское в р. Шексну и в Рыбинское водохранилище на р. Волге; объем переброски  $2 \text{ км}^3/\text{год}$ ;
- из р. Сухоны (с помощью каскада гидроузлов) и оз. Кубенского в р. Шексну и в Рыбинское водохранилище; объем переброски  $4 \text{ км}^3/\text{год}$ ;
- из низовьев р. Дуная вдоль побережья Черного моря; объем переброски до  $25 \text{ км}^3/\text{год}$ ;
- из р. Свири и Онежского озера через оз. Белое в р. Шексну, в Рыбинское водохранилище; объем переброски  $3,5 \text{ км}^3/\text{год}$ , общая высота подъема воды 80 м;
- из р. Северной Двины через р. Сухону и оз. Кубенское в Рыбинское водохранилище на р. Волгу; объем переброски  $10 \text{ км}^3/\text{год}$ ;
- из р. Печоры от Митрофановского гидроузла в р. Каму; объем переброски  $9,8 \text{ км}^3/\text{год}$ ;
- из р. Оби у с. Белогорье и Нижнего Иртыша по каналу Сибирь - Средняя Азия в бассейны рек Сырдарьи и Амударьи; объем  $27 \text{ км}^3/\text{год}$ , общая высота подъема 300 м.

Для обеспечения дальнейшего увеличения водопотребления в бассейне Каспийского моря и на прилегающей к нему территории юга Европейской части страны рассматривалась также возможность переброски воды из Онежской губы Белого моря в объеме до  $40 \text{ км}^3/\text{год}$ , с общим подъемом воды 130 м.

Идея переброски северных рек в бассейн Волги была фактически отклонена реальным ходом уровней Каспийского моря. С проектом сибирской переброски ситуация более сложная, поскольку имеются противники проекта и его принципиальные сторонники.

Позиция авторов в отношении проекта переброски части стока рек Оби и Иртыша в Казахстан и Среднюю Азию, обозначена ниже:

- переброска не ставит своей задачей восстановить Аральское море – это невозможно таким путем, поскольку только частичное восстановление моря требует не менее  $30 \text{ км}^3$  и объем переброски составляет тогда не менее  $50-60 \text{ км}^3$  в год. Экологические проблемы Арала самостоятельная научно-практическая задача как с точки зрения регулирования притока и площади сохраняемой акватории, так и в связи с возникновением обнажившегося дна в десятки тысяч квадратных километров, с которого выносятся сотни тысяч тонн песка и вредных минеральных солей;
- прокладывается межгосударственная стратегическая водная магистраль с видимыми перспективами в части экономического и политического развития;

- получают гарантированную воду Российские области (Курганская, Челябинская, Тюменская), решаются вопросы трансграничного вододелия по реке Тобол на границе России с Кустанайской областью;
- наряду с возникновением новых рабочих мест, оживлением научной и инженерной мысли возникает огромное количество проблем социального, научного и экологического характера;
- проект не должен отвергаться на чисто эмоциональном уровне



Рис.5.1.Схема канала сибирской переброски

Прошли два десятилетия, образовались независимые государства на территории могущественной советской империи. Изменились общественно-экономические отношения и приоритеты развития отраслей, иными стали воззрения на окружающую среду. Судьбу радикальных проектов преобразования природы определит время.

### **Особенности проектного обоснования территориального перераспределения стока**

Как уже упоминалось, основная причина перебросок—недостаточная эффективность мероприятий по рациональному водопользованию. Это, прежде всего превентивные и адаптационные мероприятия, направленные на экономию водных ресурсов и регулирование качества воды - оборотные и повторного использования системы водоснабжения, совершенствование технологических процессов наряду с сокращением удельных норм водопотребления, другие меры.

Территориальное перераспределение стока, очевидно, относится к группе инженерно-технических мероприятий, связанных со строительством сооружений. Граница между двумя группами не очень жесткая, тем не менее, достаточно понятная. Таким образом, переброска вместе с регулированием стока составляет основу развития водохозяйственного комплекса.

При проектировании и эксплуатации таких систем решаются множественные водохозяйственные задачи, часто имеющие самостоятельное проектно-методическое значение и для других водохозяйственных проектов. Одна из наиболее важных водохозяйственных задач при проектировании перебросок – это оценка объемов водозабора из реки донора с учетом сочетания факторов, влияющих на объем и режим изъятия. В числе упомянутых факторов режим функционирования водохозяйственного комплекса и сохраняемый водный реки донора после осуществления переброски, пропускная способность водозаборных сооружений, неравномерность стока в створе водозабора и наличие регуливающей емкости, зимний режим канала переброски, другие факторы.

Наиболее характерные проектов переброски задачи рассмотрены ниже.

**Определение водохозяйственной способности реки донора.** Здесь предусматривается анализ водных ресурсов с точки зрения водобеспеченности бассейна, где производится отбор воды. Необходимо исследовать состояние действующего и развивающегося в проектной перспективе водохозяйственного комплекса. Затем следует оценить резерв водных ресурсов относительно того условного ущерба, который в любом случае наносится бассейну-донору.

**Определение водохозяйственной способности системы водотоков.** В общей постановке может рассматриваться произвольное количество водотоков и тогда прежде, чем принимать решение о дополнительном регулировании и перераспределении стока, необходимо оценить гарантированные водные ресурсы с учетом множественной корреляционной связи, определяющей асинхронность формирования стока. Рассмотрение системы водотоков начинается с оценки располагаемых водных ресурсов многомерного вектора. В результате анализа принимается решение об использовании наблюдаемых гидрологических рядов, либо моделировании искусственных многолетних последовательностей.

При оценке водохозяйственной способности системы водотоков в общем случае целесообразно в качестве суммарного годового потенциала водных ресурсов  $\theta_i$  рассматривать сумму случайных зависимых величин  $X_i$ , представляющих соответствующие объемы стока  $i$ -го водотока.

Пусть годовые объемы речного стока подчиняются трехпараметрическому гамма-распределению при соотношении  $\frac{C_s}{C_v} = 2$ , а многолетняя последовательность названных объемов представляет собой авторегрессию первого порядка самих значений, их нормированных нормальных значений, либо вероятностей превышения (обеспеченностей). Тогда  $\theta_i$  определяется

многолетними статистическими параметрами стока рассматриваемых водотоков – математическим ожиданием, дисперсией и корреляционной связью между водотоками (корреляционным отношением, коэффициентом корреляции, принятым типом автокорреляционной функции). В моделирующей программе в соответствии с той или иной математической моделью задается корреляционная матрица годовых объемов, их нормализаций, либо их обеспеченностей (вероятностей превышения). Если математическое ожидание суммы случайных величин определяется всегда как сумма средних, то коэффициент вариации зависит от дисперсий составляющих и корреляционной связи между ними:

$$X_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n X_i \quad (1)$$

$$\sigma_{\Sigma}^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n r_{ik} \sigma_i \cdot \sigma_k \quad (2)$$

-дисперсия суммы в общем случае множественной линейной корреляции

$$\sigma_{\Sigma}^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1, n}^n \sum_{k=1, n}^n \sigma_i \sigma_k (i \neq k); \quad (3)$$

$$\sigma_{\Sigma}^2 = \left( \sum_{i=1}^n \sigma_i \right)^2 \quad \text{или} \quad \sigma_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \sigma_i$$

-дисперсия при полной синхронности водотоков (все коэффициенты корреляции равны единице)

$$\sigma_{\Sigma}^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 \quad (4)$$

-дисперсия при полной независимости

В инженерно гидрологических расчетах обычно рассматривается относительная дисперсия, или коэффициент вариации  $C_v$ , представляющий собой отношение дисперсии к среднему. Используя выражения 4...7, получаем:

$$C_{v\Sigma} = \left( \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n r_{ik} \sigma_i \cdot \sigma_k} / \sum_{i=1}^n X_i \right) - \text{общий случай}; (5)$$

$$C_{v\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i}{\sum_{i=1}^n X_i} \rightarrow C_{v\Sigma} = C_{vi} - \text{синхронные водотоки}; (6)$$

$$C_{v\Sigma} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}}{\sum_{i=1}^n X_i} - \text{независимые водотоки}; (7)$$

**Влияние корреляционной связи между водотоками при компенсированном регулировании стока.** Очевидно, наибольшая изменчивость ресурсов наблюдается при полной синхронности стоков, наименьшая - при отсутствии корреляции. Соответственно, асинхронность создает возможность более полного использования ресурсов системы водотоков, когда маловодье одной из составляющих вектора суммарного



потенциала ресурсов может сопровождаться средним или многоводным периодом другой. Рассмотрим наиболее простой случай компенсационного регулирования стока с двумя водотоками.

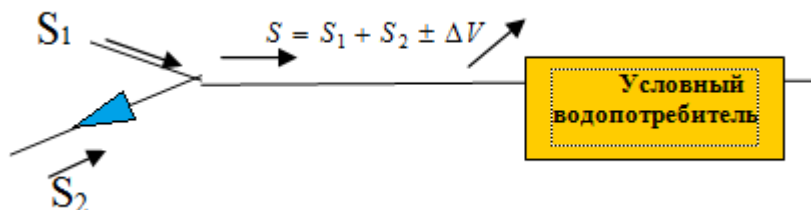


Рис. 5.3. Простейшая схема компенсационного регулирования

Находим параметры суммарного стока, используя (5, 7):

$$\begin{aligned} \sigma_s^2 &= \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + 2r_{12}\sigma_1 \cdot \sigma_2 \\ (S_1 + S_2) \cdot C_v^2 \sigma_s^2 &= \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + 2r_{12}\sigma_1 \cdot \sigma_2 \end{aligned} \quad (8)$$

Принимая по рекомендации Ю.М. Малисова весь сток реки за единицу, а долю регулируемого стока за  $\psi$ , получаем выражение для коэффициента вариации суммарного стока:

$$C_v^2 = \psi^2 \cdot C_{v1}^2 + (1-\psi)^2 \cdot C_{v2}^2 + 2r_{12} \cdot \psi \cdot (1-\psi) \cdot C_{v1}^2 \cdot C_{v2}^2 \quad (9)$$

Чем больше доля контролируемого стока, то есть чем больше коэффициент  $\psi$ , тем выше эффект регулирования стока. Однако Ю.М. Малисовым были получены результаты, свидетельствующие о независимости гарантированной водоотдачи от коэффициента  $\psi$  при одних и тех же значениях емкости водохранилища  $\beta$ , а полностью определялись коэффициентом изменчивости суммарного притока к створу условного потребителя. Указанный результат, по-видимому, объясняется недостаточно продолжительными рядами стока без учета внутригодового распределения и глубины перебоев. Номограммы были построены лишь для крайних значений коэффициента корреляции. Следует видимо расширить диапазон значений коэффициента корреляции для более обоснованного расчета компенсационного регулирования, весьма существенного в режиме работы водохозяйственных систем с территориальным перераспределением стока.

**Определение санитарно-экологического стока или допустимого остаточного стока в зоне изъятия.** Одним из определяющих ограничений с точки зрения объемов водозабора являются требования к остаточному стоку. Остаточный сток может задаваться комплексными или санитарно-экологическими попусками, которые определяются в свою очередь по традиционным методикам [2, 4, 12]. Однако достаточно часто нужны нестандартные решения, требующие дополнительных научных исследований [13].

**Выбор типа водозаборных сооружений.** Выбор типа и конструкции водозаборных сооружений, компоновочные решения – конкретная инженерно-

техническая задача. Принципиальным с водохозяйственной точки зрения является принятие плотинного или бесплотинного водозабора. При бесплотинном водозаборе из живого тока можно забрать не более (20-25) % живого тока. В плотинном водозаборе решается вопрос о целесообразности регулирования стока в створе изъятия.

**Учет сезонной неравномерности стока при определении объемов водозабора** - один из определяющих факторов в расчетах режима забора воды.

Достоверность результатов водохозяйственных расчетов зависит от надежности и репрезентативности исходной информации, состоятельности используемой методики и реализующего ее программного обеспечения, соответствия принятой системы критериев решаемой проектной задаче. Изложенные ниже результаты исследований посвящены вопросу влияния внутригодовой разбивки года на точность водно-балансовых расчетов [6].

Принимая расчетное разбиение года на интервалы, мы вносим определенную погрешность в результаты, которая свойственна любой дискретности. Ошибка в оценке водообеспеченности зависит от соотношения объемов водозабора и располагаемых водных ресурсов. Если названные величины сопоставимы, ошибка будет значимой. Если объемы отборов сравнительно невелики, ошибка незначительна. Как учесть систематическую ошибку в оценке гарантированного объема водозабора, не прибегая к более детальной разрезке года, которая нежелательна и далеко не всегда возможна.

Методический подход изложен в работе [11]. Подробно методика решения задачи представлена в диссертации Ивановой Т.И.[5]. Выполнение водохозяйственных расчетов в месячных интервалах времени может привести к завышенной оценке объемов водозабора. Переход к более мелким интервалам, с одной стороны сталкивается с недостаточностью информации, с другой - такого рода уточнения могут приводить к падению надежности результатов. Рекомендательный подход на основании опыта проектирования позволяет в ряде случаев вести расчеты по месяцам, но с введением систематической поправки, связанной с месячной неравномерностью стока.

Величина возможного водозабора за месяц является функцией трех переменных - номера календарного месяца (или сезона), среднемесячного расхода (потенциальный отбор) и пропускной способности водовода. Если бы сток в течение месяца не менялся, максимальная величина водозабора за месяц  $Q$  равнялась бы месячному стоку реки  $q_m$  или пропускной способности водовода  $q_v$  в зависимости от того, какая из названных величин меньше. Поэтому функция  $Q=f(q_m)$  при  $q < q_m$  совпадает с биссектрисой координатного угла  $Q = q_m$ . Фактический объем водозабора из-за колебаний расходов будет меньше. В результате зависимость возможного расхода водозабора от влияющих параметров имеет вид номограмм (рис.5.4), описывающих зависимость  $Q = F(q, q_m)$ .

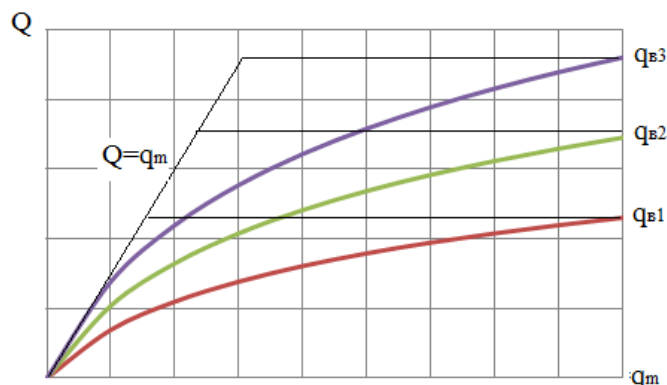


Рис. 5.4. Характер зависимости максимально возможных объемов водозабора.

Номограммы указанного вида могут быть получены расчетным путем для месяцев паводкового (половодного) периода в результате анализа суточных и декадных расходов групп лет, освещенных подробными наблюдениями. Следует отметить отличие номограмм как по месяцам, так и в большей степени для разных рек. Аналитическое обобщение подхода удобнее выполнять в относительных координатах названных параметров, что позволяет свести номограммы к одному графику (рис.5.4). Одновременно конкретизируется зона выхода кривой из начала координат и ее сопряжение с биссектрисой  $Q=q_m$ . Пусть  $V = Q / q_B$  - относительная величина расхода водозабора в долях пропускной способности водовода, а  $U=q_{cp}/q_B$ .

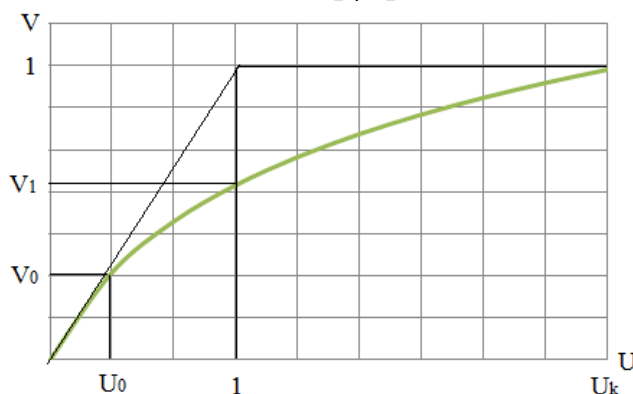


Рис. 5.5. Зависимость среднемесячного расхода изъятия от среднемесячного расхода водотока в долях пропускной способности водозабора.

Для определения характерных точек кривой на рис. 5.5 необходимо принять гипотезу распределения расходов внутри месяца. Наиболее простым решением является нормальное распределение случайных независимых величин. Такой подход изначально и предлагался вышеупомянутыми авторами. Отмечаются три характерных точки кривой.

$$U_0 = V_0, \quad (10)$$

где  $U_0$  соответствует такому среднемесячному расходу, при котором все возможные значения текущих расходов (скажем суточных расходов) не превышают пропускной способности ( $V=1$ ). То есть средний расход так мал, что максимальные расходы интервала меньше пропускной способности водозабора. Исходя из диапазона  $3\sigma = 3U_{cv}$  определяется  $U_0$ :

$$U_0 + 3 \cdot U_0 \cdot c_v = 1 \Leftrightarrow U_0 = \frac{1}{1 + 3 \cdot c_v} \quad (11)$$

В третьей точке достигается максимальный водозабор  $V=1$ . В этой точке средний расход ( $U_k$ ) таков, что диапазон значений текущих расходов выше максимальной пропускной способности ( $V=1$ ).

$$U_k - 3 \cdot U_k \cdot c_v = 1 \Leftrightarrow U_k = \frac{1}{1 - 3 \cdot c_v} \quad (12)$$

Наконец промежуточная точка, где среднемесячный расход равен пропускной способности водозабора  $U=1$ . В данной точке потери по сравнению с расчетом по среднему оцениваются разностью текущих расходов и среднемесячным расходом равным единице.

$$\Delta U = U - \bar{U} = U - 1, U > 1 \quad (13)$$

Математическое ожидание  $\Delta U$  равно 0. Исходя из равенства дисперсий  $\sigma_{\Delta U} = \sigma_U$ . Потери наблюдаются ровно в половине случаев, поэтому значение расхода водозабора определится следующим образом:

$$V = 1 - 0.5 \cdot M(\Delta U); M - \text{математическое ожидание в области значений от } 0 \text{ до } \infty \quad (14)$$

$$M(\Delta U) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} x \cdot e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \cdot dx$$

В результате преобразований получается выражение для  $V_1$

$$V = 1 - \frac{0.5 \cdot c_v}{\sqrt{2\pi}} \quad (15)$$

Очевидно, координаты третьей точки не могут быть определены при относительно высоких значениях коэффициента вариации. Поэтому целесообразно для определения положения этой точки использовать не нормальное распределение, а биномиальное при достаточно малой асимметрии. В этом случае координата концевой точки определится формулой (16)

$$U_k \cdot m_{95}(C_v) = 1 \Rightarrow U_k = \frac{1}{m_{95}(C_v)} \quad (16)$$

Для выполнения водно-балансовых расчетов можно использовать табл. 5.3 либо диаграммы, построенные по табличным данным (рис.5.6).

Таблица 5.3

Относительные координаты расчетной кривой при разной изменчивости интервальных значений расходов.

Номер точки	U при значениях $C_v$						V при значениях $C_v$					
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0
1	0.77	0.63	0.53	0.40	0.32	0.25	0.77	0.63	0.53	0.40	0.32	0.25
2	1.00						0.98	0.96	0.94	0.90	0.86	0.80

3	$\frac{1}{m_{95}(C_v)}$	1.00
---	-------------------------	------

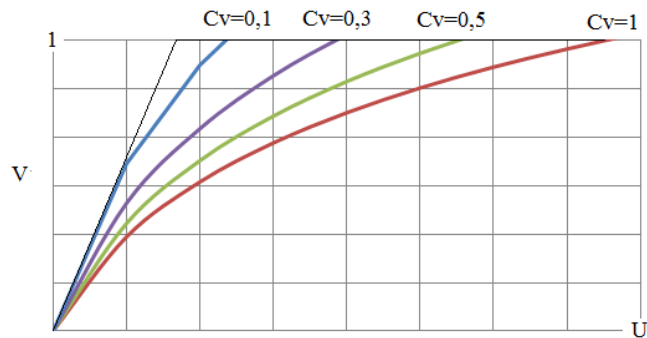


Рис. 5.6. Расчетные диаграммы для определения относительного объема водозабора

Задаваясь пропускной способностью водовода и имея среднемесячный расход, можно найти реальный месячный объем водозабора, который используется затем в приходной части водохозяйственного баланса в зоне распределения перебрасываемого стока. Предварительно следует найти среднее значение, дисперсию и коэффициент вариации расходов внутри расчетного интервала. Затем по приведенной выше таблице отыскать относительное значение водозабора и пересчитать его в абсолютное значение с учетом пропускной способности водозаборных сооружений.

Для апробации методики был использован нереализованный проект Северного конвейера в Республике Кипр. Система включала по основному варианту четыре реки, сток которых собирался в магистральный коллектор, транспортирующий воду в конечное водохранилище Полиатис для перерегулирования перебрасываемого стока в график водопотребления столицы острова, г. Никосии. При сопоставлении результатов получено хорошее совпадение с проектными значениями, когда расчеты выполнялись в 1996 году на основе статистического анализа большого объема материалов, основанных на среднесуточных значениях расходов.

При разработке водохозяйственного обоснования реальных проектов на малых водотоках требуется выполнение специальных водно-балансовых расчетов по нескольким годам в суточных интервалах времени. Очевидно, такие предварительные расчеты неизбежны для объектов, где фигурируют водотоки с дождевым питанием, где характерны существенные колебания стока внутри фазово-устойчивых зон календарного года. Недоучет месячной неравномерности приводит к ошибкам в результатах от 20 до 50 % в зависимости от изменчивости стока внутри расчетных интервалов.

***Определение пропускной способности тракта и необходимой регуливающей емкости по трассе переброски***

Пропускная способность тракта определяется с учетом ряда обстоятельств. В частности, решается вопрос о телескопичности канала, что связано с режимом отбора воды по трассе переброски. Другой вопрос—это обеспечение режима водоподачи. Если переброска осуществляется в равномерном режиме, то необходимо строительство водохранилища в концевой части канала для перерегулирования водного потока в режим водопотребления.

Существенным обстоятельством является также зимний режим при соответствующих климатических условиях. В зимних условиях пропускная способность тракта снижается почти в два раза, что обусловлено увеличением смоченного периметра при сохранении площади поперечного сечения русла. Немаловажным является прогнозирование потерь стока на фильтрацию и испарение с водной поверхности. Параллельно оценивается изменение уровня грунтовых вод в зоне влияния каналов переброски.

### ***Оценка допустимого объема и режима водозабора посредством имитационного моделирования***

Рассматриваемая территория в проектах переброски делится на три части: зона изъятия, тракт переброски, зона распределения перебрасываемого стока (рис. 5.7).

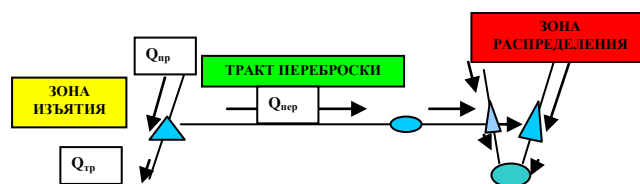


Рис. 5.7. Общая проектная схема территориального перераспределения стока.

Характер водохозяйственной связи указанных зон обусловлен конкретными особенностями объекта. Функционирование системы водоподачи естественно осложняется при компенсированном регулировании стока, когда в зоне распределения имеется собственный сток. Последовательность проектирования ВХС сводится к следующим проектным действиям. Выполняется анализ функционирования водохозяйственного комплекса в зоне изъятия и выявление резерва водных ресурсов для переброски; разработка сценариев развития водопотребления в зоне распределения перебрасываемого стока; имитационное моделирование системы и выбор оптимального варианта по объему переброски; разработка технических решений для выбранного варианта перераспределения стока; определение экономической эффективности водохозяйственной системы; оценка воздействия проекта на окружающую среду (рис. 5.8).

***Структура водохозяйственного баланса в створе водозабора*** должна отражать существо предпринимаемых инженерных мероприятий, то есть, учитывать особенности водохозяйственной системы в части переброски стока. В качестве примера рассчитан баланс в створе головного водозабора (г.

Тобольск) канала сибирской переброски применительно к варианту сохранения в Иртыше транспортного ( $900 \text{ м}^3/\text{с}$ ) и санитарного ( $240 \text{ м}^3/\text{с}$ ) попусков.

Водохозяйственный анализ строится на основе расчетных номограмм характеризующих эффективность мероприятий в зависимости от параметров переброски (рис. 5.9).

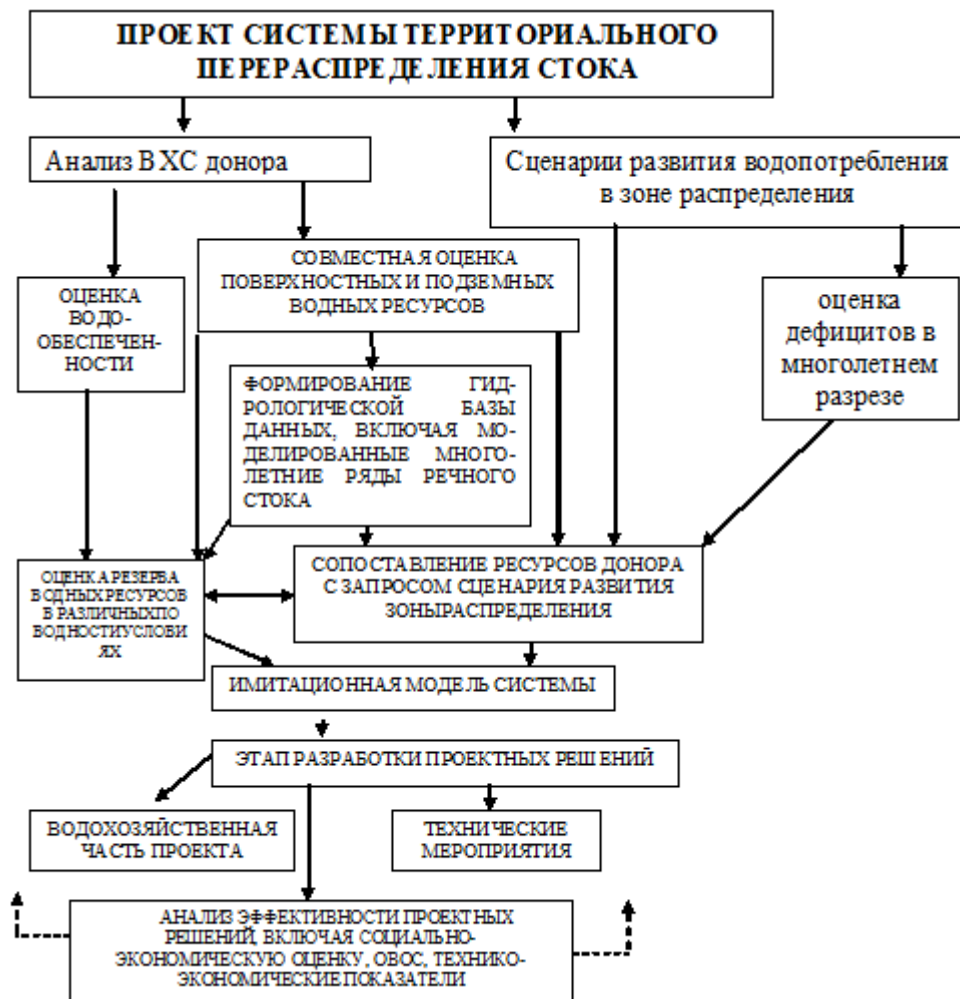


Рис. 5.8. Обобщенная аналитическая схема разработки проектов ТПС  
 - - - - направление пересмотра решений при неудовлетворительной оценке эффективности проекта.

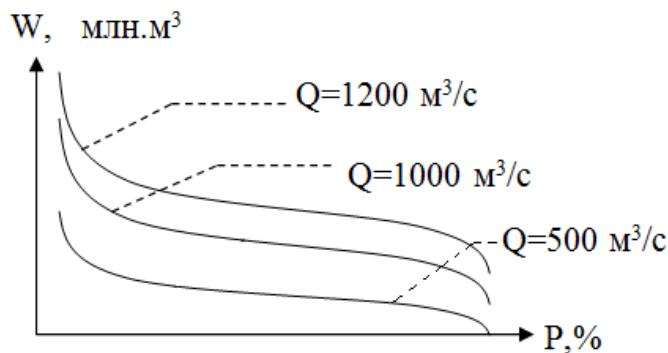


Рис.5.9. Номограммы обеспеченности объемов отбора из Иртыша при разной пропускной способности головного водозабора и канала переброски.

Численная привязка номограмм, по понятным причинам, не сделана. При наличии регулирующей емкости  $V$  в створе водозабора возможности изъятия существенно увеличиваются, о чем свидетельствуют результаты проведенных имитационных экспериментов для получения экспериментальной аппроксимации функции (17).

$$W = F(q, V, P) \quad (17)$$

Функция (17) определяется неоднозначно. Здесь мы сталкиваемся с проблемой, рассмотренной в главе 4 при исследовании методики расчета наливных водохранилищ. Однако в системах с большими каналами, тяготеющими к равномерному режиму, расчетная схема в общем случае включает два водохранилища (рис.5.7). Первое водохранилище в створе головного водозабора, второе – для перерегулирования стока в график потребности. Очевидно, функцию (17) более правильно формулировать в виде (18).

$$W = F(q, V, P, R), \quad (18)$$

где  $R$ –функция режима запроса (поинтервальных требований к водохранилищу).

Сечение функции (18) по линии полного годичного регулирования, как одно из наиболее характерных для водохозяйственного анализа, для Иртышской схемы с водозабором от створа Тобольска при обеспеченности водозабора  $P=(75-80)\%$  характеризуется табл. 5.4.

Таблица 5.4

Гарантированные объемы изъятия ( $P=75\dots80\%$ ) обеспеченности при наличии регулирующей емкости  $V$  в створе водозабора (полное годичное регулирование).

$W, \text{ км}^3$	Минимальная пропускная способность водозабора $q, \text{ м}^3/\text{с}$	$V, \text{ млн. м}^3$
10.11	400	1000
12.64	500	1700
20.23	800	3500
25.28	1000	5500
27.81	1100	6500

**Технические и водохозяйственные решения пересечений по трассе переброски.** Помимо чисто инженерной задачи сопряжения канала или водовода с водотоками по трассе всегда должен решаться вопрос о целесообразности привлечения их ресурсов для пополнения перебрасываемого стока.

**Распределение перебрасываемого стока.** Это самостоятельная задача в рамках проекта территориального перераспределения стока. Особенностью проблемы является целесообразность использования асинхронности формирования водных ресурсов в зоне изъятия и зоне распределения. Не всегда асинхронность стока имеет значение. Так, например, в бассейне Аральского



моря, степень зарегулирования стока рек АмурДарьи и СырДарьи практически максимальна. Поэтому фактор асинхронности со стоком сибирских рек не имеет практического значения.

**В заключении** к анализу проблемы ТПС отмечаются следующие позиции.

Территориальное перераспределение речного стока является актуальной водохозяйственной проблемой как для отечественных, так и для зарубежных водохозяйственных систем.

Обоснование режима и объема изъятия стока является многофакторной водохозяйственной задачей. Для решения задачи рекомендуется использование имитационного моделирования с целью получения расчетных номограмм. В результате анализа номограмм в автоматизированном или частично автоматизированном алгоритме определяется объем водозабора как функции транзитного попуска, пропускной способности тракта переброски и регулирующей емкости в створе изъятия.

При проведении водохозяйственных расчетов для малых рек результаты в значительной степени зависят от временной разрезки года. Для описания водного режима малых рек с высокой степенью неравномерностью гидрографа требуются очень детальная разбивка на интервалы. Это в свою очередь ведет к потере точности, поскольку наблюдаемые данные характеризуют лишь конкретную выборку продолжительного гидрологического ряда. Предложенная методика ориентирована на выбор сравнительно устойчивых с точки зрения временного тренда интервалов (месяцы, декады, пентады), для которых строятся зависимости, определяющие реальный объем изъятия, как функцию пропускной способности водозабора и среднего интервального расхода. Использование методики позволяет получить более надежные результаты, в противном случае ошибка может составить до 30%.

В проектах переброски важную роль играет корреляционная связь между величинами стока в зоне изъятия и зоне распределения перебрасываемого стока. По этой причине крайне важным является подготовка репрезентативной гидрологической информации: многолетние ряды стока, расчетные гидрографы лет различной водности, многолетние параметры стока, другие показатели водного режима.

Рассмотренные методы применимы не только в проектах территориального перераспределения стока, но имеют и самостоятельное значение для проектирования и исследования режимов функционирования водохозяйственных систем.

### **Библиографический список**

1. Асарин А.Е., Бестужева К.Н., Христофоров А.В., Чалов С.Р. Водохозяйственные расчеты – М.: Изд.-во МГУ, Учебное пособие 2012, 143 с.
2. Вельнер Х.А., Каск А.Г., Хосровянц И.Л. Методика определения минимально допустимых расходов рек с учетом качества вод. Материалы V

- Всесоюзного симпозиума по современным проблемам самоочищения и регулирования качества воды. – Таллин , 1975.
3. ВОДА или НЕФТЬ? Создание Единой Водохозяйственной Системы/ Д.В. Козлов, И.П. Айдаров, Л.Д. Раткович, И.С. Румянцев и др.; под общей редакцией проф., д.т.н. Д.В Козлова.–М.: МППА БИМПА, 2008–456 с.
  4. Дубинина В.Г. Методические основы экологического нормирования безвозвратного изъятия речного стока и установления экологического стока. – М.: Минприроды РФ, Госком по рыболовству, РАН, Межведомственная экологическая комиссия, 2001.
  5. Иванова Т.И. Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук «Совершенствование методики расчета объема водозабора в проектах территориального перераспределения стока -М.:2010.
  6. Иванова Т.И., Раткович Л.Д. Учет внутримесячной неравномерности стока рек при определении объемов возможного изъятия //Природообустройство2008, №3 С. 64-66.
  7. Исмайылов Г.Х., Прошляков И.В., Раткович Л.Д.. Методология управления большими водохозяй-ственными системами.// Мелиорация и водное хозяйство, 2006 № 4.
  8. Иванова Т.Н., Федоров Б.Г., Парфенов Л.Г. и др. О модели управления стоком рек в условиях его территориального перераспределения//Водные ресурсы, 1979, №4, С.28.
  9. Раткович Л.Д. Особенности водохозяйственных расчетов при территориальном перераспределении водных ресурсов // Мелиорация и водное хозяйство2001 № 1.
  - 10.Раткович Л.Д. Дискуссионные вопросы в сфере водохозяйственного проектирования [Текст] / Л.Д. Раткович //Вода magazine. 2008 № 12С. 40-46.
  - 11.Раткович Л.Д., Иванова Т.И. Учет внутримесячной неравномерности стока реки при определении объемов возможного изъятия //Природообустройство: науч.-практ. журн. 2008 № 3 С.64-66.
  - 12.Фащевский Б.В. Методические основы определения допустимых величин изъятия стока из северных и сибирских рек [Текст] / Б.В. Фащевский //Тезисы конференции «Природа Арктики в условиях межзонального перераспределения водных ресурсов».–Л.:, 1980.–С.21-24.
  - 13.Шабанов В.В., Маркин В.Н. Метод оценки качества вод и состояния водных экосистем в схемах КИОВР– М.:ВИНИТИ 2007 81 с.
  - 14.Шикломанов И.А., Маркина О.А. Проблемы водообеспечения и переброски речного стока в мире.-Л.: Гидрометеиздат, 1987.

## Глава 6.

### **ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСГРАНИЧНЫХ БАССЕЙНОВ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ РЕШЕНИЯ**

«Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер» - документ, принятый в Хельсинки в марте 1992 года, вступивший в силу для России в 1996 году и имеющий, безусловно, стратегическое значение [4]. Основанием этого документа явилось осознание приоритета охраны и использования трансграничных водных объектов в современном мире. Только совместные квалифицированные действия способны привести к приемлемым решениям как в части эффективного и экологически рационального водопользования, так и в области международной политики [3]. Существенным стимулятором развития научно-практической деятельности в сфере водохозяйственных проблем стали множественные примеры ухудшения санитарно-экологического состояния природных и искусственных водоемов, а также возрастающее число проектов территориального перераспределения речного стока, затрагивающих интересы нескольких суверенных государств. Официальные формулировки сводились по-существу к следующим позициям, направленным на сохранение и охрану окружающей среды: существование и угроза отрицательных последствий в краткосрочной или долгосрочной перспективе изменений состояния трансграничных водотоков и международных озер для окружающей среды, экономики и благосостояния стран - членов Европейской экономической комиссии (ЕЭК); необходимость укрепления национальных и международных мер по предотвращению, ограничению и сокращению выбросов опасных веществ в водную среду и по снижению эвтрофикации и подкисления; предотвращение загрязнения морской среды, особенно в прибрежных морских районах, из источников, расположенных на суше; предотвращения, ограничения и сокращения трансграничного загрязнения, включая аварийные загрязнения трансграничных внутренних вод; создание эффективного системного управления водными ресурсами.

Конвенция опирается на соответствующие положения и принципы Декларации Стокгольмской конференции по проблемам окружающей человека среды, Заключительного акта Совещания по безопасности и сотрудничеству в Европе (СБСЕ), Итоговых документов Мадридской и Венской встреч представителей государств - участников СБСЕ и Региональной стратегии охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов в странах - членах ЕЭК на период до 2000 года, Хартии рационального использования подземных вод ЕЭК; Кодекса поведения при аварийном загрязнении трансграничных внутренних вод и других международных форумов.

В качестве инструмента сотрудничества принимается разработка соглашений между прибрежными странами, граничащими с одними и теми же водами, особенно в тех случаях, когда такие соглашения пока еще не достигнуты.

В соответствии с планом работ, принятым в марте 2000 года в Гааге сторонами конвенции, 4...6 декабря 2002 года в Екатеринбурге прошел Международный семинар "Межгосударственное распределение водных

ресурсов международных рек". Семинар был организован Российским НИИ комплексного использования и охраны водных ресурсов по поручению МПР России. Тематика семинара касалась выработки рекомендаций по межгосударственному распределению водных ресурсов трансграничных водотоков и их рациональному использованию, как подчеркивалось с «учетом качественных и количественных аспектов».

В плане работы на ближайшие годы, принятым на встрече в Екатеринбурге, Российская Федерация как Возглавляющая Сторона приняла на себя обязательства по выполнению одного из важнейших пунктов плана: "Межгосударственное распределение и рациональное использование водных ресурсов трансграничных рек в районах, испытывающих дефицит воды". В рамках этих обязательств разработан проект «Рекомендаций по вопросам межгосударственного распределения водных ресурсов трансграничных водотоков и их рационального использования с учетом аспекта качества вод. Проект Рекомендаций содержит нормативно-правовые, административные и экономические аспекты трансграничного водопользования в условиях дефицита водных ресурсов и под воздействием других неблагоприятных социально-экономических факторов. Декларативная часть Рекомендаций выделяет четыре основных позиции, которые имеет смысл прокомментировать (курсив) с целью совершенствования модели сотрудничества в рассматриваемой области общественных отношений:

•**охрана экосистем:** обеспечение целостности экосистем путем устойчивого управления водными ресурсами – *понятия «целостность экосистемы» и ее «устойчивое управление» не имеют достаточно четкого толкования даже в рамках внутреннего водопользования, при переходе к трансграничным водным объектам тем более необходимо их конкретизировать в максимально простой форме, приспособленной к переводу, исключая неоднозначное понимание;*

•**совместное использование водных ресурсов:** содействие развитию мирного сотрудничества и получению максимально возможного синергетического эффекта от различных форм использования водных ресурсов на всех уровнях в рамках соответствующих государств (в случае трансграничных водных ресурсов – и на международном уровне) на основе устойчивого управления речными бассейнами или иных эффективных подходов – *неясно, что означают иные эффективные подходы, когда непонятен даже исходный;*

•**определение ценности водных ресурсов:** управление ими на основе такого подхода, который отражает их экономическую, социальную, экологическую и культурную ценность при всех формах их использования, наряду с переходом к политике ценообразования, которая учитывает стоимость предоставления водных ресурсов. Этот подход должен также принимать во внимание задачи обеспечения равноправия и удовлетворения потребностей бедных и уязвимых слоев населения – *о каких водных ресурсах идет речь? применительно к речному стоку однозначными являются понятия естественного стока, бытового стока, зарегулированного и т.д.. Такой набор позволяет установить*

*единое для всех транс субъектов понимание располагаемых ресурсов, но пока это не сделано;*

**•разумное совместное управление водными ресурсами:** обеспечение эффективного хозяйственного управления с участием общественности и с учетом интересов всех заинтересованных сторон—*если под «разумным» подразумевается альтернатива безрассудству, то возражений нет.*

Одним из практических результатов совместной встречи явилась форма международных соглашений, главного документа, призванного определять все нюансы использования водных ресурсов для данного конкретного объекта. Структура документа представляется продуманной и достаточно объективной, поскольку охватывает наиболее существенные аспекты совместного водопользования: цели и задачи соглашения; границы территории в зоне действия соглашения; предмет соглашения и обязательства сторон в части водоохранной и водохозяйственной деятельности на водных объектах бассейна; основные направления сотрудничества; организационно-правовые вопросы и механизм реализации.

Остановимся более подробно на статье 5 «*Основные направления сотрудничества*», в котором указываются «взаимные обязательства сторон по ведению мониторинга в граничных створах; долгосрочные и краткосрочные целевые показатели состояния водного объекта; не нарушаемый (экологический) расход в граничном створе; объем и режим транзитного стока; режим пропуска половодья и паводка; режим эксплуатации бассейновых водохранилищ; могут приводиться согласованные лимиты водопотребления и предельно допустимых вредных воздействий на водные объекты бассейна и пр.». Целевые показатели конвенции устанавливаются в приложении III конвенции «руководящие принципы разработки целевых показателей и критериев качества воды» на основе применения методов экологической классификации и химических индексов загрязнения, предельных норм содержания загрязнителей в сбросах. Собственно цели заключаются в поддержании и улучшении качества воды; сокращении степени антропогенного воздействия, учитывают режим требований к воде в зависимости от характера использования и отраслевой специфики, экологических особенностей особо охраняемых вод и окружающей их среды (например, озер и запасов подземных вод). Критерии количественных целевых показателей в части объема и режима водных ресурсов по существу не регламентируются, вероятно, в предположении уникальности каждого конкретного водного объекта.

Существенным моментом в любой технологии, в особенности, в области водных отношений является принятая терминология. Трансграничные водные объекты, тракуются Российским водным кодексом как «поверхностные и подземные водные объекты, которые обозначают, пересекают границу между двумя или более иностранными государствами, или по которым пролегает Государственная граница Российской Федерации, являются трансграничными (пограничными) водными объектами». Несмотря на очевидную общность объектов, подпадающих под цитируемое определение, методические подходы в

случае водотоков, пересекающих государственные границы и тех, которые практически очерчивают эти границы, различаются. Поэтому целесообразно сохранение параллельных понятий – трансграничные и пограничные воды, бассейны, створы.

Таким образом, политические и юридические аспекты проблемы совместного использования водных ресурсов трансграничных водных объектов, рассмотрены на многочисленных форумах, посвященных данной теме и прописаны в соответствующих документах. За пределами рассмотрения, как правило, остаются конкретные вопросы водопользования, методология оценки количества и качества располагаемых водных ресурсов. Общие формулировки, безусловно, нужны, но, по-видимому, необходим и анализ конкретных ситуаций, которые должны быть методически разрешены не только для непосредственно заинтересованных сторон, но и для внешних резидентов той же Европейской комиссии с целью создания реестра прецедентов по тем или иным проблемам вододеления и совместного управления водными потоками. Кроме того, необходимо унифицировать критерии оценки количества и качества вод, которые далеко не всегда совпадают в разных странах и частях света.

### **Трансграничные бассейны Российской Федерации**

Россия граничит с 14-ю государствами, при этом 7141 км границы проходит по рекам (Амур, Аргунь, Уссури, Самур, Неман, Туманная), 475 км - по озерам (порядка 30 озер, наиболее крупные - Псковско-Чудское и Ханка), общее количество трансграничных водных объектов более тысячи. Трансграничные водные объекты интенсивно используются для водоснабжения, судоходства, энергетики, орошения, рыбного хозяйства.

Основными проблемами в бассейнах трансграничных водных объектов являются: загрязнение вод; дефицит водных ресурсов в отдельные годы и периоды года; наводнения; слабо развитая сеть пунктов мониторинга и недостаток информации.

Бассейны трансграничных рек, обычно густонаселенные, с развитым промышленным и сельскохозяйственным производством. Они подвержены значительной антропогенной нагрузке, как и большинство водных бассейнов России. Характерные трансграничные бассейны, где водохозяйственные проблемы тесно переплетаются с проблемой территориального вододеления и совместного управления водными ресурсами рассмотрены ниже.

Трансграничные бассейны России, сопряженные с наибольшей водохозяйственной напряженностью – это Амур, Иртыш с притоками, Самур, Селенга [6]. Специфика и масштабность проблем в бассейне Амура требует отдельного рассмотрения, выходящего за рамки нашего исследования. В других названных бассейнах нашими партнерами выступают Казахстан, КНР, Азербайджан и Монголия.

Международные отношения развиваются достаточно активно. В ноябре 2008 года Россия и Китай подписали меморандум о создании механизма взаимного

оповещения и обмена информацией при трансграничных чрезвычайных ситуациях экологического характера. В январе 2008 года между РФ и КНР подписано межправительственное Соглашение о рациональном использовании и охране трансграничных вод. Следует отметить, что многие вопросы трансграничного сотрудничества с КНР завязаны с Казахстаном. На Форуме межрегионального сотрудничества в Оренбурге Н.Назарбаев в беседе Президентом России Д.А.Медведевым затронул вопрос сохранения и использования трансграничных рек Иртыш, Тобол и Урал. При этом Президент Казахстана отметил необходимость трехсторонних переговоров, ссылаясь на результаты своих переговоров с правительством КНР. Как утверждает Н.Назарбаев, сторона КНР заверила его в том, что они «никогда не нанесут ущерба ни Казахстану, ни России».

Тем не менее, несмотря на политические успехи и заверения политических лидеров, водохозяйственная обстановка на трансграничных объектах далека от идеальной. Казахстан обладает суммарными водными ресурсами порядка 100 км<sup>3</sup>/год, однако распределение их крайне неравномерно [1]. Восточный Казахстан, при всех своих проблемах, наиболее обеспечен водой. В Западном Казахстане удельная «водоемкость» на несколько порядков ниже.

Источниками водоснабжения в бассейне верхнего Иртыша являются Бухтарминское водохранилище, озеро Зайсан и реки, впадающие в озеро Балхаш, в том числе, р.Или [8]. Много пересохших рек, и боковая приточность от Семипалатинска до Омска практически отсутствует [2]. Как отмечает пресса, это сильно сказывается на качестве питьевой воды.

Еще более неблагоприятная обстановка с водными ресурсами в пограничном Синьцзянь-Уйгурском (бассейн р. Или) автономном районе Китая [7]. Опустыненные районы оказывают негативное влияние на экономическое развитие региона. Значительный рост населения в сочетании с требованиями нефтяной промышленности планируется обеспечивать за счет переброски стока из Черного Иртыша 450 млн м<sup>3</sup> каналом длиной 300 км. Объем переброски в перспективе будет доведен до 2 км<sup>3</sup>. Аналогичный проект связан с переброской на р. Или, для обеспечения водой засушливой территории в западной части Таримской котловины. Готовность КНР реализовать намеченные планы не вызывает особых сомнений. Стимулом для переговорного процесса и сотрудничества является тот факт, что Китай также находится в зависимости от водных ресурсов верховий Черного Иртыша и р.Или. Проведен совместный осмотр специалистами канала Иртыш - Карамай, ведется обмен данными по другим водным объектам. Неизбежное сокращение притока Иртыша на территорию Казахстана на десятки процентов в планируемой перспективе грозит разрушением водохозяйственного комплекса региона (рис.6.1), затрагивающий интересы России.

### **Водные ресурсы Иртыша в пределах КНР**

Принимая во внимание решающее значение речного притока на территорию Казахстана, в настоящей работе сделана попытка объективной оценки

изменения водного режима китайской части Иртыша (Черный Иртыш) в связи с планируемыми мероприятиями по использованию водных ресурсов, в том числе изъятию воды Иртыша для переброски в осваиваемые районы. Поскольку подобные оценки не производились со времени разработки Схемы комплексного использования водных ресурсов Оби и Иртыша (1981 год), представляемый материал может представлять интерес для специалистов, связанных с проблемами бассейна.



**Условные обозначения:**

- - - граница КНР-Казахстан, РФ-Казахстан

БВ – Бухтарминское водохранилище многолетнего регулирования, полезным объемом 31 км<sup>3</sup>, энергетическая мощность 750 МВт, выработка электроэнергии 2,6 млрд. кВт\*час, осуществляет покрытие пиковых нагрузок в ЭС Казахстана

ШВ – Шульбинское водохранилище сезонного регулирования одноименного комплексного гидроузла на Иртыше, полезным объемом 1,5 км<sup>3</sup>, энергетическая мощность 702 МВт, выработка электроэнергии 1,66 млрд.кВт\*час.

СВ, ВВ, ПВ – Сергеевское, Вячеславское и Петропавловское водохранилища на р.Ишим.

ВТВ, КВ – Верхнетобольское и Каратомарское водохранилища многолетнего регулирования в Кустанайской области на Тоболе

Рис.6.1.Схема бассейна р. Иртыш.

Протяженность Черного Иртыша до границы с Казахстаном составляет 610 км при площади бассейна 55,2 тыс.км<sup>2</sup> в пределах КНР. Питание реки здесь смешанное: снеговое, ледниковое, грунтовое и меньше дождевое. Правые притоки Иртыша, начинающиеся со склонов Южного Алтая, многоводны, левые притоки малочисленны, менее многоводны и в период межени пересыхают.

Сток Черного Иртыша измеряется у населенного пункта Буран на территории Казахстана в 23 км от границы с Китаем. В 40-е - 50-е годы XX века естественный сток оценивался в объеме 9,8 км<sup>3</sup>/год. По данным пятилетней давности средний приток на территорию Казахстана составлял 7,8 км<sup>3</sup>/год. А по опубликованным данным официальный забор иртышской воды Китаем не должен превышать 1-1,5 км<sup>3</sup>/год. Характер водного режима Иртыша весьма разнообразен. Весенне-летнее половодье формируется за счет таяния снега и



ледников в горах. В верхнем течении подъем уровня воды начинается в апреле, к середине - концу мая формируется волна половодья, спад длится до октября, сток реки зарегулирован. Ближе к границам Республики Казахстан подъем уровня воды начинается в конце мая, к середине июня уровень воды достигает максимального значения, спад длится до сентября. Зимняя межень устойчивая, средней продолжительностью 130-150 дней. Режим реки в зимний период зависит от режима попусков гидроузлов верхнего течения [3]. Данные по стоку Черного Иртыша за последние 60 лет свидетельствуют о том, что водные запасы реки неуклонно сокращаются. Наиболее интенсивно этот процесс пошел в последние два десятилетия. Если в 90-е годы прошлого века Китай отбирал на собственные нужды менее 1 км<sup>3</sup> Иртышской воды, то в близкой перспективе эти объемы могут превысить 3 км<sup>3</sup>/год. Объемы изъятия обусловлены интенсивным развитием экономики на севере Китая, ростом населения, нуждающегося в доступном гарантированном водоснабжении, освоением новых пахотных земель. Кроме того, как известно, в Синьцзян-Уйгурском автономном районе ведется активная добыча нефти и газа на месторождении Карамай, что требует дополнительных и немалых расходов воды [4].

С целью прогноза изменения водности на границе КНР и Казахстана вследствие развития водопотребления и реализации проектов территориального перераспределения стока выполнены специальные исследования. Некоторые результаты исследований приведены в дальнейшем изложении (диссертационные исследования Романовой Ю.А.).

На участке реки от истока до границы с Казахстаном было намечено 10 расчетных створов в соответствии с принятой схемой водохозяйственного районирования (рис.6.2). Учтено размещение водопотребителей по территории бассейна, устья крупных притоков, точки сосредоточения водозаборов и сбросов, створы изъятия стока для переброски или принимающие дотацию извне, существующие и проектирующие гидроузлы. Очевидно, параметры притока к пограничному створу обусловлены непростой схемой водопользования, которая обеспечивается большим количеством локальных водохранилищ ирригационного и хозяйственно-питьевого назначения.

Для учета хозяйственной деятельности было определено суммарное водопотребление на водохозяйственных участках между створами в прогнозируемой перспективе по осредненному сценарию развития ситуации.

Расчетные значения основных гидрологических характеристик, полученные в ходе анализа ситуации и гидролого-водохозяйственных расчетов, приведены в табл. 6.1.

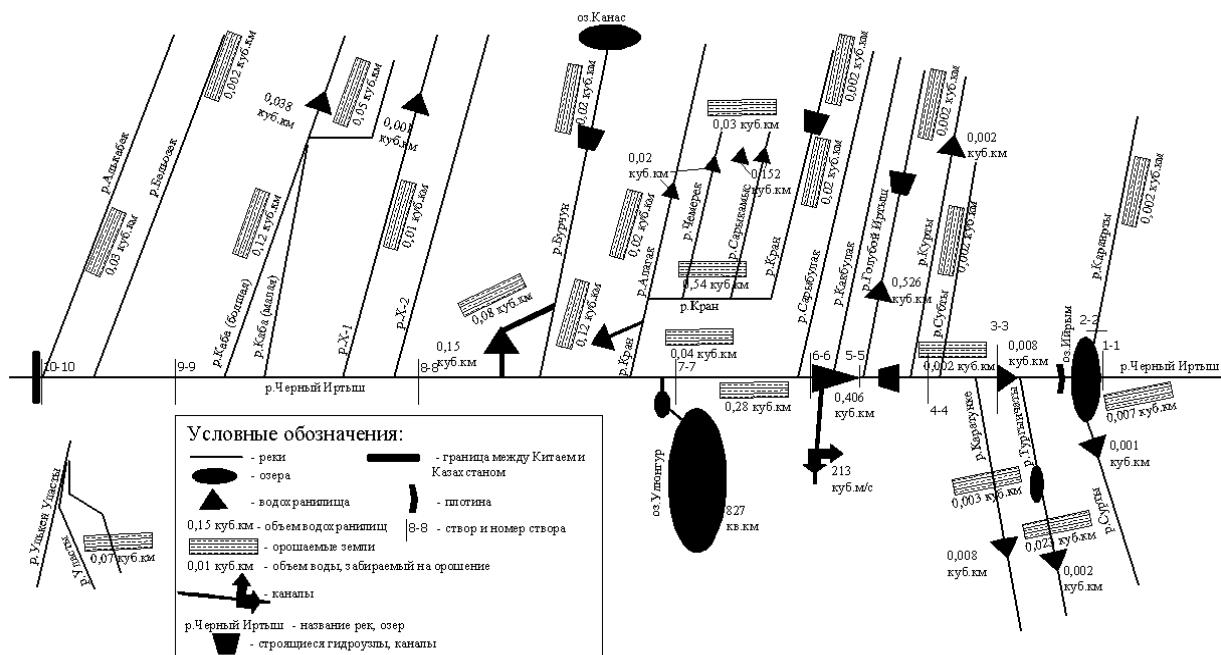


Рис. 6.2. Водохозяйственный комплекс Черного Иртыша

Таблица 6.1

Оценка изменения стока с учетом водопотребления

Номер створа	$S_{\text{ест}}, \text{ км}^3$	Водопотребление млн.м <sup>3</sup>	$S_{\text{пр}}, \text{ млрд. м}^3$	Обеспеченные объемы стока $S_p$ , млн м <sup>3</sup>					
				10%	25%	50%	75%	90%	95%
1	0,37	35	0,34	492	404	321	250	196	170
2	0,51	43	0,47	680	560	449	352	279	242
3	1,04	74	0,97	1379	1150	927	743	597	524
4	1,29	481	0,81	1144	959	783	628	509	447
5	2,59	485	2,11	2918	2473	2046	1665	1370	1217
6	2,80	1895	0,91	1254	1063	880	716	589	523
7	4,16	2807	1,35	1856	1583	1316	1081	897	800
8	7,07	3055	4,02	5452	4677	3915	3236	2706	2425

Как видно из табл. 6.1. водопотребление по длине Черного Иртыша распределено неравномерно, некоторые участки сильно загружены. Водохранилища локальных водохозяйственных систем осуществляют сезонное регулирование стока, гарантируя нормальную работу водозаборных сооружений. Таким образом, в современном состоянии Иртыш приносит свои воды на территорию Республики Казахстан в объеме 6,34 км<sup>3</sup>/год, теряя выше границы треть стока.

Планы КНР на ближайшую и отдаленную перспективу можно прогнозировать по факту реализации проектов территориального перераспределения стока. Строительство каналов по переброске стока Черного Иртыша в Карамай и Урумчи завершено. В районе Урумчи подготовлены площади орошения на 2 млн га. Технические возможности построенных каналов при максимальной загрузке способны обеспечить переброску воды в объеме 4,24 км<sup>3</sup> [7].

Строительство крупных гидроузлов на Черном Иртыше и на его притоках создает критическую ситуацию с точки зрения поступления стока на территорию Казахстана [5, 6]. В то же время, забрать такие объемы воды Китаю должен идти на многолетнее регулирование стока, сопряженное с дорогостоящими сооружениями и затоплением земель. Одновременно в Казахстане необходимы ответные меры для перерегулирования стока в относительно приемлемый режим, чтобы компенсировать масштабное воздействие. Что в такой обстановке остается делать России-вопрос немаловажный.

Диаграмма роста водопотребления на орошение (рис. 6.3) свидетельствует о том, что потребление на орошение стабилизировалось и в дальнейшем, возможно, будет сокращаться за счет применения прогрессивных способов полива с использованием насосного оборудования. Основным потребителем стока Черного Иртыша на данный момент является, как уже упоминалось выше, переброска стока реки в южные районы САУР, которая может достичь 4,24 км<sup>3</sup> в год, что полностью противоречит Хельсинским соглашениям, устанавливающим максимальный отбор в объеме 12%.

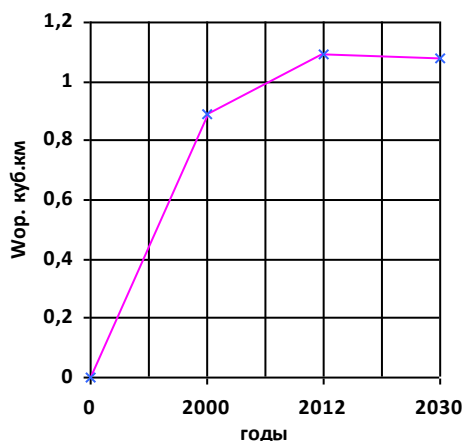


Рис. 6.3. Динамика роста водопотребления орошения

Пока китайская сторона обладает свободным ресурсом воды в объеме 4,54 км<sup>3</sup>. Теоретически в обозримой перспективе Китай способен забрать из Черного Иртыша почти весь среднемноголетний сток, оставив только санитарные попуски, что неминуемо приведет к серьезным экологическим проблемам, к которым и Казахстан, и Россия должны быть технически подготовлены, ориентируясь на наиболее неблагоприятный сценарий.

Среднемноголетний естественный сток Иртыша на границе с Казахстаном составляет примерно 28 км<sup>3</sup> в год. С учетом безвозвратного водопотребления в Казахстане вместе с потерями из БВ и ШВ, а также 0,5 км<sup>3</sup> в КНР, средний приток оценивался примерно в 24 км<sup>3</sup> в год. Принимая во внимание прогнозируемое увеличение изъятия в КНР от 2 до 4,5 км<sup>3</sup>/год в совокупности с освоением ирригационного фонда Казахстана, приток на территорию РФ может уменьшиться до 19 км<sup>3</sup> (то есть на 30% естественных ресурсов) в среднем за многолетие. В среднемаловодных условиях (год 75% -й обеспеченности) снижение составит уже 40%.

Россия принимает транзитный сток, следовательно, опасен сам факт истощения водных ресурсов реки и как неизбежное следствие – ухудшение качества воды и без того «неблагополучного» Иртыша (класс качества реки 4А – грязная и очень грязная). Далее, сохранение энергетической выработки и гарантированной мощности при значительном сокращении притока возможно только за счет сокращения периода навигации и (или) отказа от санитарно-экологического обводнительного попуска на пойму Иртыша (как на Павлодарской пойме в Казахстане, так и на Омской пойме в России). Транспортные попуски, обеспечивающие транзитное судоходство до Омска и ниже до Тобольска, составляют примерно 600 м<sup>3</sup>/с, то есть около 9,0 км<sup>3</sup>. Для обеспечения обводнительного попуска в размере около 3500 м<sup>3</sup>/с в течение 10-15 дней требуется еще примерно 4 км<sup>3</sup> для условно оптимального обводнения поймы. Задача обеспечения попуска возлагалась на первую очередь Шульбинской ГЭС, энергетическая составляющая была вторичной. Представляет интерес приблизительный объем суммарной гарантированной водоотдачи каскада в обозримой перспективе. С учетом вышеизложенного отдача она складывается следующим образом (табл.6.2).

Таблица 6.2

Номер позиции	Составляющая водопотребления	Объемы затрат стока, км <sup>3</sup>
1	Отбор на территории КНР	2-4,5
2	Транспортно-энергетические попуски	16,1
3	Канал Иртыш-Караганда	1,5-2,0
4	Попуск на пойму	4,5
5	Водопотребление Казахстана	2-4,5
6	Потери из водохранилищ	2,00
Всего	Затраты стока в бассейне	<b>28,1-33,6</b>

Очевидно, даже мягкий сценарий превышает среднемноголетние ресурсы анализируемой зоны бассейна Иртыша. Поскольку состояние водохозяйственного комплекса Иртыша находится в сильной зависимости от водозабора в КНР и темпов развития орошения в Казахстане трехсторонние соглашения представляются единственно конструктивным мероприятием в сложившихся обстоятельствах.

Очень важным является также налаживание системы мониторинга для подробной инвентаризации поверхностных и подземных вод. Не менее важно для России, чтобы Казахстан направлял средства на совершенствование технологий очистки воды, поскольку территория России является водоприемником сточных вод не только по Иртышу, но и по притокам, Тоболу и Ишиму. Водохранилища многолетнего регулирования, расположенные на этих реках, практически полностью контролируют ресурсы верхнего течения, пропуская на нашу территорию лишь попуски с практически необоснованным режимом.

Два водохранилища многолетнего регулирования стока на территории Кустанайской области Казахстана на верхнем Тоболе (рис.6.4) контролируют практически весь сток верхнего Тобола, пропуская в Россию только обусловленный соглашением санитарный попуск. Попуск в размере минимального санитарного транзита не обеспечивает приемлемого качества воды и создает напряженность водохозяйственного баланса в Курганской области. Согласования объема транзитного попуска недостаточно, необходимо согласование режима регулирования стока и качества транзитного стока для различных по водности лет и сезонов года. При этом качество воды напрямую связано с объемами гарантированных попусков, поскольку даже очищенные сточные воды требуют не менее 10–кратного разбавления.

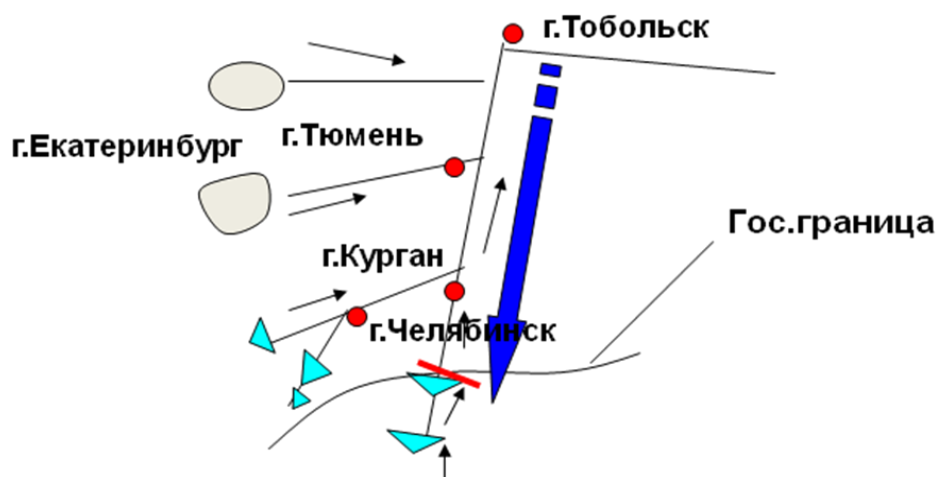


Рис. 6.4. Укрупненная схема бассейна реки Тобол. Серым цветом обозначены локальные водохозяйственные комплексы в верховьях Туры и Тавды. Синей стрелкой показано направление канала переброски части стока сибирских рек

### Проблемы р. Самура

Река Самур протекает практически по границе двух независимых государств РФ и Азербайджана, ранее являвшихся республиками СССР (рис.6.5). Даже во времена СССР проблема вододеления и совместного использования стока стояла достаточно остро, что усугублялось данными протокола 1967 года, задающего соотношение 1:3 в пользу Азербайджана. Напряженность была связана с большими объемами водоподачи Самурской воды на Апшеронский полуостров для водоснабжения городов Баку и Сумгаит, а также для орошения земель в долинах малых рек бассейна. Схема комплексного использования и охраны водных ресурсов 1982 года выдвигала в качестве гаранта водообеспечения региона Ахтынское водохранилище непосредственно на р Самур.

Требования к стоку Самура предъявляются как со стороны субъектов вододеления, так и природным комплексом, который представлен Самурским лесом с уникальным разнообразием фауны и флоры (рис. 3.3).

Строительство Самурского гидроузла в свое время привело к резкому изменению гидравлического режима дельты. Как следствие нарушился баланс поверхностного и подземного притока, возникла проблема исчезновения объекта, занесенного в Красную Книгу более, чем по 50 видам.

Проблема вододеления очень остро стоит в Республике Дагестан. В Южном Дагестане в последние годы наблюдается значительный дефицит как питьевой воды, так и воды для потребностей сельского хозяйства. В то же время здесь протекает одна из крупнейших рек Северного Кавказа. И связано это с тем, что при вододелении ущемлялись интересы Дагестана. В период разработки бассейновой схемы в 1981 году протокол 1967 года являлся директивой, сегодня ситуация изменилась и все упирается в отсутствие обоснованного соглашения о вододелении. К сожалению, вопрос о совместном управлении водными ресурсами не стоит. Отказ от строительства Ахтынского

водохранилища, рекомендуемого схемой КИОВР в 1981, представляется ошибочным с позиции региональных водных проблем.

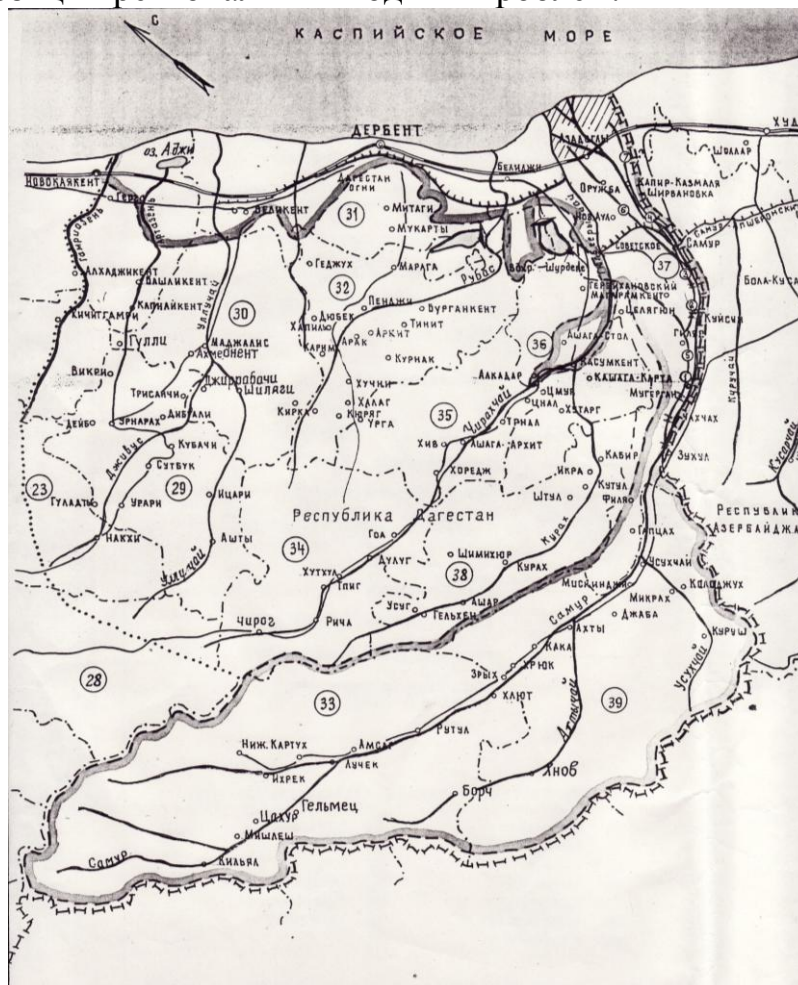


Рис. 6.5. Бассейн р. Самур.

В результате межправительственных соглашений в области рационального использования и охраны водных ресурсов р. Самур Россией было принято неизбежное решение о создании собственной инфраструктуры водозаборов. Должным образом не сформулированы и не согласованы принципы управления водными ресурсами, хотя Азербайджан не возражает против паритетного водodelения.

Позитивным сдвигом можно считать согласование участков границы практически на всем протяжении. Введен в эксплуатацию водозаборный узел у селения КуйсунМагарамкентского района, что дает реальную возможность улучшить водообеспечение Южного Дагестана.

Технические проблемы (работа шахтного водозабора на водodelителе, реконструкция СДК и т.д.) тесно переплетаются с экологическими и водохозяйственными. Основная водохозяйственная проблема заключается в том, что к водным ресурсам предъявляются требования комплекса водопотребителей в условиях полного отсутствия сооружений для регулирования стока.

Для анализа вопроса необходимы специальные водохозяйственные расчеты: сколько может быть выделено при разных подходах – паритетном, «протокольном», промежуточном. Частично подобные расчеты были выполнены в рамках проекта гидроузла Шурдере, однако, здесь требуется «Схемный» подход для уточнения составляющих водохозяйственного комплекса речного бассейна. Запроса по этому поводу нет ни от одной из заинтересованных сторон, поскольку интересы дельты Самура фактически никем не представлены. В связи с этим объем и режим природоохранного попуска в дельту Самура до сих пор не имеет достаточного обоснования.

Переговорный процесс может длиться долго, но это не должно сдерживать развитие орошения в Дагестане. Проект локального регулирования стока Самура в наливном водохранилище Шурдере (рис.4.6) представляется эффективным средством. Строительство данной водохозяйственной системы не противоречит международным нормам и не исключает в будущем строительства центрального регулятора стока.

### **Бассейн р.Селенги**

Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Монголии по охране и использованию трансграничных вод было принято в 2005 году. Селенга является одним из самых крупных притоков озера Байкал, формируя пресную составляющую баланса. Не затрагивая вопросов экологии этого уникального объекта, коснемся трансграничных проблем.

В бассейне имеется два трансграничных створа, ситуация в которых связана в перспективе с возможным регулированием стока (рис. 6.6). Вероятность создания водохранилищ на Селенге обусловлена изъятием части ее стока для интересов развивающейся горнодобывающей промышленности и обводнения песков Гоби. Для смягчения последствий перераспределения стока монгольские ученые предлагают использовать «излишки воды», то есть объемы воды вызывающие разлив Селенги. Сомнительно, чтобы излишками можно было решить водохозяйственные проблемы, не прибегая к глубокому регулированию стока.

В складывающейся ситуации целесообразно исследовать возможные сценарии ее развития: объемы и режим отбора (по имеющейся информации о бизнес вложениях монгольский, китайский, канадский, американский, японский и российской сторон), степень регулирования стока, влияние водоотборов на сток в озеро Байкал.

Аналогичным должен быть подход и в других рассмотренных нами объектах. Россия, как великая страна должна работать на опережение, а не плестись в хвосте событий.





**Рис. 6.6.** Схема бассейна р.Селенги

### **Заключение**

Трансграничные бассейны России-одна из наиболее актуальных проблем современного водного хозяйства страны. При решении политических задач и выполнении своих обязательств в рамках международного сотрудничества мы не должны забывать о существовании проблем, решаемых на конкретных водных объектах. Научные исследования экологического характера, разработка гидрологических и водохозяйственных имитационных моделей, прогноз развития ситуации с учетом планируемых мероприятий как собственных, так и других стран в части регулирования и территориального перераспределения водных ресурсов должно быть обеспечено бюджетным финансированием. В противном случае, если мы будем следовать за событиями, а не прогнозировать их, потери во всех сферах будут большими и обидными.

### **Библиографический список**

- 1.Главный сайт Восточного Казахстана [Электронный ресурс]:Мы можем потерять Иртыш навсегда – Статья. Республика Казахстан: Altaynews.kz, 2012 Web:<http://altaynews.kz/2573-poteryat-irtysh.html>
- 2.Гидрологический ежегодник 1948-1980 гг. Т. 6. Бассейн Карского моря (западная часть) Выпуск 4-9.– Л.:Гидрометеоздат, 1950-1985.
3. Козлов Д.В., Раткович Л.Д. Водохозяйственные аспекты трансграничного водораздела и совместного управления водными ресурсами Материалы второй международной конференции «Управление трансграничными водными ресурсами» М.: 2010, 185 с. (С.165-176)
4. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озёр. Хельсинки, 17 марта 1992 года. Конвенция вступила в силу для России 6.10.1996. Источник:<http://www.bellona.ru/Casefiles/helsinki92> Добавлено 1.05.2008
5. Раткович Л.Д., Неезжалов В.А. Вопросы методики водохозяйственного анализа в трансграничных створах. Природообустройство,2010-№ 1 С.64-72.

6. Раткович Л.Д. Дискуссионные вопросы в сфере водохозяйственного проектирования.// Вода-Magazine, 2008 № 12 (16) С. 40-44.
7. Раткович Л.Д., Романова Ю.А. Схема водохозяйственного анализа верхнего и среднего Иртыша.//Природообустройство2012 № 4 С.57-61.
- 8.Электронный журнал // Аква Эксперт [Электронный ресурс]: Река «Иртыш» – Статья. Москва: aquaexpert.ru, 2012 Web: <http://www.aquaexpert.ru/enc/reservoir/irtish/>

## Глава 7.

### ОБОСНОВАНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕГУЛИРОВАНИЮ КАЧЕСТВА ВОД И СОХРАНЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Обоснование мероприятий по управлению качеством вод предлагается проводить с помощью метода «Соответствия параметров», предложенного Шабановым В.В. [17]. Метод основан на взаимозависимости гидрохимических, гидробиологических и гидрологических параметров водных объектов. Это позволяет связать показатели качества воды и состояния водного объекта (табл.7.1) с его объемами воды (например, объемом речного стока) [18]. Для оценки качества воды предлагается использовать коэффициент предельной загрязнённости (Кпз), представляющий собой осредненную кратность сверх нормативного превышения показателей, используемых для оценки загрязненности воды. Онполучен на основе решения уравнения гидрохимического баланса и по виду соответствует широко используемому в отечественной и зарубежной практике индексу загрязнения воды (ИЗВ). Последнее дает возможность применения методики оценки качества воды по показателю ИЗВ при использовании коэффициента предельной загрязненности. Данный показатель выражается в безразмерном виде (Кпз) и в размерности объемов воды (Wпз)

$$W_{пз} = W_{ф} \times K_{пз} \quad (1)$$

$$K_{пз} = \sum (C_i / ПДК_i) / N - 1, \quad (2)$$

где  $i$  – номер загрязняющего воду вещества;  $W_{ф}$  – объем фактического речного стока (с учетом использования воды), для случая оценки качества воды в водном объекте, или объем сточных вод при оценке их загрязненности;  $K_{пз}$  – коэффициент предельной загрязненности воды  $i$ -ми веществами (соответственно, водного объекта или сточных вод),  $N$  – количество  $i$ -х веществ, используемых для оценки показателя.

Предложенный метод позволяет делать оценку качества воды в многолетнем разрезе для лет разной обеспеченности ( $P\%$ ) по стоку воды в реке. В этом

случае определяется значение показателя предельной загрязненности в годы разной водности (3).

$$K^{P\%}_{пз} = ((K_{пз} + 1) \times W_{ф} / W_{P\%}) - A, \quad (3)$$

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  $P\%$ ;  $A$  – коэффициент, учитывающий фоновое качество воды в естественных условиях. Если в естественных условиях качество воды соответствует классу «чистая» то  $A=1$ , для условий «умеренно загрязненной» воды  $A=0$ .

С помощью табл. 7.1 по величине  $K^{P\%}_{пз}$  определяется класс качества воды. Объемы стока реки удобно выражать в безразмерном виде, через модульные коэффициенты стока ( $K_p$ ), в этом случае формула (3) имеет вид:

$$K^{P\%}_{пз} = ((K_{пз} + 1) \times K^{\phi}_p / K^{P\%}_p) - A, \quad (4)$$

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

Обоснованием водоохранных мероприятий является не соответствие класса качества воды в водном объекте приемлемому уровню. В качестве последнего следует принимать уровень соответствующий классу «чистой» воды, хотя допустим и «умеренно загрязненный» уровень. Выбор приемлемого уровня определяется природными и водохозяйственными условиями конкретного водного объекта. Природные условия задают естественный фон, к которому следует стремиться при проведении водоохранных мероприятий. Водохозяйственные условия определяются поэтапностью проведения водоохранных мероприятий для достижения планируемого уровня качества речной воды.

Таблица. 7.1

Связь показателей состояния водной экосистемы и качества воды.

Оценочный показатель	Класс качества воды					
	Очень чистая	Чистая	Умеренно загрязненная	Загрязненная	Грязная	Очень грязная
БПК <sub>5</sub> , мг О/л	0.5-1.0	1.1-1.9	2.0-2.9	3.0-3.9	4.0-10.0	>10
ИЗВ	≤0.2	0.2-1	1-2	2-4	4-6	>6
Кпз	≤-0.8	0.8...0	0...1	1...3	3...5	>5
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
Индекс Шеннона (H)	3.06-2.30	2.30-1.89	1.89-1.52	1.52-1.25		1.25-1.11
Трофность	Олиго-	мезотрофная		эвтрофная		Гипер-
Сапробность	ксено-	олиго-	α-мезо-сапробная	β-мезо-сапробная		Поли-
Зоны кризисности экосистемы	Обратимые изменения		Пороговая стадия	Стадия необратимых изменений		

Оценка экологической эффективности водоохранных мероприятий позволяет определить их достаточность и прогнозировать результат их осуществления. Требуемая эффективность ( $\mathcal{E}$ ,%) мероприятий определяется по формуле

$$\mathcal{E}=100 \times (K^{p\%}_{пз} - K^o_{пз}) / K^{p\%}_{пз}, \quad (5)$$

где  $K^o_{пз}$  – коэффициент предельной загрязненности учитывающий планируемые водоохранные мероприятия;  $K^{p\%}_{пз}$  – коэффициент предельной загрязненности без учета водоохранных мероприятий).

В качестве **примера** обоснования водоохранных мероприятий и оценки их эффективности рассмотрен устьевой створ реки Исеть (левый приток р.Тобол).

Таблица 7.2

Расчет коэффициента предельной загрязненности  $K_{пз}$  для условий 2005 года 14%-й обеспеченности.

Вещества	C, мг/л	ПДК	C/ПДК
O <sub>2</sub>	8,5	12	0,71
БПК <sub>5</sub>	3,26	3	1,09
NH <sub>4</sub>	0,364	0,5	0,73
NO <sub>2</sub>	0,016	0,08	0,2
NO <sub>3</sub>	0,346	9,1	0,04
Fe	0,63	0,3	<b>2,1</b>
Cu	0,004	0,001	<b>4</b>
Zn	0,086	0,01	<b>8,6</b>
Ni	0,006	0,01	0,6
Mn	0,178	0,01	<b>17,8</b>
Фенол	0,002	0,001	<b>2</b>
Нефть	0,089	0,05	<b>1,78</b>
СПАВ	0,02	0,5	0,04
<b>W=3372 млн.м<sup>3</sup>- Норма стока-2206 млн м<sup>3</sup></b>			<b>K<sub>пз</sub>=2.05</b>

По данным на 2001 год, основными загрязнителями являются марганец, цинк и медь (табл.7.2). Качество воды соответствует классу «загрязненная».

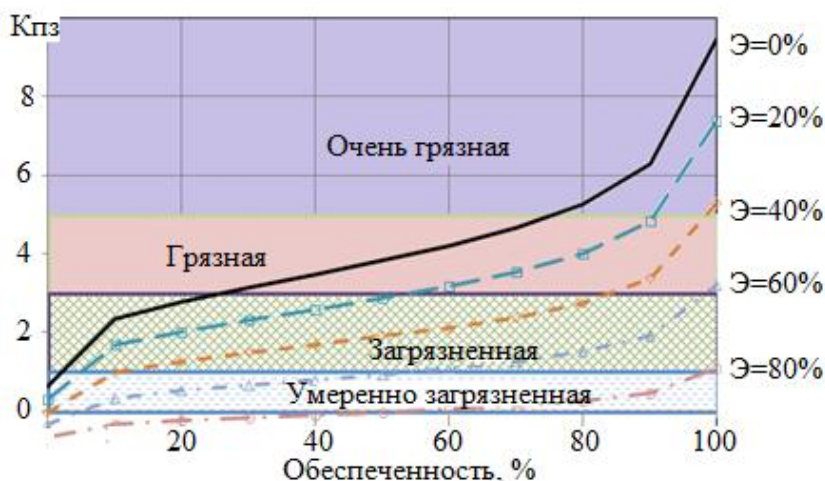


Рис. 7.1. Кривая обеспеченности показателя предельной загрязненности воды (Кпз) без учета водоохранных мероприятий ( $\mathcal{E}=0\%$ ) и с учетом разной эффективности мероприятий. Кривые построены по условиям 2001года.

Проведенные расчеты показывают (рис.7.1), что в многолетнем разрезе класс качества воды изменяется следующим образом ( $\mathcal{E}=0\%$ ):

- обеспеченность до 3%-качество воды соответствует классу «умеренно загрязненной»,
- обеспеченность от 3 до 25%-«загрязненная»,
- от 25 до 75%-«грязная»,
- выше 75%-«очень грязная».

Проведение водоохранных мероприятий с эффективностью  $\mathcal{E}=80\%$  позволяет, в год расчетной обеспеченности 95%, достичь приемлемого уровня качества воды, соответствующего классу «умеренно загрязненный»:

- при обеспеченностью до 48 %-«чистая»,
- с обеспеченностью от 48 до 99%-«умеренно загрязненная»,
- выше 99%-«загрязненная».

Таким образом, вероятность соответствия классу не хуже «умеренно загрязненной» воды составляет для условий  $\mathcal{E}=0\%$  и  $\mathcal{E}=80\%$ , соответственно: 3 и 91%.

Построение графика зависимости степени соответствия ( $\Delta P$ ) «умеренно загрязненному» классу качества воды (вероятность соответствия естественным условиям) от эффективности водоохранных мероприятий (рис.7.2) позволяет определить, какая эффективность необходима для вывода водного объекта на определенный уровень экологического состояния. Для условий р. Исеть уровень «удовлетворительного» состояния (степень соответствия не ниже 60%) достигается при проведении водоохранных мероприятий с эффективностью не менее 43% (табл.7.3). Достижение «хорошего» состояния (степень соответствия

не ниже 80%) достигается при проведении водоохранных мероприятий с эффективностью не менее 54 %.

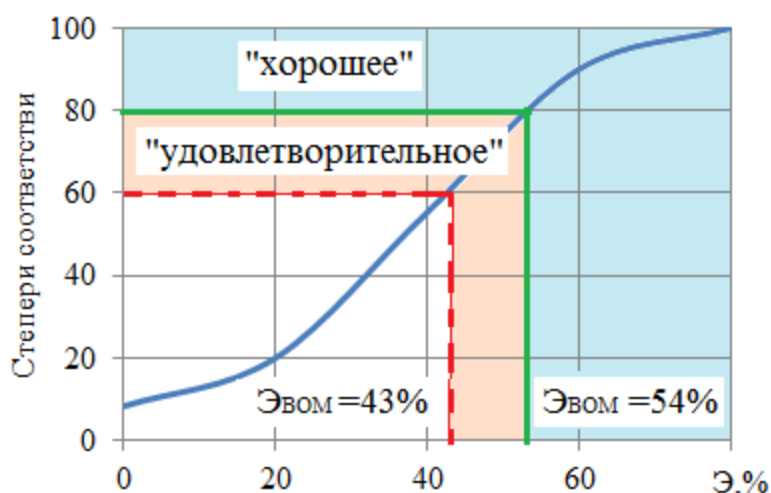


Рис. 7.2. Изменение степени соответствия классам качества «чистая»-«умеренно-загрязненная» в зависимости от эффективности водоохранных мероприятий (Э).

Таблица 7.3

Классификация состояний экосистемы по степени сохранности естественных условий (ΔР).

ΔР	<35%	35...60%	60...80%	>80%
Оценка состояния	Кризис	Неудовл.	Удовл.	Хорошее

Предлагаемый метод «Соответствия параметров» позволяет на основе простых соотношений связать показатели качества воды, состояния водного объекта и его гидрологические характеристики. Это позволяет:

- сократить количество необходимых для анализа и прогноза параметров;
- использовать хорошо известные и применяемые в инженерной практике гидрохимические и гидрологические показатели;
- упростить расчеты без потери их значимости и точности получаемых результатов.

При этом решаются вопросы:

1. оценки качества воды и экологического состояния водной экосистемы;
2. обоснование водоохранных мероприятий;

3. прогноз изменения состояния экосистемы, что используется при оценке планируемой на перспективу водоохранной деятельности и определении допустимых воздействий [11, 19];
4. определение эффективности водоохраных мероприятий, достаточной для создания в водном объекте условий заданного уровня экологического состояния и качества воды.

## Глава 8.

### МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ДОПУСТИМОГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

#### Основные положения

Обоснование водохозяйственных мероприятий связано с оценкой располагаемых ресурсов воды с учетом экологического фактора [5, 6-8]. Для речного стока располагаемые для использования ресурсы определяются как разность объема речного и экологического стока. Под экологическим стоком понимается часть естественного стока реки, обеспечивающая сохранение устойчивости водной экосистемы [15]. Данный сток не предназначен для целей водопотребления и должен оставаться в реке, позволяя ей выполнять свои природные функции, такие как:

- средообразующая - обеспечивается достаточное жизненное пространство для гидробиоты;
- транспортная - обеспечивается необходимый перенос вещества, энергии и информации.

Для определения величины экологического стока предлагается способ, учитывающий заданный уровень степени сохранности экосистемы (табл.7.3), который является целевым показателем, для достижения заданного уровня экологического состояния водных объектов, в отличие от существующих методов [7]. Оценка изменений, происходящих в водной системе, с помощью величины степени сохранности предложена Шабановым В.В. Она определяется как площадь перекрытия кривых распределения фактического и естественного речного стока. Физический смысл данной величины - вероятность сохранения естественного состояния ( $\Delta P$ ). В предлагаемом способе оценки величины экологического стока данный показатель задается на основании конкретных природных и водохозяйственных условий ( $\Delta P_{\text{доп.}}$ ), но не ниже 60%. При этом, для  $j$ -х режимов водопотребления ( $\Delta W_j$ ), рассчитывается величина  $\Delta P_j$ . Минимально допустимый режим использования речной воды ( $j_{\text{доп.}}$ ), соответствующий величине экологического стока, определяется по графику



зависимости  $\Delta P_j = f(\Delta W_j)$  с помощью задаваемой величины степени сохранности естественного стока ( $\Delta P_{\text{доп.}}$ ).

Преимущества метода заключаются в следующем:

- возможность применения для любых водных объектов;
- простота определения;
- минимальный набор исходных данных, реально доступных в водохозяйственной практике;
- учет природных и проектных (фактических) условий.

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 периода: весна, лето, осень, зима; или 2 периода: весна, лето-осень-зима) [Маркин, 2005]. Объемы стока удобно выражать в виде модульных коэффициентов ( $K_p = W^{p\%p}/W_0$ , где  $W_0$  – норма стока).

### Пример определения величины экологического стока

Коэффициенты вариации и асимметрии стока по периодам года приняты на уровне характерном для средней полосы России: весна  $C^Bv=0.3$ , лето-осень-зима  $C^{Л-О-З}v=0.5$  и  $Cs=2Cv$  (для рассматриваемых периодов). Координаты кривых обеспеченности сезонного стока представлены в табл. 8.1 и 8.2. Величины фактического стока рассчитаны для разных вариантов безвозвратного водопотребления ( $\Delta W$ ): 10, 20, 30 и 50% от нормы стока.

Таблица 8.1

Функции обеспеченности модульных коэффициентов стока ( $K_p$ ) реки для весеннего периода ( $C^Bv=0.3$ ), при разных уровнях безвозвратного водопотребления\*.

P, %	Уровни безвозвратного водопотребления, $\Delta W\%$				
	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 8.2

Функции обеспеченности модульных коэффициентов стока ( $K_p$ ) реки для меженного периода ( $C^{1-0.3}v=0.5$ ), в зависимости от уровня безвозвратного водопотребления\*.

P, %	Уровни безвозвратного водопотребления, $\Delta W\%$				
	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
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 табл.8.1.

По данным табл. 8.1 и 8.2 строятся кривые обеспеченности стока (рис.8.1). Они используются для определения координат относительного распределения модульных коэффициентов (рис.8.2). Кривые распределения удобно представлять в виде полигонов. В примере, полигоны распределения строятся для диапазонов модульных коэффициентов, полученных с шагом  $\Delta K_p=0,5$ . При этом весь ряд данных по стоку делится на 6 состояний (табл. 8.3). Площади перекрытия кривых распределения естественного и фактического стока для  $j$ -х вариантов водопотребления ( $\Delta P_j$ ) определены в табл. 8.4.

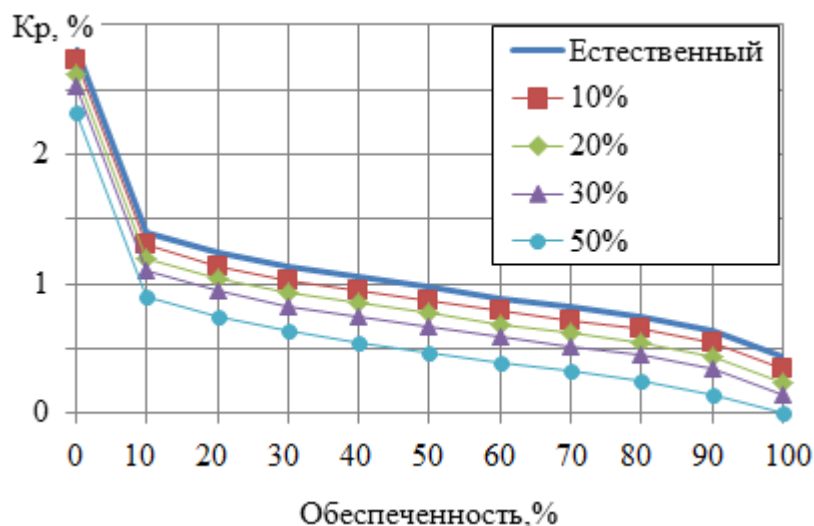


Рис.8.1. Кривые обеспеченности модульных коэффициентов естественного ( $K_p$ ) и фактического стока, который учитывает безвозвратное водопотребление на уровне 10, 20, 30 и 50% от нормы стока. Весенний период ( $C^B v=0.3$ ).

Таблица 8.3

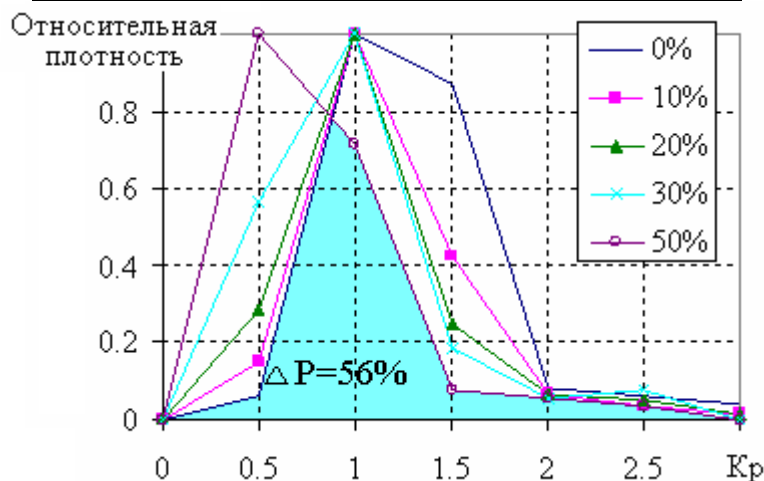
Определение относительных ординат кривых распределения модульных коэффициентов стока, которые учитывают разные уровни безвозвратного водопотребления ( $\Delta W$ ). Весенний период

Значения	$\Delta W, \%$	Диапазоны состояний						$\Sigma$
		0-0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2	2-2,5	>2,5	
Абсолютные	0*	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
Относительные	0	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	-
Минимальные	$W_p - \Delta W_{10}$	0,38	1,00	0,75	0,13	0,08	0,05	2,38
	$W_p - \Delta W_{20}$	0,38	1,00	0,50	0,13	0,08	0,05	2,13
	$W_p - \Delta W_{30}$	0,38	0,85	0,38	0,15	0,08	0,05	1,88
	$W_p - \Delta W_{50}$	0,38	0,42	0,12	0,07	0,05	0,02	1,04

В таблице 8.3 естественный сток и минимальные значение определяются попарно для кривых распределения: естественного стока  $W_p$  ( $\Delta W=0$ ) и стока с определённым уровнем изъятия воды  $\Delta W_{10}=10\%$ ,  $\Delta W_{20}=20\%$ ,  $\Delta W_{30}=30\%$  и  $\Delta W_{50}=50\%$ .

Таблица 8.4  
Степень сохранности естественного речного стока для вариантов безвозвратного водопотребления, дол.ед.

Варианты сравнения	Площадь перекрытия кривых распределения $\Delta P_j$
$W_p - \Delta W_{10}$	0,95
$W_p - \Delta W_{20}$	0,85
$W_p - \Delta W_{30}$	0,75
$W_p - \Delta W_{50}$	0,42



*Выделена область пересечения полигонов распределения естественного и фактического стока при уровне безвозвратного водопотребления 50%. ( $\Delta P=56\%$ ).*

Рис. 8.3. Полигоны распределения модульного коэффициента ( $K_p$ ) естественного и фактического стока, учитывающего разные уровни безвозвратного водопотребления (10, 20, 30 и 50% от нормы стока). Весенний период.

В соответствии с оценкой состояния систем (табл. 7.3), выбирается приемлемый уровень степени сохранности (не менее 60%), с помощью которого определяется величина экологически допустимого стока по кривой связи  $\Delta P_j=f(\Delta W)$ . Так, в весенний период доля экологического стока ( $k_j$ )

составляет 70% или 53% от естественного стока половодья при допустимой степени сохранности, соответственно 80 и 60% (рис.8.4).

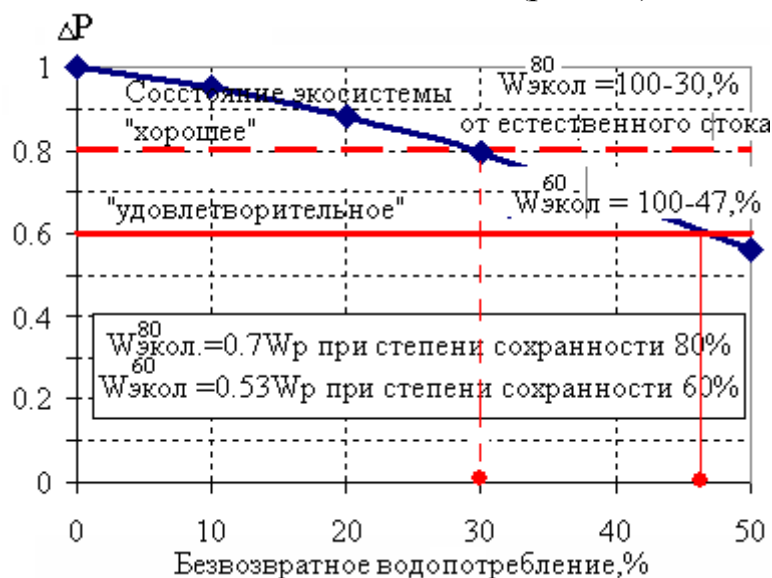


Рис. 8.4. Зависимость степени сохранности водной экосистемы ( $\Delta P$ ) от уровня безвозвратного водопотребления  $\Delta P_j = f(\Delta W)$ , весенний период.

Аналогичные построения проводятся для меженного периода года (рис.8.5). Доля экологического стока ( $k_j$ ) составляет 76 или 62% от естественного меженного стока при допустимой степени сохранности, соответственно 80 и 60%.

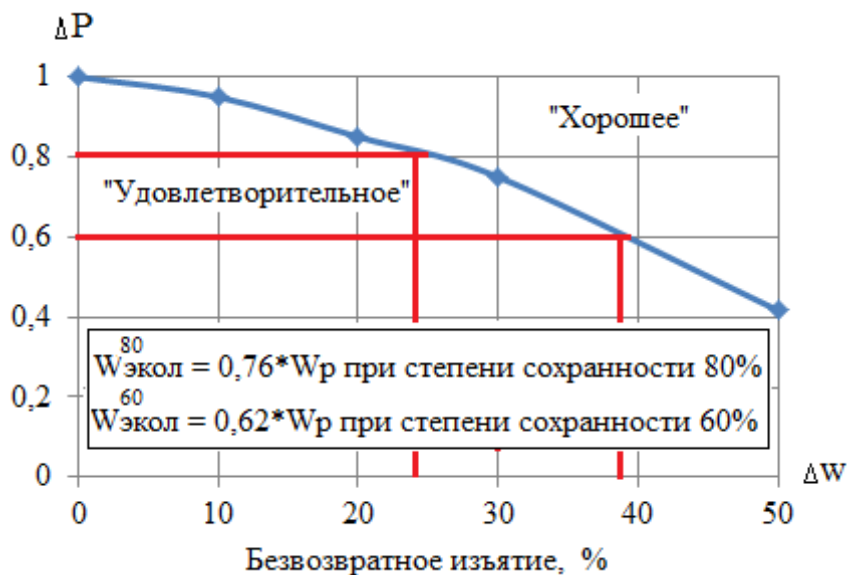


Рис. 8.5. Зависимость степени сохранности водной экосистемы ( $\Delta P$ ) от уровня безвозвратного водопотребления  $\Delta P_j = f(\Delta W)$ , меженный период

Внутригодовое распределение (табл.8.5) экологического стока делается с учетом полученных значений ( $k_j$ ) доли экологического стока в  $j$ -й период года, по формуле:

$$w_{ij}=k_j \times w_i, \quad (1)$$

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

Годовой объем экологического стока определяется суммированием месячных значений, с учетом изменения коэффициента  $k_j$  по периодам года и выбранной величины степени сохранности водной экосистемы  $\Delta P=60\%$  ( $80\%$ ):

в весенний период  $k_j=0.55(0.71)$

в период лето-осень-зима  $k_j=0.62(0.76)$

Внутригодовое распределение экологического стока, для условий маловодного ( $75\%$ ) и остро маловодного ( $95\%$ ) года, представлено в табл. 8.5.

Таблица 8.5

Процентное внутригодовое распределение объемов естественного стока реки ( $w_i$ ) и рассчитанные значения экологического стока ( $w_{ij}$ ) для разных уровней степени сохранности ( $\Delta P$ ) для лет 75 и 95%-й обеспеченности.

Параметры		Месяц												Год
		1	2	3	4*	5*	6	7	8	9	10	11	12	
$w_i$	75%	0,8	1,0	2,3	<b>62,8</b>	<b>15,4</b>	4,4	3,9	2,0	1,2	2,6	1,9	1,7	100
	95%	0,7	0,9	2,0	<b>63,8</b>	<b>15,6</b>	4,4	3,8	1,9	1,1	2,5	1,8	1,5	100
$w_{ij}$ $\Delta P=80\%$	75%	0,6	0,8	1,7	<b>44,0</b>	<b>10,8</b>	3,3	3,0	1,5	0,9	2,0	1,4	1,3	71
	95%	0,5	0,7	1,5	<b>48,5</b>	<b>11,9</b>	3,3	2,9	1,4	0,8	1,9	1,4	1,1	76
$w_{ij}$ $\Delta P=60\%$	75%	0,5	0,6	1,4	<b>33,3</b>	<b>8,2</b>	2,7	2,4	1,2	0,7	1,6	1,2	1,1	55
	95%	0,4	0,6	1,2	<b>39,6</b>	<b>9,7</b>	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.

Изложенная методика позволяет определять величину допустимого истощающего воздействия из любого водного объекта суши (реки, озера, болота), используя статистическое моделирование водного режима для разных сценариев антропогенного воздействия. В качестве средообразующего показателя может использоваться не только объем водного ресурса, но и другие гидрологические характеристики с ним связанные, например, уровни воды. Экологические требования могут задаваться индивидуально для конкретного водного объекта или районировано, в соответствии со стоковыми характеристиками ( $C_v$ ,  $C_s$ ).

### Методика оценки антропогенного загрязнения водных объектов

Оценка воздействия выполняется главным образом с целью предупреждения возможной деградации окружающей среды под влиянием планируемой хозяйственной деятельности и обеспечения экологической стабильности [10]. Степень оказываемого воздействия определяется путем оценки:

- отклонения нормируемых параметров от их предельно-допустимых значений;
- степени изменения ( $\Delta\phi$ ) естественного (фонового) состояния водного объекта ( $\phi$ ) при антропогенном воздействии.

В первом случае, делается оценка пригодности воды для хозяйственных целей. Во втором - оценивается воздействие на водную экосистему. Результат воздействия ( $\Delta\phi$ ) определяется на основе:

- анализа фонового состояния водного объекта, характерного для естественных условий ( $\phi'$ );

- прогноза возможного состояния, в случае проведения запланированных мероприятий ( $\varphi$ ).

$$\Delta\varphi = \varphi - \varphi' \quad (2)$$

Степень изменения естественных условий ( $\Delta\varphi$ ) сравнивается с нормативным значением ( $\Delta\varphi_{\text{доп.}}$ ), что позволяет сделать вывод о допустимости ( $\Delta\varphi < \Delta\varphi_{\text{доп.}}$ ) или не допустимости ( $\Delta\varphi > \Delta\varphi_{\text{доп.}}$ ) оказываемого воздействия.

В этом случае появляется определенная трудность, связанная с оценкой естественного гидрохимического фона, что вызвано рядом причин, к которым относится:

- загрязненность поверхностных водных объектов, что не позволяет определить природное качество их воды, на основе натурных измерений;
- необходимость математического моделирования естественного фона. *Моделирование ведется по отдельным параметрам, характеризующим качество воды, например: рН, растворенный кислород, БПК и др. Далее возможны пути:*

*на основе анализа этих параметров дается заключение о качестве воды (сводится к оценке соответствия значений параметров их нормативам);*

*с помощью полученных параметров рассчитывается некоторый комплексный показатель, например, индекс загрязнения воды ИЗВ, по классификационной шкале которого определяется класс ее качества.*

Определение фоновых показателей качества воды требует:

- получения систематических данных натурных измерений [12, 13], что для большинства водных объектов невозможно;
- математического моделирования, на основе изучения условий формирования водного объекта в естественных условиях, что затруднено существующим антропогенным преобразованием ландшафтов.

Предлагаемый подход к учету фонового качества воды основан на методе «Соответствия гидрохимических, гидробиологических и гидрологических характеристик» [9, 17]. Связи между данными показателями известны [1-3, 19] и очевидны, так как характеризуют состояние одной и той же водной экосистемы. Масса веществ  $G$ , поступающих в водный объект определяет концентрацию ( $C$ )

$$C = G/W, \quad (3)$$

где  $W$  – показатель водности.

Задача состоит в том, чтобы выбрать те показатели, связи между которыми достаточно постоянны во времени и пространстве, и достоверны. Используется объем речного стока (как средообразующий фактор для водного объекта) и комплексный показатель качества воды, например, индекс загрязнения воды. На основании указанных параметров далее рассмотрена возможность учета естественного фонового состояния рек в водохозяйственной практике.



Водность года учитывается через плотность распределения объемов стока (или ее интегральное выражение в виде кривой обеспеченности), в которой выделяется область наиболее вероятных значений (рис.8.6)

$$\sim W_0 \times (1 \pm C_v), \quad (4)$$

где  $W_0$  – норма годового стока реки;  $C_v$  – коэффициент вариации стока.

Вероятность того, что объемы речного стока попадут в область (4) составляет примерно  $P \approx 70\%$  (на основе «Правила трех сигм» и с учетом реальной асимметрии распределения). С другой стороны, в соответствии с «Законом оптимальности» (любая система функционирует с наибольшей эффективностью в некоторых характерных для нее пространственно-временных пределах) [14] эти условия формируют водную экосистему.

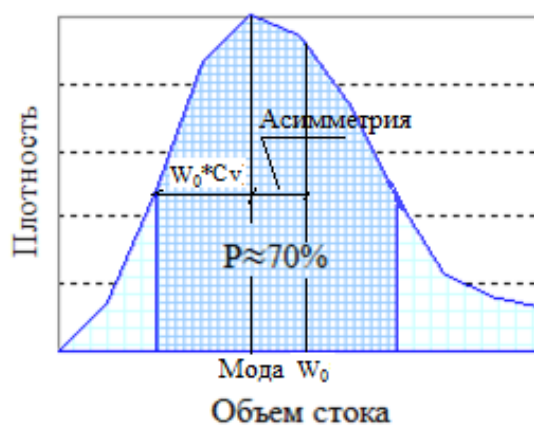


Рис.8.6. Область наиболее вероятных значений объемов стока на кривой плотности распределения.

Можно предположить, что в естественных условиях, не подверженных антропогенной деятельности, для наиболее часто повторяющихся значений объемов стока, качество воды соответствует классам «Очень чистая» ... «Умеренно загрязненная». Оценка качества воды с учетом выноса загрязнений с лесных, луговых угодий и болот. Качество воды при этом, соответственно, изменяется от «очень чистой» до «умеренно загрязненной» и даже «грязной».

При небольшой доле болот и невысоких значениях модуля стока естественное (фоновое) качество воды изменяется в пределах от «очень чистого» (рис.8.8) до «умеренно загрязненного» в зависимости от залесенности.

В разные по водности годы, в естественных условиях, содержание веществ в воде изменяется незначительно, и может быть учтено с помощью комплексного показателя, например, индекса загрязнения воды ИЗВ по формулам (5).

Формулы предусматривают изменение показателя в пределах определенного класса (табл.8.6). При этом, для удобства, объем речного стока воды ( $W$ ) выражается через относительные значения модульного коэффициента ( $K_p = W/W_0$ ).

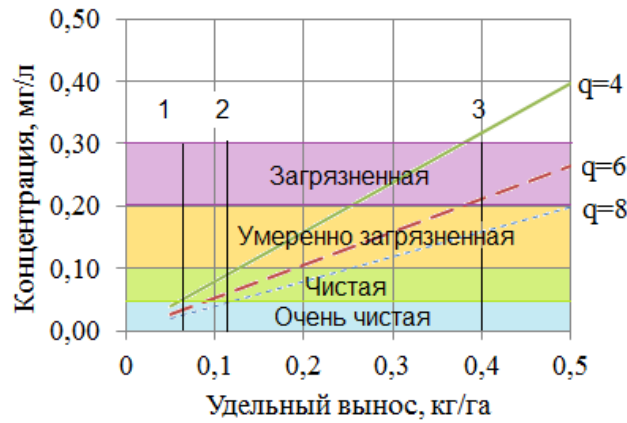


Рис.8.7. Соответствие классов качества воды, оцененных по концентрации фосфатов для разных видов угодий (1–леса, 2–луга, 3–болота), для разных модулей стока ( $q$ , л/с\*км<sup>2</sup>)

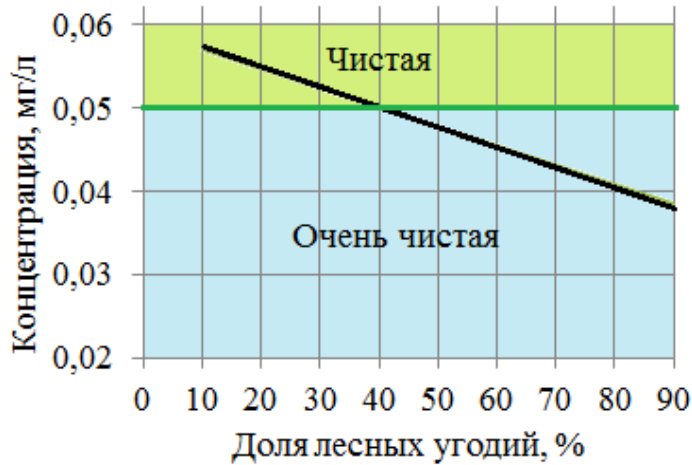


Рис.8.8. Изменение классов качества воды, оцененных по концентрации фосфатов, в зависимости от залесенности (fлес) водосборной площади (площадь лугов 100-fлес, заболоченность 1%)

Таблица 8.6

Соответствие классов качества воды и уровня трофности водных объектов индексу загрязнения воды (ИЗВ).

Класс качества воды					
Очень чистая	Чистая	Умеренно загрязненная	Загрязненная	Грязная	Очень грязная
≤2,0	0,2...1	1...2	2...4	4...6	>6
Олиго-трофная	мезотрофная		Эвтрофная		Гипер-эвтрофная

«Умеренно загрязненный» фон

$$\text{ИЗВр}_{\%} = 0.2 + \frac{K_{95}(K_1 - K_P)}{1.25 * K_P(K_1 - K_{95})}$$

«чистый» фон

$$\text{ИЗВр}_{\%} = \frac{0.2 * K_{95}(K_1 - K_P)}{K_P(K_1 - K_{95})}, \quad (5)$$

где  $K_1$ ,  $K_{95}$ ,  $K_P$  – соответственно, модульные коэффициенты стока реки для многоводных лет, обеспеченностью 0,001%, остромаловодных лет обеспеченностью 95% и года заданной обеспеченности  $P\%$ ;  $\text{ИЗВр}_{\%}$  – индекс загрязнения воды в год заданной обеспеченности  $P\%$ .

Зависимости (5) позволяют рассчитать значение  $\text{ИЗВр}_{\%}$ , в годы заданной обеспеченности, которые предполагают сохранение фонового качества воды. Полученные оценки подтверждаются натурными данными, статистическая обработка которых свидетельствует о линейной зависимости ( $R=0,96$ ) линейную зависимость объемов ионного стока от объемов воды в реке. Пропорциональность связи говорит о постоянстве концентраций, определяемых формулой (3).

Для практических целей, при оценке влияния антропогенной деятельности на состояние водной экосистемы можно использовать показатель степени сохранности естественных условий ( $\Delta P$ ), в частности, степень сохранности фонового качества воды (или степень соответствия определенному классу качества).

На рисунке 8.10 показаны кривые обеспеченности показателя ИЗВ для разных условий загрязненности реки ( $\text{ИЗВ}_{50\%}$ ). Коэффициент вариации стока  $C_v=0,3$ . Откуда видно, что вероятность соответствия классу качества воды «чистая» равна 10 и 0%, соответственно для условий загрязненности на уровне  $\text{ИЗВ}_{50\%} = 1,5$  и 3. Соответствие классу «умеренно загрязненной» воды – 70 и 10% (соответствие двум данным классам 80 и 10%).

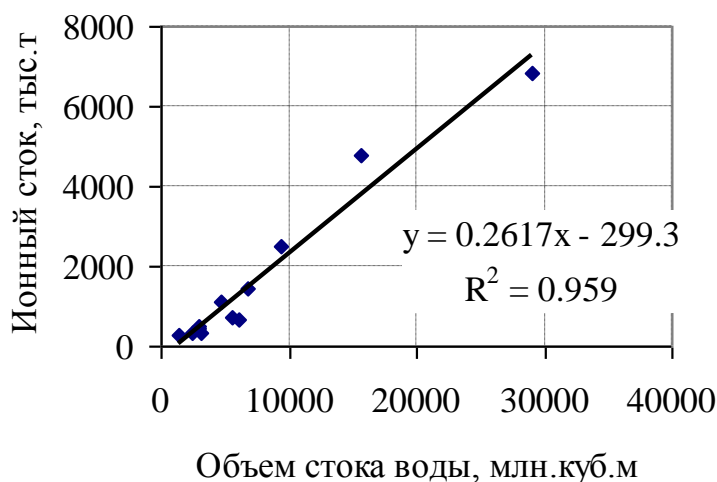


Рис.8.9. Связь объемов ионного стока с объемами воды в реке для условий среднемноголетнего года. Реки верхневолжского бассейна

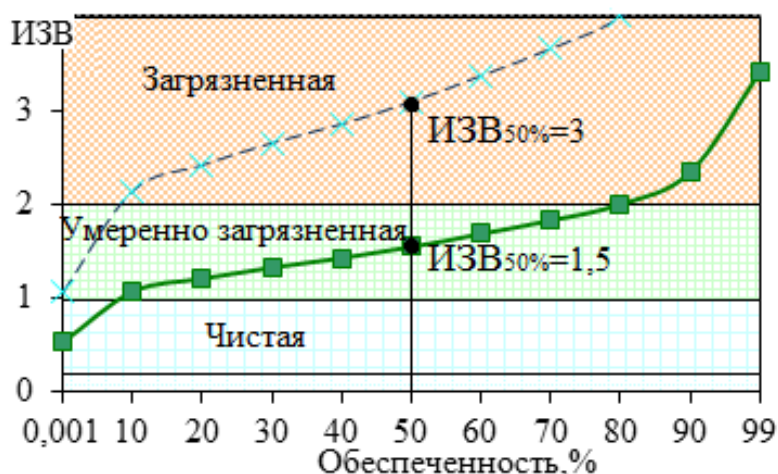


Рис.8.10 Кривые обеспеченности индекса загрязнения воды (ИЗВ), построенные для разных уровней загрязненности (ИЗВ<sub>50%</sub>),  $C_v=0.3$  и  $C_s=2C_v$ .

Коэффициент вариации стока  $C_v$  (рис.8.11) оказывает существенное влияние на степень сохранности фоновых условий в области малых загрязнений до уровня  $2 \dots 2,3 \text{ ИЗВ}_{50\%}$ . При степени сохранности  $\Delta P=60\%$ , что соответствует нижней границе «Удовлетворительного» состояния системы, допустимый уровень загрязненности хорошо описывается линейной функцией (6):

$$\text{ИЗВ}_{50\%} = -1,13 \times C_v + 2,22 \quad C_v = [0,1 \dots 0,9] \quad (6)$$

достоверность линейной аппроксимации  $R^2=0,98$ .

Предложенный способ учета фоновое качество воды, основанный на соответствии гидрологических, и гидрохимических характеристик рек, учитывает их изменение в пределах определенного класса качества воды.



Рис.8.11. Изменение степени сохранности фоновое качество воды и экологического состояния рек в зависимости от уровня загрязненности и коэффициента вариации стока  $C_v$  (при  $C_s=2C_v$ ). (1-  $C_v=0.1$ , 2-  $C_v=0.3$ , 3-  $C_v=0.5$ , 4-  $C_v=0.7$ , 5-  $C_v=0.9$ )

Класс качества воды, в естественных условиях, принимается на уровне от «Очень чистого» до «Умеренно загрязненного», в зависимости от индивидуальных особенностей водного объекта.

Оценку антропогенного воздействия предлагается проводить путем определения степени сохранности естественного (фонового) качества воды как показателя состояния экосистемы при разных сценариях антропогенной нагрузки.

Выявлено влияние характеристик речного стока на способность сохранять речной экосистемой свои параметры под действием загрязняющего воздействия, то есть сохранять устойчивость.

### Оценка современного состояния р. Тобол

В качестве примера комплексного анализа санитарно-экологического состояния речного бассейна рассмотрена р. Тобол, самый крупный приток Иртыша. Норма стока составляет  $805 \text{ м}^3/\text{с}$  (рис. 8.12).

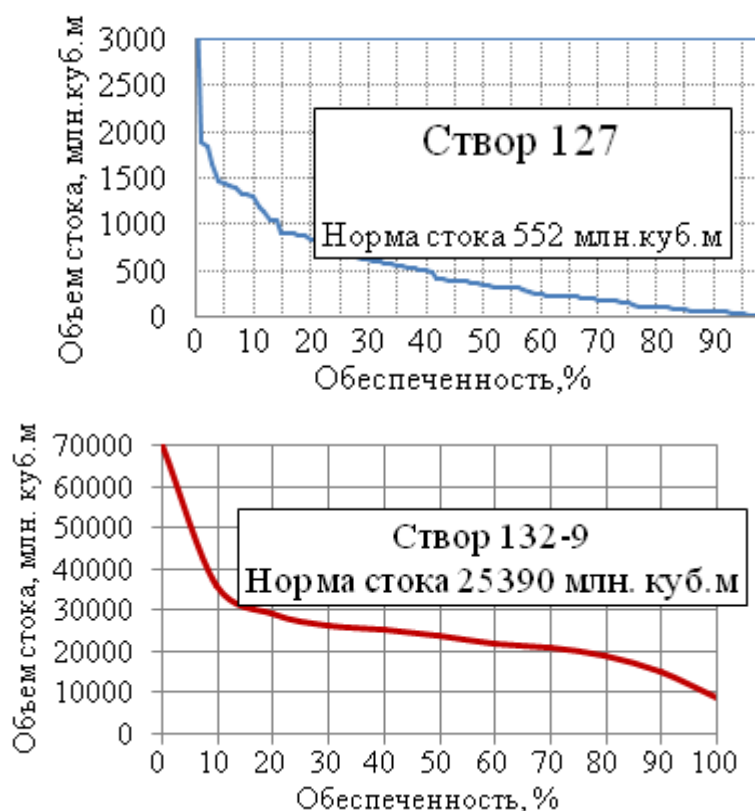


Рис. 8.12. Кривые обеспеченности стока реки Тобол для створов 127 (после впадения реки Уйя) и 132-9 (устьевой створ).

Речная вода используется для хозяйственных целей. Доля безвозвратного водопотребления не превышает 20% от нормы стока (верхняя часть реки).

На рисунке 8.13 показана зависимость степени сохранности естественного стока ( $\Delta P$ ) от величины безвозвратного водопотребления ( $W_{б.п.}$ ), где видно, что изъятие стока на современном уровне - допустимое. Степень сохранности не ниже 60%.

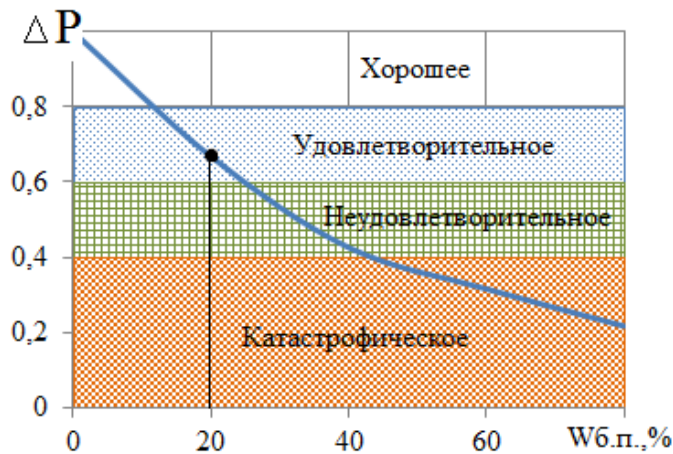


Рис. 8.13. Изменение степени сохранности естественного стока реки Тобол ( $\Delta P$ ) в зависимости от объемов безвозвратного водопотребления ( $W_{б.п.}$ )

Качество воды в р. Тобол оценивалось по 5-ти створам (рис.8.14):

- 127 ниже границы с Республикой Казахстан и впадения р.Уйя,
- 132-5 ниже г. Курган,
- 132-7 ниже г. Ялуторовск и впадения р. Исеть,
- 132-8 ниже места впадения р.Тура,
- 132-9 устье.

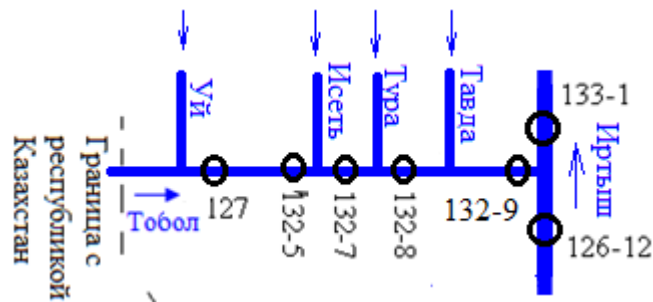


Рис. 8.14. Схема расположения контрольных створов на реке Тобол.

В настоящее время речная вода не соответствует нормативам качества. Характерными загрязнителями являются: органические вещества (оцениваемые по БПК), аммонийный азот, железо, медь, цинк, нефтепродукты и фенолы. Наибольшее влияние на ухудшение качества воды оказывают: нефтепродукты (створ 127, 132-7 – влияние загрязненного стока из Казахстана и р.Уйя), медь (127, 132-5, 132-8), марганец (132-5, 132-7 – влияние стока с выше лежащей территории и р. Исеть), железо (132-8, 132-9 – влияние загрязненных стоков рек Тура и Тавда) (табл. 8.7).

Современная антропогенная нагрузка на р. Тобол недопустимо высока. Трофический уровень во всех расчетных створах оценивается как «гиперэвтрофный». Качество воды изменяется от «умеренно загрязненной» (в многоводные годы) до «очень грязной» (в маловодные годы) (табл. 8.8). Основное негативное влияние на качество воды оказывают: загрязненный сток Тобола поступающий с территории Казахстана, сток рек: Уйя, Исеть, Тура и Тавда (табл. 8.9).

Проведение водоохраных мероприятий с эффективностью 80% позволит 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. 8.10).

Таблица 8.7

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

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

Таблица 8.8

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

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 (среднеголетние условия)	Гиперэвтрофный				

Таблица 8.9

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

Источники загрязнения				
Приток из Казахстана	р. Уйя	р. Исеть	р. Тура	р. Тавда
28	8	30	8	25



Таблица 8.10

Изменение показателя предельной загрязненности, в контрольных створах реки Тобол, в зависимости от эффективности водоохраных мероприятий ( $\Theta$ ,%) для лет разной обеспеченности (P,%).

P,%	Створ				
	127	132-5	132-7	132-8	132-9
$\Theta=20\%$					
1	<b>2</b>	3	<b>4</b>	<b>5</b>	6
25	<b>0,99</b>	1,63	<b>0,31</b>	<b>0,45</b>	1,40
50	3,10	3,87	1,03	<b>0,98</b>	2,09
75	8,21	8,20	2,09	1,85	3,02
95	20,06	18,88	3,78	4,50	4,81
$\Theta=40\%$					
25	<b>0,49</b>	<b>0,97</b>	<b>-0,02</b>	<b>0,09</b>	<b>0,80</b>
50	2,07	2,65	<b>0,52</b>	<b>0,49</b>	1,32
75	5,91	5,90	1,32	1,14	2,01
95	14,80	13,91	2,59	3,13	3,36
$\Theta=60\%$					
25	<b>0,00</b>	<b>0,31</b>	<b>-0,34</b>	<b>-0,28</b>	<b>0,20</b>
50	1,05	1,44	<b>0,02</b>	<b>-0,01</b>	<b>0,55</b>
1	2	3	4	5	6
75	3,61	3,60	<b>0,54</b>	<b>0,42</b>	1,01
95	9,53	8,94	1,39	1,75	1,91
P,%	Створ				
	127	132-5	132-7	132-8	132-9
$\Theta=80\%$					
25	<b>-0,50</b>	<b>-0,34</b>	<b>-0,67</b>	<b>-0,64</b>	<b>-0,40</b>
50	<b>0,02</b>	<b>0,22</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,50</b>	<b>-0,23</b>
75	1,30	1,30	<b>-0,23</b>	<b>-0,29</b>	<b>0,00</b>
95	4,27	3,97	<b>0,20</b>	<b>0,38</b>	<b>0,45</b>

«Эвтрофный» уровень достигается в результате проведения водоохранных мероприятий с эффективностью не менее 60% (рис.8.15).

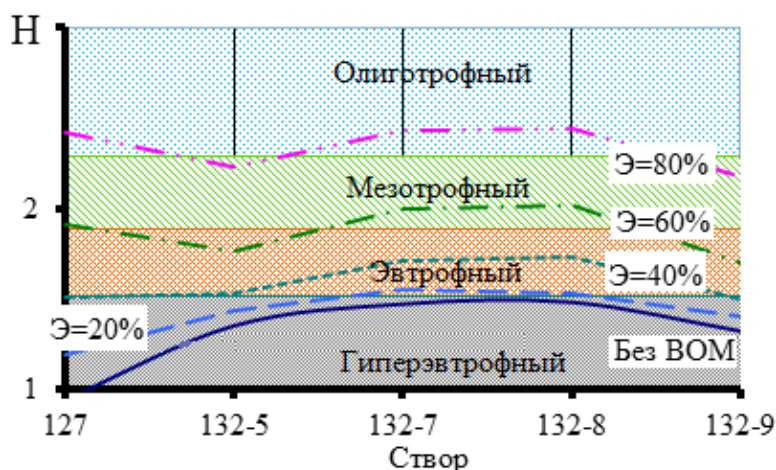


Рис. 8.15. Изменение трофического уровня реки Тобол (по индексу Шеннона Н, для среднеголетних условий) в расчетных створах в зависимости от эффективности (Э, %) водоохранных мероприятий (ВОМ).

В целом степень соответствия качества воды «умеренно загрязненному» уровню равна 3 % (рис. 8.16), что характеризует состояние системы как «катастрофическое». Соответствие классу «загрязненной» воды - 70%. Проведение водоохранных мероприятий с эффективностью 60% позволяет выйти на класс качества воды - «умеренно загрязненный», при котором степень сохранности системы по гидрохимическим условиям не менее 80%.

Водоохранные мероприятия позволяют улучшить качество воды в реке. Оценка их требуемой эффективности проведена для лет 25, 50, 75 и 95%-й обеспеченности по стоку, для характерных створов, по схеме:

- построение модели изменения загрязненности воды по длине реки;
- прогноз изменения качества воды по длине реки с учетом водоохранных мероприятий;
- оценка значений индекса Шеннона, для определения вероятного уровня трофности водной экосистемы.

В расчетах учтено влияние притоков данных рек на формирование объемов стока и поступления загрязняющих веществ.

### **Формирование системы уравнений для расчета изменения загрязненности речной воды**

Расчет изменения загрязненности воды, с учетом водоохранных мероприятий, для лет разной обеспеченности (25, 50, 75 и 95%), проведен с помощью системы уравнений

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

$$W_i = W_{i-1} + W_{пр.i}, \quad (7)$$

где  $K_{пз.i}$  - коэффициент предельной загрязненности воды в створе  $i$ ;  $K_{пз.i-1}$  - коэффициент предельной загрязненности воды в створе  $i-1$ ;  $W_{i-1}$  - 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  $i$ ;  $K_{пз.пр.i}$  - коэффициент предельной загрязненности воды в притоке или сточных вод города;  $K$  - коэффициент самоочищения воды (определен подбором по независимым данным  $k = 0.006$  1/км);  $L_i$  - длина участка реки между створами  $i-1$  и  $i$ .

Качество воды в реке Тобол изменяется по длине в годы разной обеспеченности в пределах от «чрезвычайно грязной» до «умеренно загрязненной».

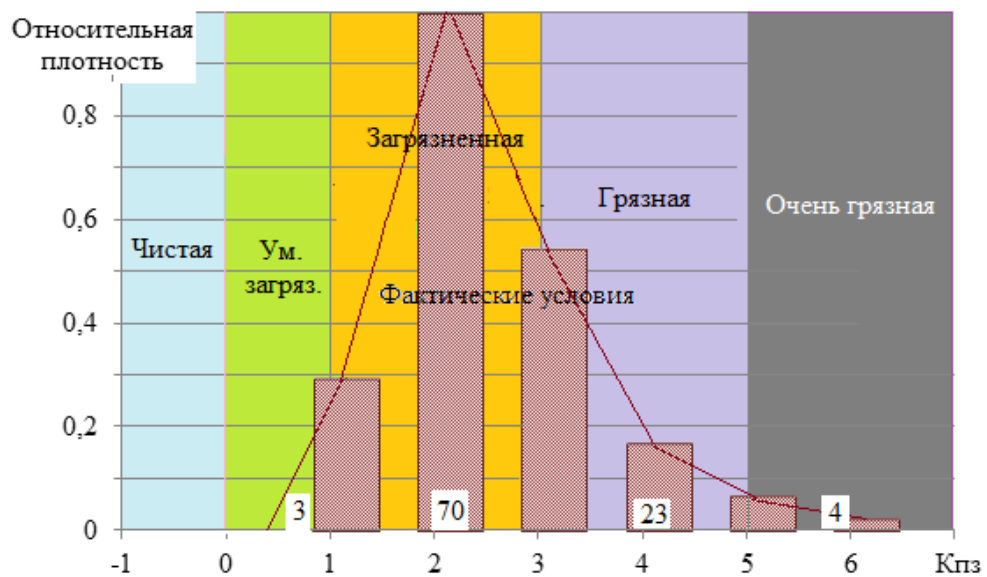


Рис. 8.16. Степень соответствия качества воды в реке Тобол разным классам, оцененная с помощью относительного распределения комплексного показателя предельной загрязненности (Кпз), для современных условий антропогенной нагрузки. Створ 132-9

Таблица 8.11

Изменение классов качества воды  
по створам реки Тобол

С твор	Классы качества воды для лет разной обеспеченности по стоку			
	25%	50%	75%	95%
127	Загряз.	Грязная	Чрезв. грязная	Чрезв. грязная
132-5	Ум. загряз.	Загрязне нная	Очень грязная	Чрезв. грязная
132-7	Ум. загряз.	Загряз.	Загряз.	Грязная
132-8	Ум. загряз.	Загряз.	Загряз.	Очень грязная
132-9	Загряз.	Загряз.	Грязная	Очень грязная
Сред .	Загряз.	Загряз.	Очень грязная	Очень грязная

Значительное ухудшение качества воды отмечается в маловодные годы. Очаги загрязнения воды в р. Тобол:

- приток загрязненных вод с территории Республики Казахстан (створ 127),
- загрязненный сток р. Уйя (створ 127);
- г. Курганск (створ 132-5);
- загрязненный сток р. Исеть (створ 132-7);
- загрязненный сток р. Тура (створ 132-8);
- загрязненный сток р. Тавда (створ 132-9).

### Маловодный год (75%)

В маловодный год, качество воды, в среднем для реки Тобол, соответствует «очень грязному» классу. Улучшение качества учтено разными вариантами водоохранных мероприятий (табл. 8.12):

1. снижение загрязненности стока реки Тобол на территории Республики Казахстан (учитывается значением  $K_{пзи-1}$  для створа 127, которое с учетом водоохранных мероприятий принимается равным 1, что соответствует приемлемому «умеренно загрязненному» уровню класса качества);
2. улучшение качества воды в р. Тобол на территории Республики Казахстан и очистка стоков г. Курганска до уровня ПДК (что учитывается через  $K_{пзпри}=0$  в створе 132-5);
3. улучшение качества воды в реке на территории Республики Казахстан, очистка стоков г. Курганск и улучшение качества воды в реках Исеть и Тура (что учитывается значением  $K_{пзи-1}$ , которое для данных притоков принимается равным 1);

4. улучшение качества воды в реке на территории Республики Казахстан, очистка стоков г.Кургана, улучшение качества воды в реках Исеть, Тура и Тавда (которое учитывается значением  $K_{\text{пзi-1}}$ , которое для данных притоков принимается равным 1).

Комплекс мероприятий (№4 табл.8.12) позволяет улучшить качество воды в р. Тобол до класса «умеренно загрязненная», на всем ее протяжении. Суммарная эффективность мероприятий (по расчетным условиям) составляет 89%. Мероприятия №2, 3 и 4 имеют практически одинаковую эффективность (41...52%). Требуемая суммарная эффективность всех мероприятий, которые позволят улучшить качество воды во всех створах до уровня «умеренно загрязненной» воды ( $K_{\text{пз}}=1$ ), равна  $\text{Этр}=80\%$ .

#### Остромаловодный год (95%)

В остромаловодный год, качество воды в среднем для реки Тобол соответствует классу «чрезвычайно грязная» (такой класс качества выделяется в некоторых классификациях. Он соответствует значениям  $K_{\text{пз}}>9$ ). В таблице 8.13 показано, как улучшается качество воды с учетом разных вариантов (см. расчетные условия для маловодного года 75%-й обеспеченности).

Требуемая эффективность водоохранных мероприятий, позволяющих достичь класса «умеренно загрязненная», увеличивается на 10% и составляет 90%, по сравнению с маловодным годом. В таблице 8.14 представлены значения эффективностей водоохранных мероприятий в отдельных источниках загрязнения, для доведения качества воды в реке Тобол до уровня «умеренно загрязненной».

Таблица 8.12

Изменение показателя предельной загрязненности воды ( $K_{\text{пз}}$ ) в р. Тобол.

Створ	$K_{\text{пз}}$	$K_{\text{пз}}$ с учетом вариантов водоохранных мероприятий			
		1	2	3	4
127	10.00	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>
132-5	5.73	3.69	<b>0.30</b>	<b>0.30</b>	<b>0.30</b>
132-7	2.86	1.55	1.06	<b>0.82</b>	<b>0.82</b>
132-8	2.56	1.30	0.79	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>
132-9	4.02	3.94	3.73	3.42	<b>0.60</b>
Среднее	5.07	3.90	1.89	1.11	0.55
Эффективность мероприятия, %		23	52	41	50
Суммарная эффективность, %		23	63	78	89

Таблица 8.13

Изменение загрязненности воды в р. Тобол

Створ	Кпз	Кпз с учетом вариантов водоохранных мероприятий			
		1	2	3	4
127	20.00	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>
132-5	13.35	13.04	<b>0.28</b>	<b>0.28</b>	<b>0.28</b>
132-7	4.98	4.01	1.13	<b>0.87</b>	<b>0.87</b>
132-8	3.84	3.41	2.37	0.67	0.67
132-9	6.27	6.14	5.82	5.31	<b>0.90</b>
Среднее	9.70	7.32	3.08	1.62	0.74
Эффективность мероприятия, %		25	58	47	54
Суммарная эффективность, %		25	68	83	92

Таблица 8.14

Эффективность водоохранных мероприятий (%) в источниках загрязнений, для доведения класса качества воды в р. Тобол до состояния «умеренно загрязненная» в годы расчетных обеспеченностей.

Варианты водоохранные мероприятия	Обеспеченность стока, %			
	25	50	75	95
Улучшение качества воды на территории Республики Казахстан	20	21	23	25
Очистка стоков г. Курганск	38	44	52	58
Улучшение качества воды в реке Тура и Исеть	29	35	41	47
Улучшение качества воды в реке Тавда	20	21	50	54
Средний Кпз без	<b>1.28</b>	<b>2.47</b>	5.07	<b>9.70</b>
Средний Кпз с учетом всех мероприятий	<b>0.48</b>	<b>0.51</b>	<b>0.55</b>	<b>0.74</b>

По результатам исследований, класс качества воды в реке Тобол, в настоящее время, соответствует уровню «чрезвычайно грязная» для остромаловодных условий, что свидетельствует о слабом протекании процессов самоочищения воды и постоянности поступления большого количества загрязненных стоков. Проведение комплекса водоохранных мероприятий с общей эффективностью ~90% позволяет выйти на уровень «умеренно загрязненной» воды (Кпз=1). Данная эффективность практически не достижима по техническим причинам, что обосновывает поэтапность проведения

мероприятий. В этом случае учитывается, что создание условий, соответствующих (для среднесноголетнего года) мезотрофному уровню развития экосистемы, возможно при проведении водоохранных мероприятий с эффективностью ~60%.

Таблица 8.15  
Итоговая оценка качества воды в расчетных створах  
р. Тобол на отчетный период.

Створ	Класс качества для года 95%-й обеспеченности	Трофический уровень	Степень сохранности, %
127	Очень грязная	Гиперэвтровный	<1
132-5	Очень грязная		<1
132-7	Очень грязная		<1
132-8	Грязная		64
132-9	Очень грязная		3

### Библиографический список

1. Абакумов В.А., Сущеня Л.М. Гидробиологический мониторинг пресноводных экосистем и пути его совершенствования // Экологические модификации и критерии экологического нормирования. Труды международного симпозиума. -Л.: Гидрометеиздат, 1991- С.41-51.
2. Алимов А.Ф. Территориальность у водных животных и их размеры.// Известия АН. Сер. Биологическая. 2003, №1. С. 93-100.
3. Булгаков Н.Г, Дубинина В.Г, Левич А.П, Терехин А.Т.. Метод поиска сопряженностей между гидробиологическими показателями и абиотическими факторами среды. //Успехи современной биологии. 2001 . Т. 121, N 2 С.13-21
4. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 27 августа 2009 г. N 1235-р.
5. Жигальский О.А. Экологическое нормирование антропогенных нагрузок // Тез. докл. 3 междунар. конф. “Освоение Севера и пробл. рекультивации”. - Сыктывкар, 1997- С.73-75
6. Максимов В.Н. Проблемы комплексной оценки качества природных вод (экологические аспекты) // Гидробиологический журн. 1991 27 №3.. С. 8—13
7. Маркин В.Н. Универсальный метод. Определение экологического стока путем оценки по степени сохранности экосистемы.// Вода magazine. 2012 №1 (53) С.30-34
8. Методика расчета водохозяйственных балансов водных объектов. – МПР России. 2007 г . Утверждена приказом МПР РФ от 30 ноября 2007 г. N 314.



9. Николаев С.Г. Биоиндикация уровней загрязнения водотоков. –М.: Госкомгидромет. 1992 18с.
10. Петин В.Г., Жураковская Г.П., Пантюхина А.Г., Рассохина А.В. Малые дозы и проблемы синергического взаимодействия факторов окружающей среды // Радиационная биология и радиоэкология. 1999. 39. №1. С.113-126.
11. Практическое пособие к СП 11-101-95 по разработке раздела "Оценка воздействия на окружающую среду" при обосновании инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений. – М: 1998.
12. Р 52.24.309-2004 Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Росгидромета
13. РД 52.24.622-2001 Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков.
14. Реймерс Н. Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы)— М.://Журнал «Россия Молодая», 1994
15. Федоров В.Д. Устойчивость экологических систем и ее измерение // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1974 № 3, С. 402-415.  
Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ. Собрание законодательства РФ, 05.06.2006, N 23, ст. 2381.
16. Шабанов В.В., Маркин В.Н. Метод оценки качества вод и состояния водных экосистем в схемах КИОВР. – М.ФГОУ ВПО МГУП 2007 81 с.- Деп. в ВИНТИ 06.11.07
17. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
18. Гелашвили. Д.Б Экологический мониторинг. Часть 5. Учебное пособие– Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского ун-та, 2003, С. 93-259

## Глава 9.

### **ВОПРОСЫ УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА ГЛОБАЛЬНЫХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА**

Анализ изменений, произошедших в атмосфере и в биофизической системе Земли в течение XX века, позволяет признать наблюдаемую климатическую аномалию объективно существующей и заслуживающей внимания при выработке стратегии и мероприятий, способных обеспечить устойчивость функционирования биосферы Земли и хозяйственной деятельности, а также при разработке мер реагирования на те изменения климата, которые наблюдаются сейчас и ожидаются в обозримом будущем. Проблема эта занимает одно из первых мест среди экологических проблем современности.

Изменения в климатической системе фиксируются по колебаниям приземной температуры воздуха, почвы, воды. Скорость потепления в последнюю четверть XX века составила  $0,02^{\circ}\text{C}$  в год. Глобальным изменениям подверглось северное и, слабее, южное полушарие. Потепление на территории континентов составило  $1,6^{\circ}$ , а в районе морской поверхности - около  $0,8^{\circ}\text{C}$ . Если рассматривать в пространстве, то значительно в больших размерах оно характерно для высоких широт, чем для низких. Начинает проявляться постепенное смещение климатических зон. Глобальное потепление в наибольшей степени проявляется в поясе между  $40-70^{\circ}\text{с.ш.}$ , над сухими, аридными областями [2]. Кроме положительного тренда среднегодовой температуры на всей территории России ожидается увеличение особо жарких дней и продолжительности таких периодов - в 1,5 раза к 2015 г. [3]. Согласно некоторым климатическим моделям в период с 1990 по 2100 год ожидается глобальное потепление приблизительно на  $1,4-5,8^{\circ}\text{C}$  [5].

Глобальные процессы сопровождаются изменением количества осадков над Россией: в умеренных и средних широтах наблюдается слабо выраженный согласованный рост температур и осадков, а в южных регионах при недостаточном увлажнении, по прогнозам, может регистрироваться ухудшение режима влагообеспеченности и увеличение частоты засух [7]. Следует отметить также рост амплитуды колебаний количества осадков для одной и той же территории, что приводит к частому чередованию сухих и избыточно влажных лет. Значительное большинство ученых считает неизбежным развитие этого процесса, дискутируя лишь о сроках и его интенсивности. Наряду с этим ряд ученых не исключают, что наблюдаемые отклонения в динамике процессов укладываются в диапазон естественной изменчивости. В любом случае необходимы дальнейшее изучение проблемы как непосредственно по изменению климата, так и в области прикладных исследований для обоснованной корректировки проектных решений и режимов эксплуатации водохозяйственных систем.

## Сценарии прогноза климатических изменений и их влияние на биоклиматическую продуктивность

Таблица 9.1.

Прогноз отклонений от современного уровня средних температур, среднегодовой суммы осадков по сценариям возможного изменения климата [1].

Район	Сценарии			
	Температура, °С		Осадки, мм	
<b>Сценарий канадского климатического центра</b>				
	зима	лето	зима	лето
Северо-Западный	+5,5	+4,0	+30	-1
Центральный	+6,1	+4,0	+30	-1
Поволжский	+8,0	+4,0	+30	-1
Южный	+8,5	+4,0	+30	-1
Северо-Кавказский	+6,2	+4,0	+30	-1
Уральский	+7,7	+4,0	+30	-1
Сибирский	+7,6	+4,7	+30	-1
Дальневосточный	+6,5	+5,5	+30	-1
<b>Оптимум галоцена</b>	<b>Температура</b>		<b>Осадки, мм, средние за год</b>	
	январь	июль	Осадки за год, мм	
Северо-Западный	+2,0	+1,7	-16,1	
Центральный	+2,2	+1,3	-23,6	
Поволжский	+2,9	+0,8	+8,3	
Южный	+2,2	+0,3	+69	
Северо-Кавказский	+1,5	+0,3	+90,8	
Уральский	+2,9	+0,7	+55,9	
Сибирский	+2,4	+1,3	+35,7	
Дальневосточный	+1,5	+1,3	+57,6	
<b>Оптимум микулинского межледниковья</b>				
Северо-Западный	+7,3	+1,0	+110	
Центральный	+9,4	+0,3	+110	
Поволжский	+11,9	+0,2	+110	
Южный	+7,9	-1,1	+110	
Северо-Кавказский	+3,0	-2,3	+110	
Уральский	+9,4	+0,3	+110	
Сибирский	+9,5	+9,5	+110	
Дальневосточный	+6,2	+6,2	+110	

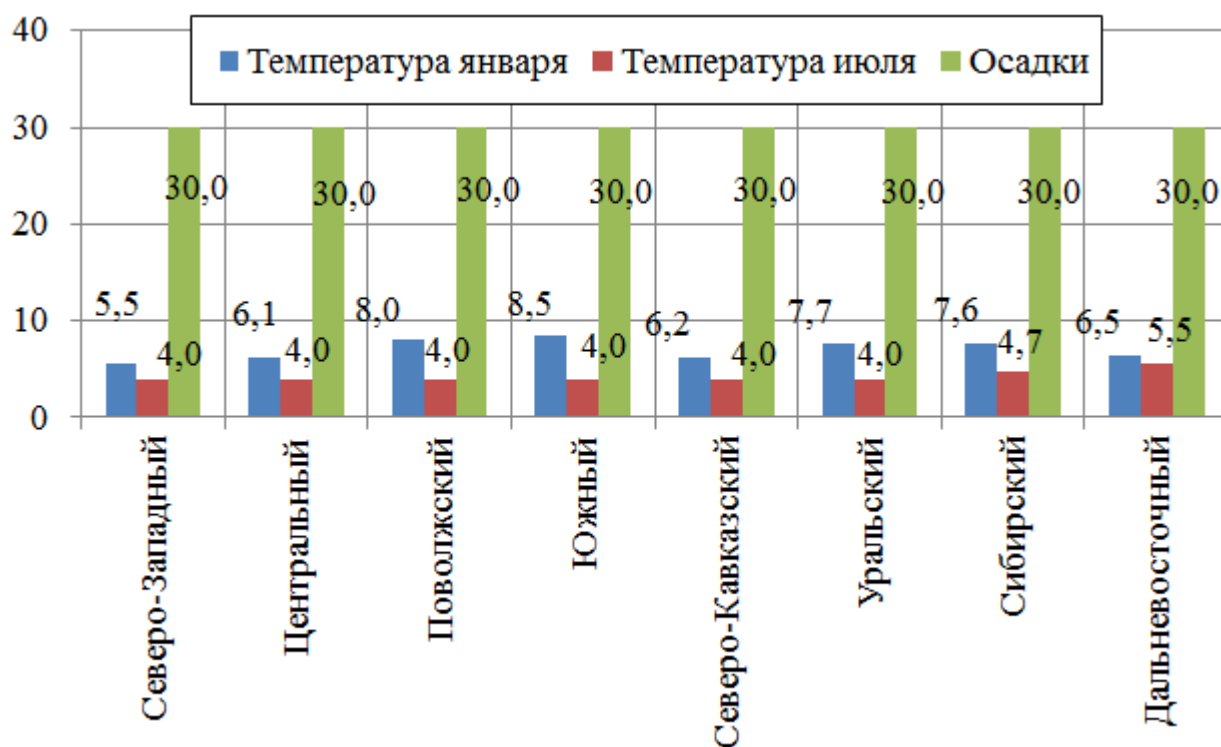


Рис. 9.1. Прогноз отклонения от современного уровня средних температур января и июля (°C), среднегодовой суммы осадков (мм) по сценарию канадского климатического центра (аридный тип) в разрезе федеральных административных округов России.

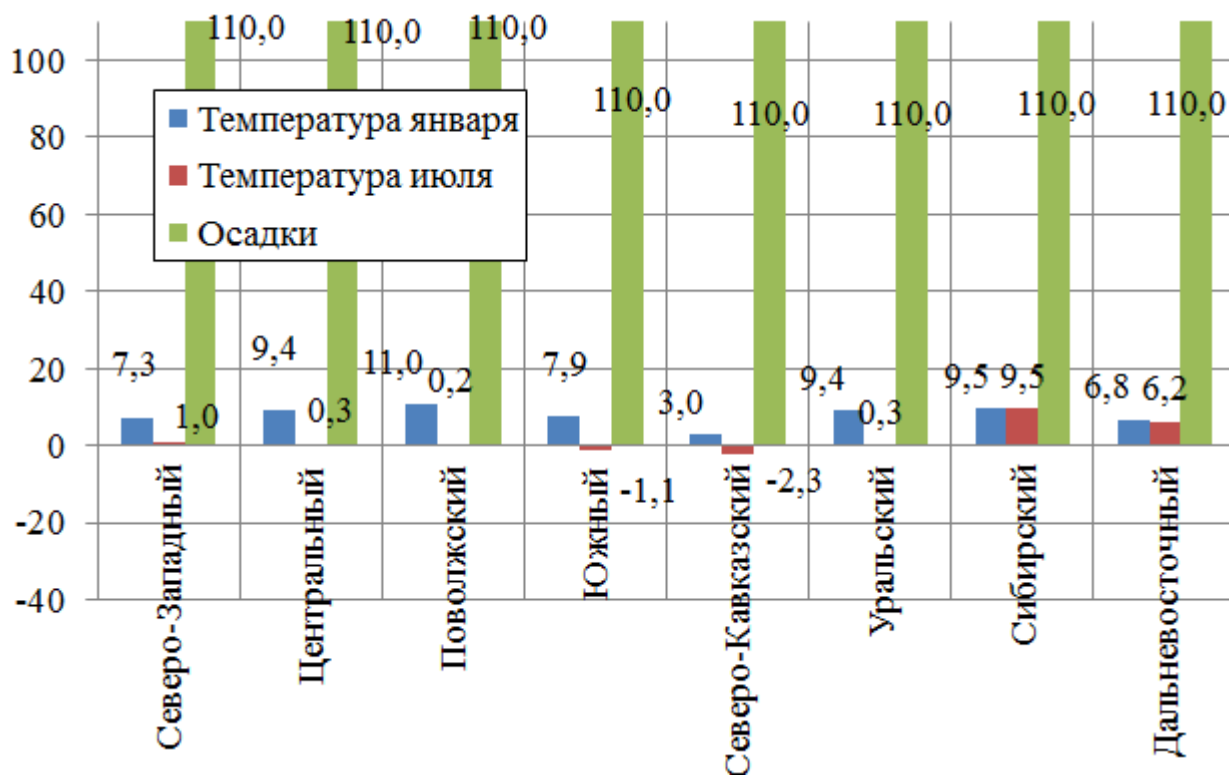


Рис.9.2.Прогноз отклонения от современного уровня средних температур января и июля, среднегодовой суммы осадков по сценарию Микулинского ледниковья (гумидный тип) по федеральным административным округам

## России

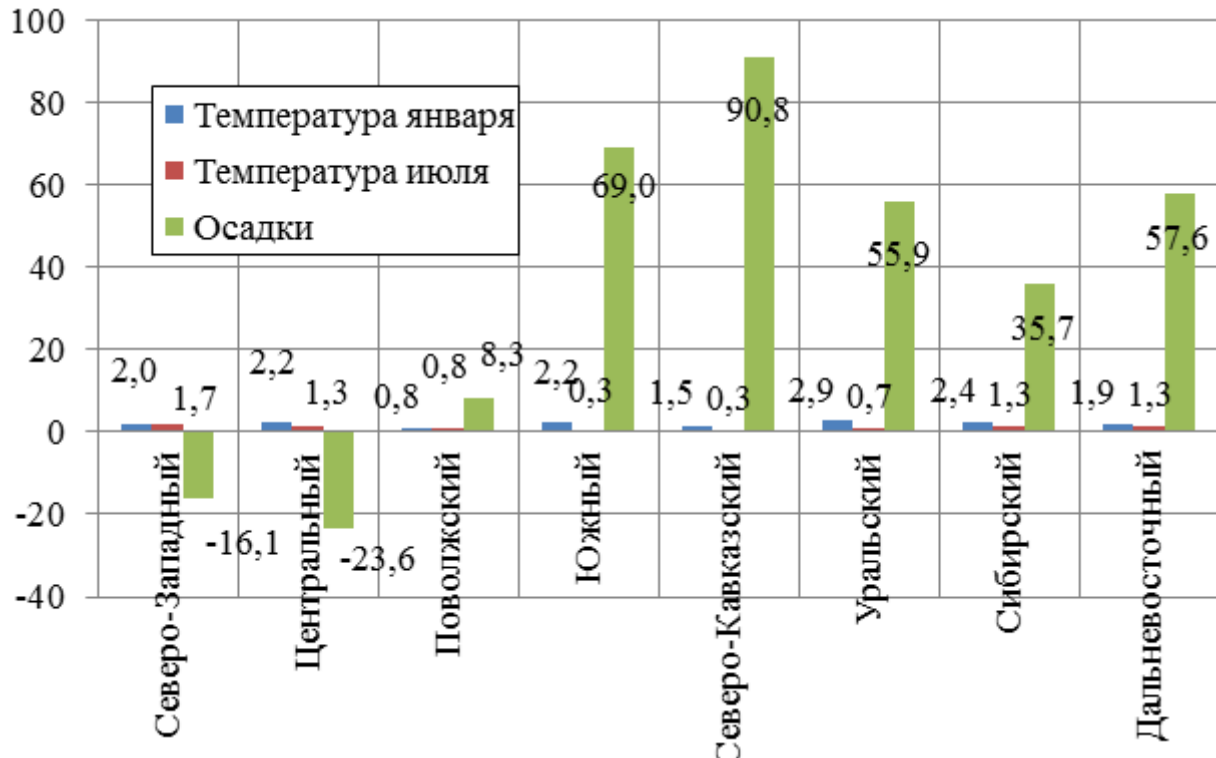


Рис.9.3. Прогноз отклонения от современного уровня средних температур января и июля, среднегодовой суммы осадков по сценарию оптимуму магадлоцена (гумидный тип) по федеральным административным округам России.

Некоторые глобальные климатические модели (ГКМ) успешно воспроизвели положительные вековые тренды приземной температуры воздуха в XX веке в зависимости от концентрации парниковых газов для больших пространственных масштабов [2]. Современные модели позволяют удовлетворительно воспроизводить наблюдаемые средние годовые значения, сезонный ход большого числа гидрометеорологических величин. Однако оценки облачности и осадков имеют значительную неопределенность. Не вполне совершенны и расчеты климатических моделей высоты снежного покрова, содержания почвенной влаги. В результате этого оптимальным подходом к оценке влияния ожидаемых изменений климата на агросферу представляет прогноз с помощью имитационных моделей погода-урожай по набору климатических сценариев лучших моделей ГКМ с последующим содержательным обобщением результатов. В полной мере указанный прогноз пока никем не реализован, хотя расчеты по отдельным сценариям для ряда стран проведены [11,12].

Возможные к 2030 г. изменения агроклиматических условий Европейской части России для сценария A1FI (модель HadCM3 Гадлеевского Центра метеорологической службы Великобритании), предполагает быстрый рост содержания CO<sub>2</sub> в атмосфере за счет интенсивного использования ископаемых

видов энергии.

При потеплении по этому сценарию ожидается сильный рост как зимней, так и летней температуры воздуха (в среднем на 3,7-3,8<sup>0</sup>С), что практически не изменит степень континентальности климата. Ожидаются следующие значимые для сельского хозяйства изменения агроклиматических параметров (для Европейской территории России): продолжительность вегетационного периода возрастет на 26 суток, суммы эффективных температур повысятся на 7780, осадков на 26 мм. Рост фактического испарения составит 40 мм, а испаряемости - 141 мм. Содержание СО<sub>2</sub> в атмосфере по этому сценарию достигнет 29%. Увеличение расходной части водного баланса - испарения за теплый период года - значительно превысит рост осадков. Увеличение испаряемости приведет к значительному росту дефицита испарения. В результате засушливость климата повысится, о чем свидетельствует также повсеместное падение величин гидротермического коэффициента. Это будет сопровождаться уменьшением влагозапасов почвы в теплый период года. Тем не менее, ожидаемое падение влагозапасов не затронет, по-видимому, территорию Поволжья, о чем свидетельствует некоторый рост минимальных июльских влагозапасов почвы в этом районе.

Сценарий глобального изменения климата HadCM3-A1 FI для Европейской территории России можно охарактеризовать как сценарий аридного потепления [9]. Вместе с тем представляется более вероятным другой - гумидный тип глобального потепления, поскольку наблюдаемые до настоящего времени изменения климата на территории России более соответствуют этому типу моделей.

Рост температуры воздуха в январе по сопоставляемым сценариям отличается на 0,4<sup>0</sup>С, тогда как ожидаемый рост июльской температуры по ариднему сценарию - 5,1, а по гумидному - лишь 1,3<sup>0</sup>С. Понятно, что гумидный сценарий, предполагающий значительное снижение степени континентальности климата, гораздо более благоприятен для сельского хозяйства России.

Известны оценки возможных изменений урожайности зерновых и кормовых культур для гумидного и аридного сценариев (с учетом прямого влияния роста содержания СО<sub>2</sub> в атмосфере). Результаты расчетов по сценарию GFDL можно рассматривать как верхнюю, а по сценариям HadCM3 - как нижнюю границу ожидаемых изменений продуктивности сельского хозяйства.

При реализации благоприятного для сельского хозяйства России гумидного сценария следует ожидать роста урожайности, по крайней мере, до середины текущего столетия. В дальнейшем климатические условия для производства зерна, особенно на территории Черноземной зоны, по-видимому, будут ухудшаться. Средняя климатообусловленная урожайность зерновых к концу столетия может снизиться до современного уровня. При этом урожайность зерновых на территории Нечерноземной зоны будет превышать современную

на 10-30%, тогда как урожайность на территории Черноземной зоны упадет на 10-15%. Иными словами, ожидается перераспределение климатообусловленной урожайности в пользу Нечерноземной зоны. Наиболее значительным по этому сценарию ожидается снижение урожайности зерновых культур на юге Сибири (до 25%) [1].

Сценарии аридного изменения климата, рассчитанные по ГKM HadCM3, менее благоприятны. При реализации этих сценариев (A1FI и B2) уже в ближайшие годы можно ожидать падения климатообусловленной урожайности зерновых культур на Северном Кавказе в Поволжье и на Урале. По этим сценариям, в отличие от гумидных не ожидается какого-либо климатообусловленного роста урожайности в целом на Европейской территории России.

По мере развития глобального потепления будет изменяться физико-географическая зональность территории России. Прогнозируется длительное сокращение площади полярно-тундровой зоны. К моменту удвоения содержания CO<sub>2</sub> тундра в России может исчезнуть. Значительно сократится и площадь тайги, но расширится пояс широколистных лесов. Северная граница земледелия, совпадающая с изолинией сумм температуры воздуха 1000<sup>0</sup>С, к середине столетия приблизится к арктическому побережью на Европейской территории России. - площадь сельскохозяйственной зоны России при потеплении климата по сценариям GFDL и CCC возрастет до 4,8 млн. км<sup>2</sup>, то есть примерно в 5 раз. Изолиния сумм температур 2200<sup>0</sup>С определяет северную границу территории, где могут созреть ранние сорта кукурузы, то есть возможно интенсивное земледелие. По площади таких земель Россия сильно отстает от США. При удвоении содержания CO<sub>2</sub> в атмосфере площадь земель с суммами температур 2000-3000<sup>0</sup>С может увеличиться почти в 5 раз. Более того, на территории России появится зона (площадью не менее 1 млн км<sup>2</sup>), где суммы температур выше + 10<sup>0</sup> превысят 3400<sup>0</sup>С. Здесь может быть создана база субтропического земледелия по аналогии с Узбекистаном и Азербайджаном).

Уже к 2015 гг. граница выращивания среднеспелых сортов кукурузы на зерно и позднеспелых сортов подсолнечника продвинется к северу до широты Москва-Владимир-Йошкар-Ола-Челябинск, что соответствует положению изолинии сумм активных температур, равных 2500<sup>0</sup>С. Окажется возможным расширение посевов сахарной свеклы до широты Иваново-Ижевск-Курган. Увеличение тепловых ресурсов на Северном Кавказе создает возможные предпосылки для промышленного возделывания здесь хлопчатника, позднеспелых сортов винограда, арахиса, а также ряда ценных технических масличных культур.[1].

Проблема устойчивого функционирования природно-агроэкологического комплекса решается через применение мелиоративных и агротехнологий, адаптируемых к изменяющимся условиям внешней среды [6]. Мелиоративные режимы и агротехнологии связаны в единую систему управления Агро ландшафтом через водные, фито-, химические и другие виды мелиораций ,

севообороты, системы обработки почвы, внесение удобрений и применение средств защиты растений. Оценивая в стратегическом плане планирование мелиоративных и Агро мероприятий на долгосрочную перспективу, необходимо в основу положить принципы управления факторами продуктивности и проектирования севооборотов, адаптированных к новым условиям среды.

При ориентации на тот или иной сценарий необходимо оценить ретроспективно, по какому типу развивается процесс наблюдаемого потепления. Соответствующими должны быть и рекомендации по адаптации мелиоративных режимов, в которых бы соблюдался принцип инерционности выбираемого сценария.

Таблица 9.2

Типы процессов потепления климата [1]

Модель, сценарий	HadCM3-A1P1	МРК (ГГО)
Район	(аридный)	(гумидный)
Температура воздуха, °С		
июль	5,1	1,3
январь	5,2	4,8
Сумма температур выше 10 <sup>0</sup> С <sup>с</sup>	1094	266
Вегетационный период, сут.	34	13

В систему оценки агроклиматических условий [11] включены термические показатели: среднегодовая температура, среднемесячные температуры самого холодного и самого тёплого месяцев, абсолютные минимумы, минимальные и максимальные среднемноголетние температуры, суммы температур выше 15, 10 и 5<sup>0</sup>С (длительность вегетационного периода), даты прохождения среднесуточных температур через 0, 5, 10 и 15<sup>0</sup>С весной и осенью, длительность безморозного периода, даты устойчивого прогревания почвы до 5 и 10<sup>0</sup>С на глубине 5 и 10 см, сумма среднесуточных температур почвы выше 10<sup>0</sup>С на глубине 5 и 10 см; показатели влагообеспеченности: сумма осадков за год, сумма осадков за вегетацию, коэффициент увлажнения, вероятность выпадения ливней и проявления засух, запасы продуктивной влаги в почве. Этот перечень входит в число прогнозируемых климатических показателей при развертывании их в пространстве и во времени по известным методикам для любой редакции прогноза глобальных изменений климата [1].

Ситуация с водными ресурсами в целом в связи с потеплением климата, несомненно, усложняется. Справедливо говорить и о возможном уменьшении стока в южных регионах страны и увеличении в северных. Линия изменения знака стока, по прогнозам, проходит с северо-запада на восток и примерно совпадает с нулевой изотермой среднегодовой температуры воздуха и почти



точно совпадает с изохорой 6-месячной продолжительности снежного покрова. Это обстоятельство связано с тем, что основная часть стока рек формируется на территории за счет весеннего снеготаяния.

По ряду прогнозов в средних и высоких широтах возраст 100-600 мм/год количество атмосферных осадков и на 200-400% испаряемость. Разность между прогнозным увеличением осадков и испарением, то есть эффективные осадки, определяют поверхностный и подземный сток, в северной части страны увеличатся на 50-200 мм в год. Если учесть, что сейчас в этих районах выпадает осадков 600-700 мм/год, то прогнозное увеличение на 10-20% вызовет резкий рост переувлажненных и заболоченных земель, а также ускорит процессы подтопления хозяйственно ценных территорий. Возрастает необходимость в проведении осушительных мелиораций в гумидной зоне. В то же время, хотя за последние десятилетия уже увеличилось количество осадков, и существенно повысилась температура воздуха в зимний период, однако, по данным наблюдений по регионально сети скважин, подъем уровня грунтовых вод отмечается не по всем [1].

В речных бассейнах, дренирующих основные водоносные горизонты, начиная со второй половины 70-х годов XX века, отмечается фаза повышенной водности. В бассейнах Верхней Волги, Оки, Вер. Камы увеличение стока составляет 11-14%.

Наиболее действенными видами мелиорации в условиях российского земледелия, где почти 80% пашни расположено в зоне неустойчивого и свыше 10% - избыточного увлажнения атмосферными осадками, являются орошение засушливых и осушение переувлажненных земель. О высокой эффективности водных мелиораций свидетельствует опыт мирового и отечественного земледелия, данные исследовательских учреждений и землепользователей.

В мировом земледелии продукцией, получаемой с орошаемых земель, занимающих около 17% пашни, питается почти половина человечества. В Российской Федерации в конце 1980-х годов с орошаемых земель, занимавших около 5% пашни, получали продукцию в стоимостном эквиваленте равную 15-17% валовой продукции растениеводства. По данным Всероссийского НИИ орошаемого земледелия, в среднем за 24 года продуктивность озимой пшеницы при орошении составила 6,42, а кукурузы 8,3 т/га зерна, что в 3,7 и 4,6 раз выше по сравнению с неорошаемой при коэффициенте устойчивости урожайности 0,93. Базовым средством интенсификации земледелия, направленным на увеличение объемов производства продовольствия уровня продовольственной безопасности и придания развитию аграрного сектора экономики устойчивости, должны стать водные в комплексе с другими видами мелиорации земель.[1,6]. **Основой разработки по вопросам учета влияния изменения климатических факторов при обосновании управления мелиоративными режимами на орошаемых и осушаемых землях является концепция Федеральной целевой программы Минсельхоза «Развитие мелиорации сельскохозяйственных земель России на период до 2020г».**

В соответствии с этой концепцией стратегической целью является обеспечение продовольственной безопасности страны, повышение конкурентоспособности, рентабельности и устойчивости сельскохозяйственного производства независимо от глобальных и региональных изменений климата и природных аномалий за счет восстановления и развития мелиоративного комплекса АПК, эффективного использования природных ресурсов при их сохранении для будущих поколений. При рассмотрении вопросов **учета влияния изменения климатических факторов при обосновании управления мелиоративными режимами на орошаемых и осушаемых землях** используется комплексный подход, включающий балансовые, биоклиматические методы, оценки технического состояния мелиоративных систем, прогноз почвенного плодородия на основе вещественно-энергетических расчетов, обоснование необходимости развития различных видов мелиораций, прогнозы развития , экологически и экономические оценки.

Основные задачи:

- прогноз экономического развития с учетом повышения конкурентоспособности, рентабельности и устойчивости сельскохозяйственного производства на перспективу до 2020 г.с учетом необходимости восстановления и развития мелиоративного комплекса АПК[6];
- составление баланса ресурсов и оценка обеспеченности населения продовольствием; - обоснование необходимости мелиоративных мероприятий при разных сценариях климатических изменений;
- оценка обеспеченности мелиораций водными ресурсами и загрязняющей нагрузки на водные объекты [4];
- мероприятия по повышению эффективности использования природных ресурсов и по их сохранению для будущих поколений.

### **Обоснование необходимости мелиоративных мероприятий**

В процессе обоснования мелиоративных мероприятий выполняется анализ агроклиматических ресурсов. Оценивая агроклиматические ресурсы вегетационного периода для Центрального Федерального округа без учета климатических изменений и под воздействием возможных его изменений, получены довольно интересные результаты.

В качестве исходной информации приняты данные о влагозапасах в почве и температуре. На основании данной информации выполнено сопоставление кривых продуктивности нескольких видов растениеводства статистическому распределению агроклиматических показателей. Требования растений к почвенным влагозапасам рассчитывались по методике В.В.Шабанова [8]. Результаты исследований для варианта без учета климатических изменений, а также для гумидного сценария иллюстрируются номограммами Приложение

1,2,3,4. В примере расчета принято, что продуктивные влагозапасы увеличатся на 15%.

Таблица 9.3.

Влияние климатических изменений на агроклиматические ресурсы по гумидному сценарию

Характеристика	Влияние
Скорость ветра	Уменьшение на 30-40%
Накопление снега	Увеличение на 25-30%
Температура воздуха:	
<i>Летом</i>	Уменьшение на 2°-3°С
<i>Осенью</i>	Увеличение на 1°-2°С
Осадки за год	Увеличение на 80-100 мм

На основании номограмм составлены табл. 9.4. и 9.5. характеризующие направленность изменения необходимости в мелиоративных мероприятиях для зерновых и овощей при развитии климатических изменений по гумидному сценарию.

Таблица 9.4.

Вероятность мелиорации и оптимальных условий без учета ( $P^1$ ) и с учетом ( $P^2$ ) климатических изменений для зерновых

Фаза		1	2	3	Среднее
Оптимальные условия	$P^1_{opt}$	22	57	32	Вероятность оптимальных условий в среднем снижается на 9 %
	$P^2_{opt}$	11	47	39	
Осушение	$P^1$	78	28	0	Вероятность необходимости в орошении в среднем повышается на 13%
	$P^2$	89	46	8	
Орошение	$P^1$	0	15	68	Вероятность необходимости осушения в среднем снижается на 8%
	$P^2$	0	7	53	

Таблица 9.5.

Вероятность мелиорации и оптимальных условий без учета ( $P^1$ ) и с учетом ( $P^2$ ) климатических изменений по гумидному сценарию для овощей

Фаза		1	2	3	Примечания
Оптимальные условия	$P^1_{opt}$	63	55	15	Вероятность оптимальных условий
	$P^2_{opt}$	18	55	25	

					снизилась в среднем на 11%
Осушение	P <sup>1</sup>	37	0	0	Вероятность необходимости осушения увеличилась в среднем на 19%
	P <sup>2</sup>	82	11	0	
Орошение	P <sup>1</sup>	0	45	85	Вероятность необходимости орошения снизилась в среднем на 7%
	P <sup>2</sup>	0	34	75	

**Вывод:** при изменении климата по гумидному сценарию для Центрального Федерального округа вероятность оптимальных условий несколько снижается (11 %), возрастает вероятность необходимости осушения (19 %), но вместе с тем снижается вероятность необходимости орошения (7 %), что положительно может сказаться на водохозяйственном балансе, так как частота орошения, а следовательно, и объемы водозабора снижаются.

Результаты исследований для варианта аридного сценария иллюстрируются номограммами Приложение 5,6. В примере расчета принято, что продуктивные влагозапасы уменьшатся на 15%.

На основании номограмм составлены табл. 9.6. и 9.7., характеризующие направленность изменения необходимости в мелиоративных мероприятиях для зерновых и овощей при развитии климатических изменений по ариднему сценарию.

Таблица 9.6.

Вероятность мелиорации и оптимальных условий без учета (P<sup>1</sup>) и с учетом (P<sup>2</sup>) климатических изменений для зерновых по ариднему сценарию

Фаза		1	2	3	Среднее
Оптимальные условия	P <sup>1</sup> <sub>opt</sub>	22	57	32	Вероятность оптимальных условий в среднем снижается на 23 %
	P <sup>2</sup> <sub>opt</sub>	23	7	0	
Осушение	P <sup>1</sup>	78	28	0	Вероятность необходимости в осушении в среднем снижается на 25%
	P <sup>2</sup>	0	18	18	
Орошение	P <sup>1</sup>	0	15	68	Вероятность

	$P^2$	77	75	82	необходимости орошения в среднем повышается на 51%
--	-------	----	----	----	--

**Вывод:** при изменении климата по аридному сценарию для Центрального Федерального округа вероятность оптимальных условий снижается (в среднем на 23 %), возрастает вероятность необходимости орошения (на 51 %), (выращивание зерновых без орошения на всех фазах развития приведет к потере продуктивности на 77-82%) но вместе с тем снижается вероятность необходимости осушения (25 %), избыток влаги в почве может снизить продуктивность 2-й и 3-й фазах развития на 18%, что в пределах допустимого (до 20%) при планировании урожайности.

Таблица 9.7.  
Вероятность мелиорации и оптимальных условий без учета ( $P^1$ ) и с учетом ( $P^2$ ) климатических изменений по аридному сценарию для овощей

Фаза		1	2	3	Примечания
Оптимальные условия	$P^1_{opt}$	63	55	15	Вероятность оптимальных условий снизилась в среднем на 24%
	$P^2_{opt}$	42	17	0	
Осушение	$P^1$	37	0	0	Вероятность необходимости осушения увеличилась в среднем на 19%
	$P^2$	0	18	0	
Орошение	$P^1$	0	45	85	Вероятность необходимости орошения увеличилась в среднем на 27%
	$P^2$	58	65	100	

**Вывод:** при изменении климата по аридному сценарию для Центрального Федерального округа вероятность оптимальных условий снижается (24 %), возрастает вероятность необходимости орошения (27 %), (выращивание овощей без орошения на всех фазах развития приведет к потере продуктивности на 58-100%) но вместе с тем снижается вероятность необходимости осушения (27 %),

избыток влаги в почве может снизить продуктивность 2-й фазы развития на 18%, что в пределах допустимого (до 20%) при планировании урожайности.

### **Изменение коэффициентов увлажнения с учетом гумидного и аридного сценариев климатических изменений по ФО РФ.**

Прогноз изменения величин коэффициента увлажнения выполняется на основе составления водных балансов территории речных бассейнов рассматриваемых регионов в компьютерном режиме программы в формате Excel. При этом рассчитываются составляющие важные для формирования стока реки и влияющие на водные ресурсы рассматриваемых объектов как потенциальных источников воды для орошения и приемников дренажных вод.

Коэффициент увлажнения рассчитывается по формуле

$$K_u = O_c / E_o, \quad (1)$$

где  $O_c$  – величина осадков (годовые), мм;  $E_o$  – испаряемость, мм.

Примеры расчетов прогнозных  $K_u$  по гумидному и ариднему сценариям климатических изменений приведены на диаграмме.

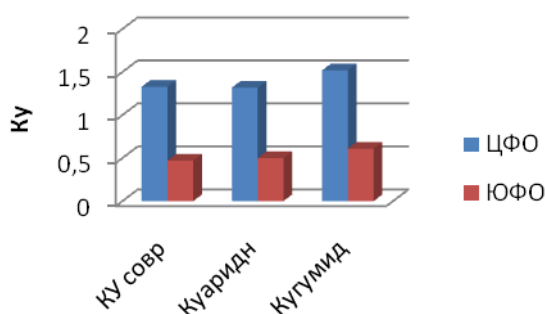


Рис. 9.4. Прогноз изменения величины коэффициента увлажнения

На основании составления прогнозов изменения коэффициента увлажнения для 2-х федеральных округов видна возможность значительного увеличения  $K_u$  на 15% для ЦФО до 44% - для ЮФО и незначительное уменьшение  $K_u$  на 6% для ЮФО и на 2% для ЦФО при гумидном и аридном сценариях климатических изменений, соответственно. Прогнозные климатические изменения в значительной степени влияют на формирование подземного стока рек в сторону его уменьшения как при гумидном на 9,4-14мм так и при аридном на 9,4 -41 мм, сценариях климатических изменений, что может сказаться на уменьшении водности рек в меженные периоды.

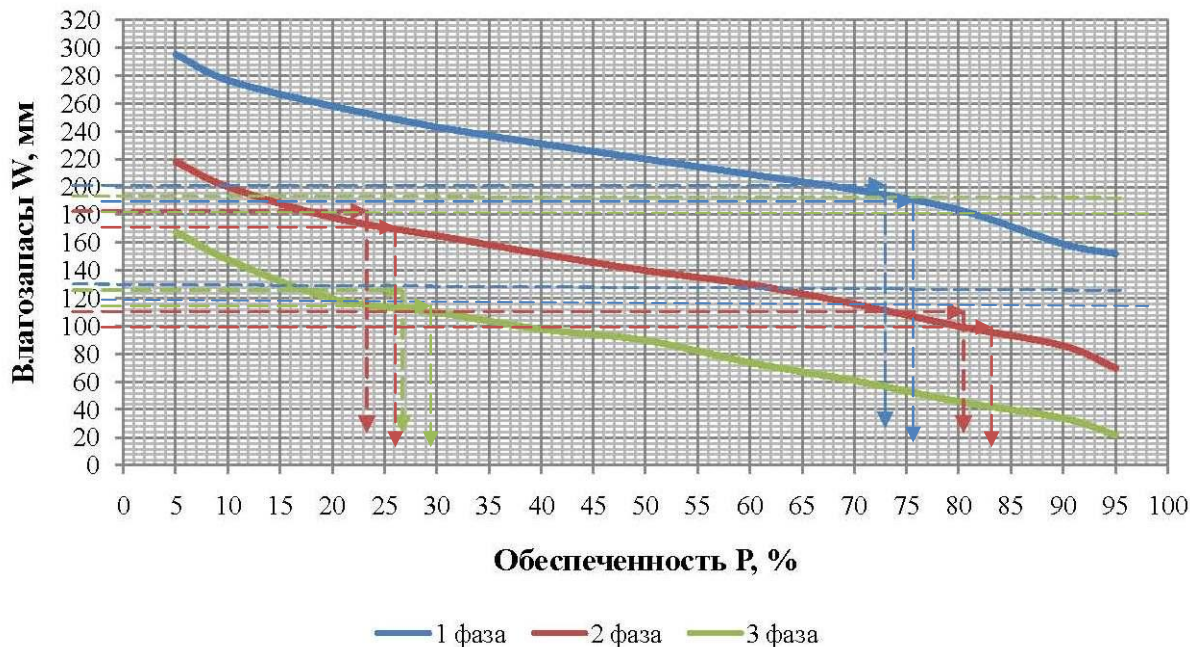
### **Библиографический список**

1. Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве России. под ред. акад. Россельхозакадемии А.Л.Иванова, В.И. Кирбшина, - М.: Россельхозакадемия, 2009,
2. Киселев А.В. Климат в прошлом, настоящем и будущем, -М.: МАИК «Наука-интерпериодика», 2011, 352с.

3. Кокорин А.О., Кураев С.Н. На пути к устойчивому развитию// Экологический вестник, 2007, №7, С22-34.
4. Распоряжение правительства РФ от 28.07.2011 о концепции федеральной целевой программы 5."Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012 - 2020 годах"
5. IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change /Solomon., S.,D. Gin, M. Manning Z. Chen, at all. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, N.Y., USA, 996 p.
6. Концепция Федеральной целевой программы «Развитие мелиорации сельскохозяйственных земель России на период до 2020 года», проект Минсельхоз РФ,-М.: изд.-во МСХ РФ
7. Иванов А.Л. Проблемы глобального проявления техногенеза и изменений климата в агропромышленной сфере//Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата – М.: 2003 С.78-79
8. Шабанов В.В., Никольский Ю.Н. Расчет проектной урожайности в зависимости от водного режима мелиорируемых земель.//«Гидротехникаимелиорация», 1986. № 9
9. Alcamo J, Nicolai Dronin, Marcel Endejan, GenadyGolubev, AndreyKiriltenko, Will Climate Change Affect 11.Food and Water Security in Russia? Summary report of the International Project on Global Environmental Change and its Threat o Food and Water Security in Russia. Draft 13 February 2003, 25 p.
10. Иванов А.Л. и др. О развитии агротехнологий и формирование государственной технологической политики с сельском хозяйстве.- М. 2005.
11. Сиротенко О.Д., Грингоф И.Г. Оценка влияния ожидаемых изменений климата на сельское хозяйство РФ –М: //Метеорология и гидрология, 2006, №8.С.83-95.
12. Кириленко А.П., Алькамо Дж., Голубев Г. И др. Моделирование влияния изменений климата на сельское хозяйство- //Доклады АН, 2004, Т.396,№6, С. 531-537.

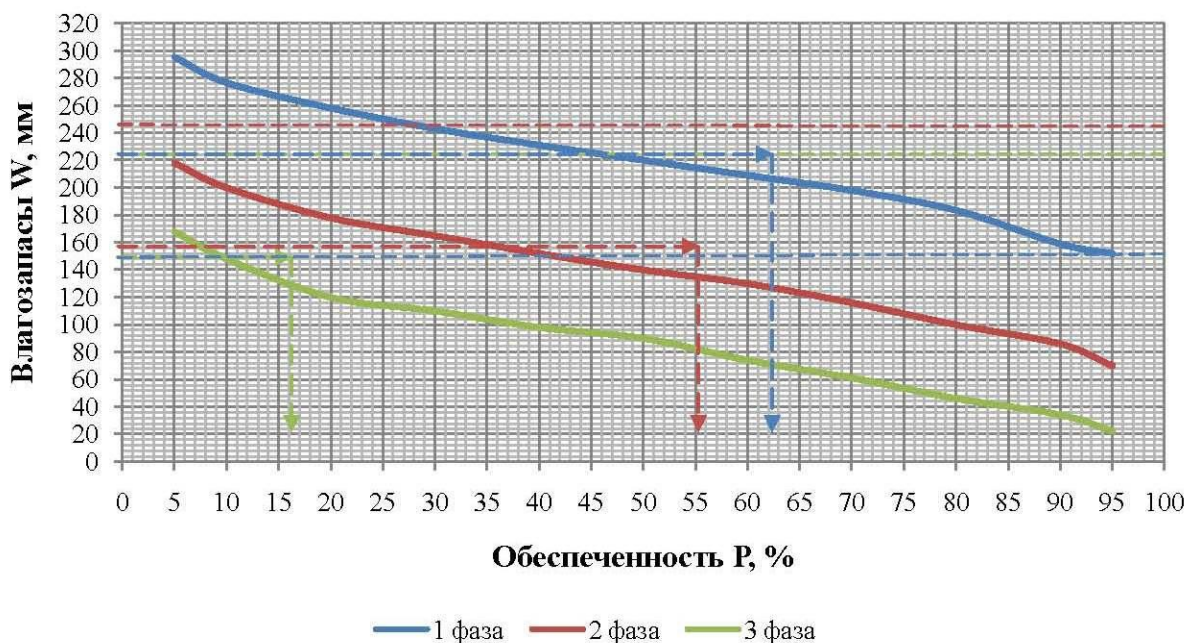
**Приложение 1** Кривые распределения влагозапасов для зерновых без учета климатических изменений

**Кривые распределения влагозапасов  
(без учета климатических изменений)  
зерновые**



**Приложение 2** Кривые распределения для овощей без учета климатических изменений

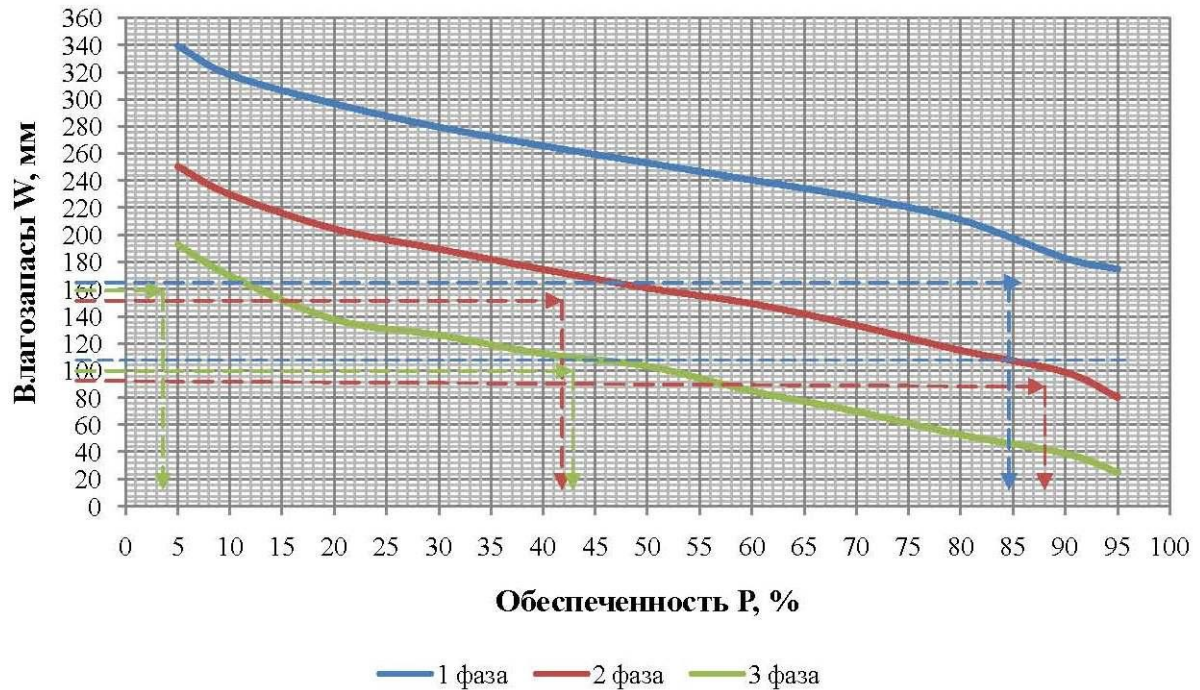
**Кривые распределения влагозапасов  
(без учета климатических изменений)  
овощи**





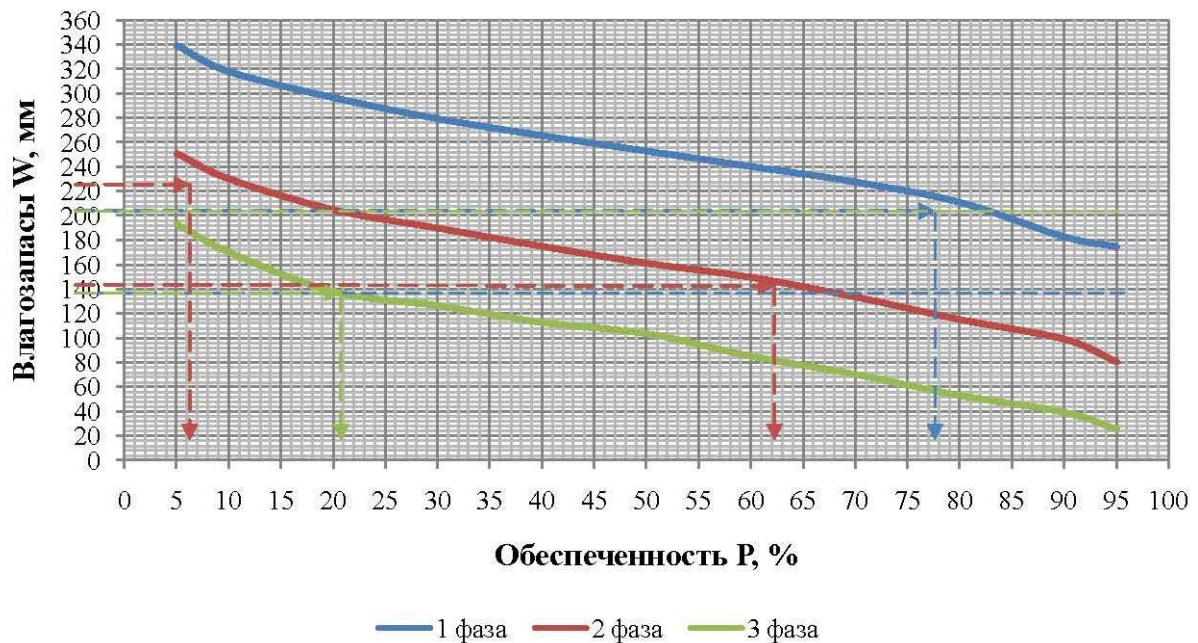
**Приложение 3** Кривые распределения для зерновых с учетом климатических изменений по гумидному сценарию

**Кривые распределения (гумидный сценарий)**

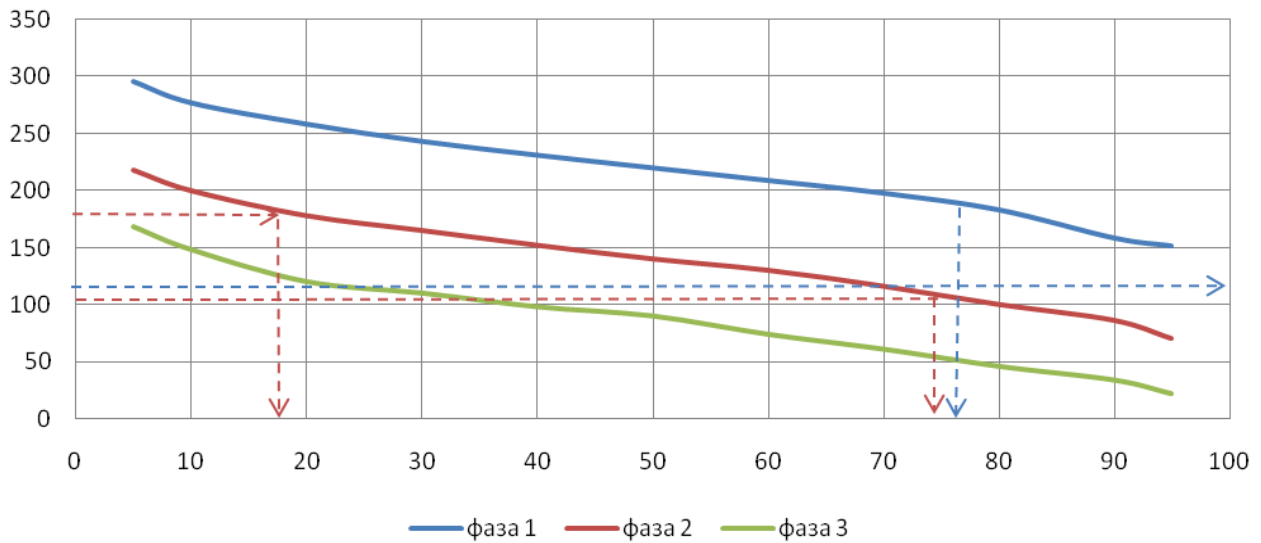


**Приложение 4** Кривые распределения для овощей с учетом климатических изменений по гумидному сценарию

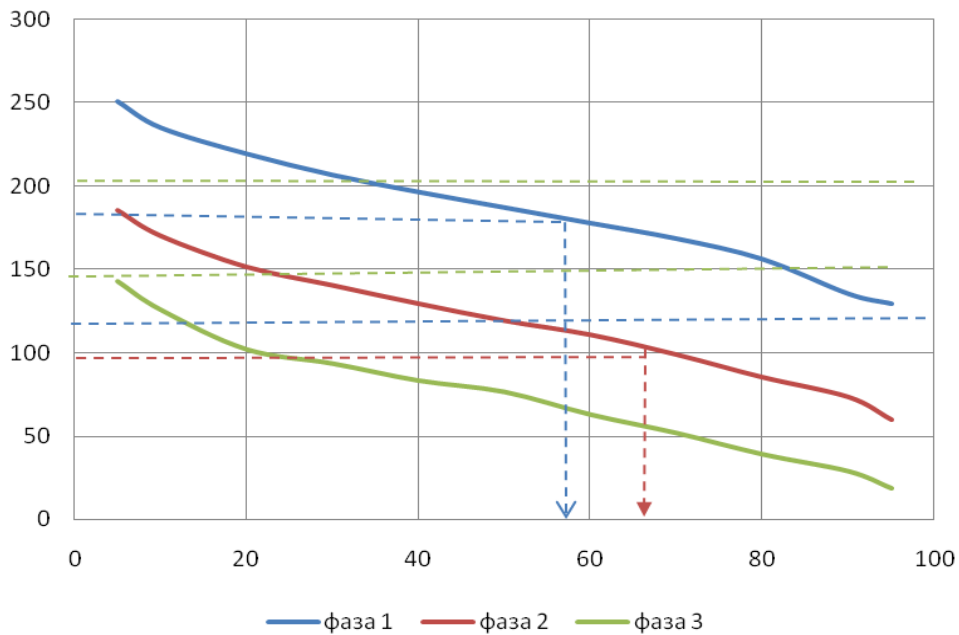
**Кривые распределения (с учетом климатических изменений по гумидному сценарию)**



**Приложение 5** Кривые распределения для зерновых с учетом климатических изменений по аридному сценарию  
**Аридный сценарий (зерновые)**



**Приложение 6** Кривые распределения для овощей с учетом климатических изменений по аридному сценарию  
**Аридный сценарий (овощи)**



## Глава 10.

### МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОД С ПОМОЩЬЮ БИОИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

Одной из ключевых задач в реализации концепции устойчивого развития является замена традиционных технологий производства на безотходные, ресурсо- и энергосберегающие.

Природные воды Земли обладают способностью к самоочищению. В реках процесс самоочищения происходит на плесах и перекатах, где вода насыщается кислородом; в омутах, где вода отстаивается и осветляется; в устьевых и вдольбереговых зонах, заросших воздушно-водной растительностью (ВВР) - камышом, тростником, рогозом и т. п., очищающими воду от различных примесей. Периодическая промывка русла происходит во время паводков.

В последние годы в России и за рубежом проводятся работы по изучению возможности управляемого использования в водоохраных сооружениях природных механизмов самоочищения, в частности, сообществ высшей водной растительности (ВВР). Совместными усилиями ученых многих стран был разработан новый тип очистных сооружений дренажного стока для малых населенных мест, небольших предприятий, отдельно стоящих коттеджей, размещенных в сельской местности. В основе метода лежат экосистемные механизмы естественных водных объектов. В России названные очистные сооружения называют «биоплато» и «биоинженерные сооружения», в Германии – «ботанические площадки», в Великобритании — «тростниковое ложе». В научной литературе сооружения данного типа именуется «ConstructedWetlands» или «ArtificialWetlands».

Очистительная способность сооружений фитотехнологии не уступает по своей эффективности дорогостоящим традиционным очистным сооружениям. Многочисленными многолетними наблюдениями на действующих сооружениях в различных странах установлены высокие показатели качества очищенной воды:

Взвешенные вещества.....	90...95%
Органические вещества по БПК <sub>полн</sub> ...	95...98%
Азот и фосфор.....	90...70%
Бактериологическое загрязнение.....	99...99,5%

Одновременно существенно повышается содержание кислорода за счет фотосинтетической аэрации воды. Довольно простые сооружения «биоплато» могут вернуть к жизни практически уничтоженные цивилизацией городские реки.

При очистке сточных вод чаще всего используют такие виды ВВР, как камыш, тростник озерный, рогоз узколистный и широколистный, рдест гребенчатый и курчавый, спироделламногочеренная, элодея, водный гиацинт (эйхорния), касатик желтый, сусак, стрелолист обычный, гречиха земноводная,

резуха морская, уруть, хара, ирис и пр. Как показали исследования, корневая система рогоза имеет высокую аккумуляционную способность относительно тяжелых металлов. Концентрация металлов в корневой системе рогоза, который рос на берегах шламонакопителей электростанций, достигала (мг/кг): железа— 199,1, марганца — 159,5, также хорошо он поглощает цинк и медь. Известно, что камыш имеет высокие адаптивные свойства и способен прорасти в очень загрязненных промышленными сточными водами водоемах. Он способен удалять из воды ряд органических соединений, в том числе фенолы, анилины и прочие органические вещества. Биоплато с ВВР отличаются значительной окислительной способностью благодаря созданию биопленки гидробионтов (перифитона) на поверхности инертного субстрата и погруженной части корневищ и стеблей ВВР, находящихся в состоянии симбиотического взаимодействия. Часть биоценоза микроорганизмов находится во взвешенном состоянии в виде хлопьев, а также образует пласт естественных отложений — бентос, в котором проходит активный процесс анаэробного разложения органических загрязнений. Значительную роль в процессах доочистки выполняют сапрофитные бактерии, которые вместе с ВВР, успешно выполняют роль дезинфектантов за счет своих продуктов обмена, что в ряде случаев позволяет избежать использование систем хлорирования или озонирования воды. Накопление растениями биогенных элементов, увеличивается под действием света, зависит от рН воды, а также от видовых особенностей растений, густоты биомассы и ряда других факторов, а именно — температуры и кислородного режима. Очистные системы вторичной и третичной очистки бытовых сточных вод, основанные на использовании элодеи, пригодны для использования в умеренном климате, где могут круглый год удалять биогенные элементы из сточных вод.

Необходимость и принципиальную возможность управляемого использования очистительной способности высших водных растений отмечали еще советские ученые А. В. Францев, В. С. Каминский, П. Г. Кроткевич, А. И. Мережко, О. П. Окснюк, И. Д. Родзиллер. Во многих странах Америки довольно широко используются системы очистки шахтных вод на плантациях камыша и тростника. Описаны сооружения с камышовой растительностью для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод в Нидерландах, Японии, Китае; для очистки загрязненного поверхностного стока в Норвегии, Австралии и в других странах. Стойкость камыша к действию больших концентраций загрязняющих веществ позволила довольно успешно использовать его для очистки сточных вод свиноводческих комплексов в Великобритании. Подобные сооружения построены и активно эксплуатируются для поселков с населением от 500 до 5000 человек во многих странах Европы и Америки. В Европе успешно функционирует уже более 15000 подобных очистных сооружений.

На совещании у Председателя Правительства Российской Федерации в городе Ростове-на-Дону (протокол от 15 июля 2008 года № ВП-П9-11) при рассмотрении вопросов повышения эффективности и обеспечения

комплексного использования водных ресурсов в РФ принято решение о разработке Водной стратегии РФ на период до 2020 года, определяющей основные направления действий по совершенствованию системы управления в сфере использования, охраны водных объектов, развития и модернизации водохозяйственного комплекса РФ, с учетом интересов различных категорий водопользователей, в том числе водопользователей агропромышленного комплекса. По объему водопотребления только мелиоративно-водохозяйственный комплекс АПК занимает третье место после промышленности и жилищно-коммунального хозяйства. Мелиоративно-водохозяйственный комплекс России представлен 9,1 млн га мелиорируемых земель, в том числе 4,3 млн га орошаемых и 4,8 млн га осушенных с общей балансовой стоимостью систем всех форм собственности 350 млрд рублей.

Состояние систем водоотведения в АПК не соответствует современным требованиям. Централизованную канализацию имеют 3% сельских населенных пунктов. Системы удаления, обработки и использования животноводческих стоков нуждаются в восстановлении и технической модернизации. Значительная часть мелиоративных объектов нуждается в реконструкции и модернизации. Более 2 млн га орошаемых и осушенных земель находятся в неудовлетворительном состоянии.

Состав мероприятий для решения стратегических задач:

- повышение качества очистки сточных вод на базе рационального и экономного использования воды;
- внедрение высокоэффективных и экологически чистых технологий очистки и обеззараживания воды;
- применение прогрессивных методов очистки, обработки и обеззараживания воды;
- создание замкнутых систем водопользования на основе технологии регулирования качества и внутрисистемного использования коллекторно-дренажных вод.

Опыт применения биоинженерных сооружений, накопленный во многих странах, показывает широкие возможности и высокую эффективность использования БИС для различных водохозяйственных целей, таких как: очистка и доочистка сточных вод различных участников водохозяйственного комплекса (коммунально-бытовые, животноводческие, промышленные возвратные воды, очистка дренажного стока), для водоподготовки воды перед подачей потребителю, для выращивания рыбы в рыбных прудовых хозяйствах, для очистки рассредоточенных стоков, организованных шоссейных и ливневых стоков, а также для восстановления самоочищающей способности природных водных объектов при восстановлении водных и прибрежных природных комплексов. Благодаря хорошей эффективности очистки от загрязнителей при сильной нагрузке, хорошей эффективности регулирования климата, улучшению экологического состояния, дешевизны эксплуатации и простоте ремонта, постепенно они начинают применяться в области очистки сточных вод,

промышленных вод, хозяйственных и животноводческих стоков, загрязненных вод рек, шоссейного стока, для доочистки сточных вод из очистных сооружений и при восстановлении природной среды.

В ходе эволюции растительность выработала ряд защитных механизмов, и ее присутствие способствует разложению многих химических соединений. Выделяя органогенный кислород и аэрируя воду, ВВР способствует окислению органических веществ бактериями, одновременно используя полученные продукты распада для своей жизнедеятельности. В некоторых случаях степень удаления органических примесей с помощью макрофитов выше, чем при использовании промышленных методов очистки воды в аэротенках. Иногда удается уменьшить общую биогенную нагрузку на водоем до 47 %. Например, в одной из лагун озера Бива (Япония) количество общего азота было снижено на 38,5 %, общего фосфора—на 93,0 % от их годового поступления с бытовыми сточными водами.

По функциональному назначению БИС делятся на:

1. сооружения, предназначенные для очистки сточных вод: ботанические площадки, биопруды с посадками ВВР, искусственно заболоченные участки и биоинженерные сооружения по регулированию качества воды;
2. сооружения для улучшения качества природных вод фито-фильтрационные устройства и различные виды биоплато.

В большинстве случаев ВВР представлена тростником обыкновенным, рогозом узколистым и широколистным, камышом озерным. Ботанические площадки нашли применение в основном для очистки и доочистки сточных вод горнодобывающей и химической промышленности. Степень очистки воды от соединений азота на таких площадках колеблется в пределах 2,5–97%, от тяжелых металлов—14–90 %, от нефти и нефтепродуктов может достигать почти 100%.

С 1967 г. Фирма АКНА(Италия) применяет БИС для очистки производственных сточных вод предприятий специализирующихся на производстве красителей и других продуктов органической химии. После предварительной очистки сточные воды, подвергаются контактированию с тростником, чемерицей, камышом, многолетним, плевелом и другими макрофитами. В результате очистки на 30% БПК и на 45% ХПК.

Наиболее распространены различные типы биоинженерных сооружений в **Германии**—как самостоятельные сооружения и как составная часть других очистных установок. В Германии БИС первый раз были применены в городе "Othfresen" в 1974 году. В посёлке "Kißleg" города "Schurtannen" в Германии, в котором проживает 13 семей, 70 человек, сточные воды очищаются с помощью 4-х БИС. Перед очисткой на БИС, воды проходят предварительную очистку на септиках. В жилом районе в городе "Luebeck" в Германии, сточные воды сначала поступают в первичный отстойник, чтобы устранить крупные твердые включения, жиры и масла, потом вода насосами подается в БИС для доочистки. Растительность в БИС-тростник, после прохождения БИС воды имеют малое

содержание азота и фосфора, вода на выходе из БИС может поступать в пруд и использоваться для полива зеленых насаждений поселка.

Бактерицидные свойства камыша озерного послужили основанием для постановки опытов по использованию его для очистки питьевой воды.. На основе опытов в г. Крефельл создана первая установка по подготовке питьевой воды. Между первой ступенью очистки (отстаивание и коагулирование) и третьей (почвенное фильтрование) существуют пруды, засаженные камышом с водообменом в 12... 14 сут. Подобные установки уже существуют в г. Берлине (р. Шпрее) и на водной станции угольного бассейна Северной Вестфалии (Гельсенкирхен).

В США по данным Ш.Рида, Р.Бастиана, В.Джевела (1979 г.) при использовании макрофитов удаляется 60 - 90 % взвешенных веществ, 40 - 90% соединений азота, 10-50 % соединений фосфора, БПК<sub>5</sub> снижается на 70 - 96 %. Для очистки 4,5тысм<sup>3</sup> воды использованы от 12 до 24 га природных заболоченных участков, 9,2 и 14,8 га участков, устроенных специально для улучшения качества воды. Исследование БИС в Америке началось в виде эксперимента в городе "Luisiana", "Wolverton" в 1993 году, в городе "Santee" в 1985 году и "Gersberg" в 1993 году и т.д. [1,2,3,4]

В России интересен опыт практического использования БИС в условиях Среднего Урала в виде проточного биологического пруда в качестве сооружения по доочистке биохимически очищенных городских сточных вод от взвешенных веществ, остаточных органических веществ и соединений азота. Городские сточные воды на 70% состояли из хозяйственно-бытовых и на 30% из промышленных сточных вод. Основные параметры пруда: площадь 125 га, длина 2300 м, ширина 540 м, средняя глубина 2,3 м, объем 2,87 млн м<sup>3</sup>, скорость течения воды 0,001...0,002 м/с, продолжительность пребывания воды в пруду 10...15 сут, нагрузка по органическим веществам, выраженная величиной БПК<sub>5</sub>, около 3 мг/га в 1 сут. Температура воды летом +18...20 °С, зимой +0,8...1,5 . Содержание взвешенных и легко окисляемых органических веществ, выраженных величиной БПК<sub>5</sub>, снижалось на 50%. Характерно, что даже в январе и феврале величина БПК<sub>5</sub> выходящей воды не превышала 3 мг/л.

При фильтрации грязной воды через заросли макрофитов, растущих по водоотводящим каналам на шахтах Подмосквовного угольного бассейна, выходящая вода полностью очищалась от взвешенных веществ и бактериальной загрязненности. Заросли макрофитов включали растения различных экологических групп: рогоз узколистный, осоку, хвощ болотный, частуху подорожниковую, череду трехраздельную, калужницу болотную, водокрас обыкновенный, ряски, элодею канадскую, что способствовало очищению воды не только летом, но и зимой за счет жизнеспособности прикрепленных и укоренившихся растений.

Водоохраный комплекс, состоящий из двухкаскадной системы специальных прудов - отстойника-деструктора и стабилизатора, разработан на БСК-4 (IV очередь Большого Ставропольского канала) в пойме реки Мокрая

Буйвола. Проектом предусмотрено строительство семи комплексов с биологической очисткой дренажных вод с целью их использования для орошения и защиты реки Кума от загрязнения.

С использованием перифитона разработан биоассимилятор, представляющий систему лотков на сбросном коллекторе. Биоассимилятор был внедрен на IV очереди Большого Ставропольского канала. Разработанные конструкции не требуют дорогостоящих материалов, и для эксплуатации не требуется энергия.

В России в последнее десятилетие получили развитие габионные очистные фильтрующие сооружения, создаваемые НПО «Эколандшафт» для очистки дождевых, талых и мочных сточных вод, поступающих с дорожного полотна. В 1997–1998 гг. при реконструкции Московской кольцевой автодороги была создана система отвода и очистки сточных вод с автодорожного полотна для защиты практически всех пересекаемых кольцевой магистралью водных объектов.

В дальнейшем габионные очистные фильтрующие сооружения были построены во многих местах московского региона: на Ленинградском, Киевском, Осташковском шоссе, при сооружении третьего транспортного кольца г. Москвы на Боровском и Киевском шоссе, пруды с культурой эйхорнии применяются для очистки стока снегоплавильных заводов в г. Москве.

Различные виды биоплато были исследованы в Институте гидробиологии АН УССР и ВНИИВО в 1975–85 гг. и реализованы при строительстве канала Днепр–Донбасс. Испытание инфильтрационного биоплато проведено на опытном полигоне в районе Орельковского водохранилища (канал Днепр - Донбасс) для очистки коллекторно-дренажных вод и поверхностного стока, снижение азота по аммиаку составило 80 - 95 %, по нитратам - 85 - 97 %. Исследования показали, что за счет инфильтрации через грунты степень очистки повышалась на 20 % по сравнению с ботаническими площадками, береговыми и русловыми биоплато.

В Китае исследование БИС началось в период 7-ого пятилетнего плана (1986-1990). В городе "Тяньцзинь" построили первое БИС в 1987 году ( $60000 \text{ м}^3$ ,  $1400 \text{ м}^3/\text{сут}$ , растительность - тростник); В Пекине построили БИС для очистки сточных вод из города ( $10000 \text{ м}^3$ ,  $500 \text{ м}^3/\text{сут}$ ); и в городе "Шэньчжэнь" построили БИС для очистки воды из поселка населением 7000 человек в 1990 году ( $8400 \text{ м}^2$ ,  $3100 \text{ м}^3/\text{сут}$ ). Все сооружения показали хорошую эффективность.

Обычно слабо загрязненная вода включает воды, выходящие из очистных сооружений. Это вода соответствует качеству между первой нормой (А) и третьей нормой.

Поверхностные воды, стекающие в озера и реки с территории и т.д. Иными словами, хотя сбросы воды из нескольких очистных станций уже достигли нормы сброса, эти воды для озер и рек ещё являются грязными водами, нагрузка на реку превышает способность самоочищения реки.



Таблица 10.1.

Норматив сброса допустимой концентрации загрязненных вод, мг/л.  
(Нормативы Китая)

	Загрязняющие вещества	1 норм.		2 норм.	3 норм.
		Норма А	Норма В		
1	БПК	50	60	100	120
2	ХПК	10	20	30	60
3	Взвешенные вещества	10	20	30	50
4	Животные и растительные масла	1	3	5	20
5	Нефть	1	3	5	15
6	Анионные ПАВ	0,5	1	2	5
7	Общий азот	15	20	-	-
8	NH <sub>4</sub>	5(8)	8(15)	25(30)	-
9	Общий фосфор	0,5	1	3	5
10	Цвет	30	30	40	50
11	pH	6-9	-	-	-
12	Количество кишечных бактерий, штук/л	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	-

В саду "Тун Цзянь" провинции "Цзянсу" , сточные воды собираются сортировочными подземными трубчатыми сетями, осаждаются в первичном отстойнике, подаются насосами, равномерно подаются на поверхность БИС, инфильтруются под действием силы тяжести, после прохождения через основание сооружения и ВВР, вытекают через дренажные трубы, илы, которые после обработки выпаривают и используются повторно (рис. 10.1.).

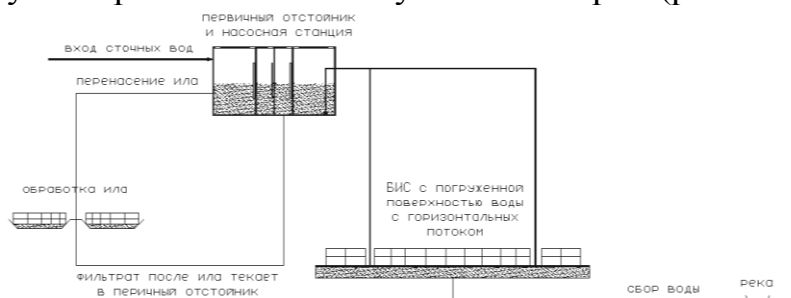


Рис 10.1. Технологическая схема работы БИС

В городе 'Лаохэ' есть предприятие переработки нефти, в загрязненной воде ХПК составляет 30000 мг/л, биоразлагаемость очень слабая, эти загрязненные воды проходят через жируловитель, выполняется флотация, и затем они подаются в анаэробные пруды, чтобы изменить величину ХПК в загрязненных водах. Потом они подаются в зимние накопительные пруды, в которых живут водоросли, кроме того, эти пруды могут решать проблемы очистки, в периоды когда БИС не работает. После прудов вода поступает в 2 БИС, каждый БИС имеет 8 рядов тростниковых посадок, время пребывания воды 5,5...11 сут, эффективность удаления нефти больше 80%, а эффективность снижения ХПК больше 70% , количество воды на выходе удовлетворяет 2-му нормативу сброса(КНР).

БИС в жилом районе "Восточное побережье" в городе "Шэньчжэнь" в Китае, для охраны окружающей среды и экономии водных ресурсов, сточные воды после очистки, поступают в искусственные озера или для озеленения после прохождения через БИС. Весь процесс очистки производится без применения насосов и других энергетических устройств, система экономичная, поэтому работает с 2003-го года до настоящего времени. (рис. 10.2.)[5]



Рис.10.2. Вид жилого района (полив зеленых насаждений производится сточными водами, прошедшими доочистку на БИС).

В провинции 'Юньнань' построено БИС для очистки сточных вод завода переработки резины. В загрязненной воде есть частицы резины, углеводы, жиры, растительной белок, в процессе производства используется аммиак, муравьиная кислота. Для гарантии эффективности очистки, загрязненные воды сначала проходят через отстойники.

После этого загрязненные воды подают в канал, в котором растут ВВР, время пребывания в канале 2,5÷3,8 сут, время прохождения через общую систему очистки 3,6÷5,5 сут. Качество воды на выходе удовлетворяет 2-му нормативу сброса, эффективность по ХПК 97,4%÷98,8%, по БПК<sub>5</sub> 97,5%÷98,8%, по NH<sub>3</sub>-N 63,9%÷88,8%.

Эффективность БИС для очистки загрязненных вод бумажных комбинатов тоже очень высокая, эффективность по ХПК 96,6%, БПК<sub>5</sub> 96,4%, по взвешенным веществам 77,7%.

Комбинированные БИС применяются в области рыбного прудового хозяйства. Система циркуляционная включает в свой состав БИС, рыбные пруды, подающий канал и отводную трубу. БИС, находящееся рядом с прудом, расположено в 2 ряда: в первой секции каждого ряда вода проходит через ВВР и далее идет инфильтрация воды через грунт основания, во второй секции, вода движется свободно (гравитационное движение), толщина основания 1-ой секции 80 см, толщина основания 2-й секции 70 см. Очистка проходит в 4 этапа. Каждый день вода заменяется 2÷4 раза, и время пребывания в БИС загрязненных вод составляет больше 8 часов. В канале подающем очищенную воду из БИС в пруд дно выкладывают булыжником, и увеличивают аэрацию. Эта система имеет значительную эффективность, вода используется повторно, что обеспечивает экономию воды и сохранение качества водных ресурсов.

БИС имеют широкие перспективы применения в мире для очистки от азота, фосфора, по ХПК, от взвешенных веществ, или при экологических восстановлениях прибрежных и водных экосистем.[6,7,8,9].

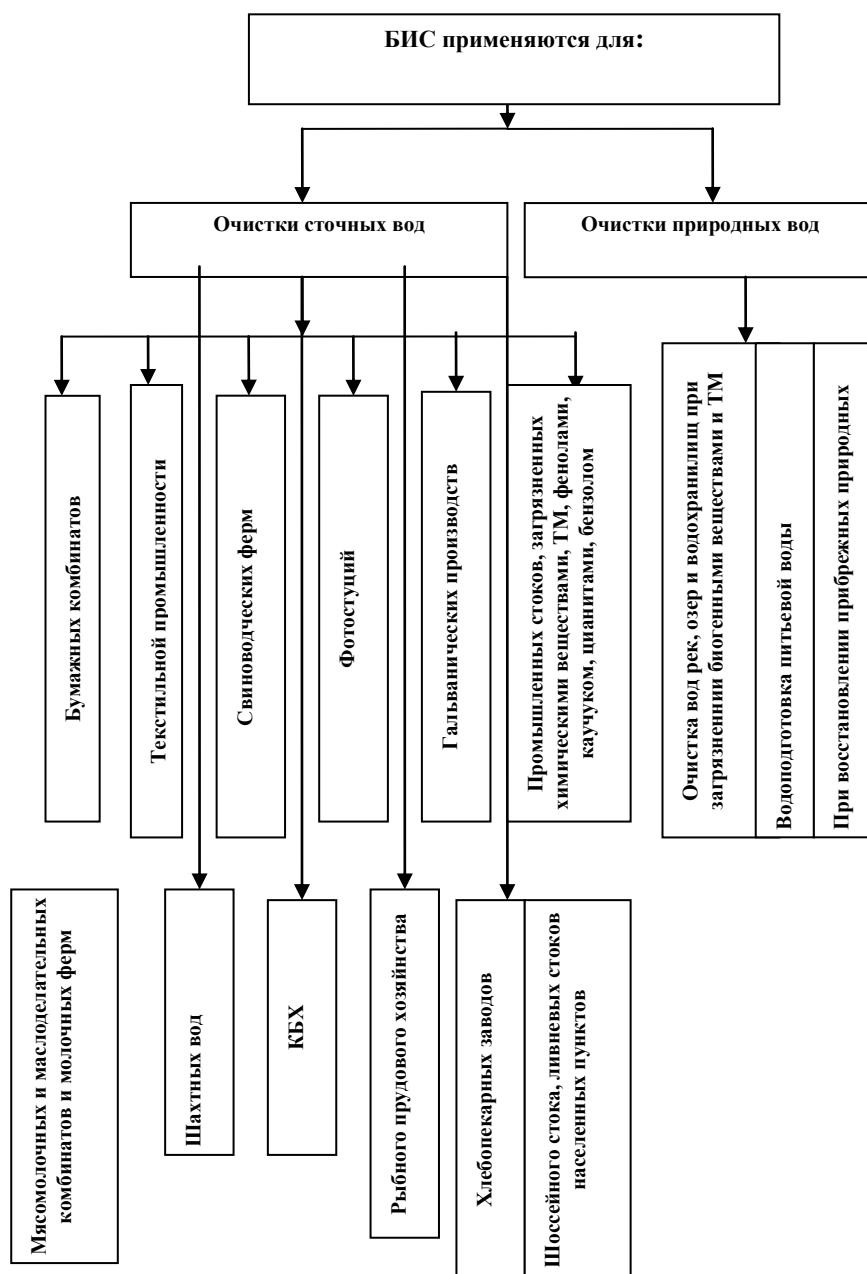


Рис 10.3. Основные направления применения БИС

Для улучшения и интенсификации естественных очистных свойств ВВР и сопутствующих ей организмов, а также комбинирования механической и биологической очистки сточных вод создаются различные конструкции искусственных биоинженерных водоохраных сооружений, где поток воды фильтруется как в горизонтальной, так и вертикальной плоскости. ВВР занимают 100 % акватории сооружений и представлены тростником обыкновенным, рогозом узколистым, камышом озерным. Известны и другие комбинации основных видов ВВР. Так, технология снижения содержания СПАВ в воде основана на совместном использовании погруженной (элодея канадская) и воздушно-водной (рогоз узколистый) растительности. Для таких сооружений получено снижение концентраций аммонийного азота на 80...92 %, азота нитритов на 94...99 %, азота нитратов на 60–96 %, фосфатов на 96...99 %,

органических веществ на 40...80 %, взвешенных веществ на 88...97 %. Улучшались такие показатели качества воды, как цветность и рН.



Рис.10.4. Классификация БИС по конструктивных особенностям

1) **БИС со свободной поверхностью воды** наиболее широко применяются в мире, они имеют глинистый или какой-либо другой непроницаемый слой в основании, для борьбы с фильтрацией и предотвращения попадания загрязняющих веществ в подземные воды.

Особенности:

а) небольшой срок строительства; б) экономичность; в) схожесть с естественным ландшафтом; г) недостаточная эффективность очистки по азоту, фосфору и органическим веществам; д) опасность контакта со сточными водами в сооружении.

**2) БИС со скрытой поверхностью воды.** В основании находятся многопористые среды из песка, гравия или скальных пород, уровень воды поддерживается ниже поверхности земли, фильтрационный поток направлен горизонтально и проходит через корнеобитаемую зону.

Такие БИС можно применять для очистки бытовых, городских, промышленных, хозяйственных сточных вод и т.д.

Особенности:

- а) загрязняющее вещество меньше влияет на окружающие среды;
- б) занимает меньшую территорию;
- в) большая эффективность очистки;
- г) сложно регулировать; г) недостаточная эффективность очистки для азота и фосфора чем БИС с вертикальным течением.

В сооружение грунт находится в ненасыщенном состоянии, на поверхности земли есть слой воды, вода вертикально инфильтруется с поверхности в низ.

Такие БИС занимают меньше 1/3 площади, занимаемой БИС с горизонтальным потоком.

Особенности: а) более эффективная очистка по азоту, фосфору, но недостаточная очистка для органических веществ; б) загрязняет окружающую среду летом; в) сложно регулировать; с) более высокие требования при строительстве.

### 3) Комбинированные БИС

Такие БИС состоят из двух секций, которые соединяются на дне, загрязненные воды в первой секции двигаются в вертикальном направлении, затем перетекают горизонтально по низу сооружения из одной секции в другую, во второй секции поднимаются вверх, и вытекают из сооружения. Имеется возможность использования разных видов растений, удлиняется время контакта и путь фильтрации воды, что увеличивает эффективность удаления загрязненных веществ. Такие БИС обычно эксплуатируются непрерывно в течение года и имеют высокую эффективность.

Таблица 10.2

Условия применения БИС и основные эксплуатационные характеристики

Параметры	Характеристики
1	2
<b>1. Условия применения</b>	
1.1. Рекомендуемые грунты	На слабоводопроницаемых грунтах при устройстве сооружения в средне и сильноводопроницаемых грунтах необходимо предусматривать защиту подземных вод от загрязнения (экраны, водонепроницаемые пленки в

	основании сооружения)
1.2.Уклоны местности	Для многосекционных сооружений рекомендуемые уклоны 0.04 ÷ 0.08
1.3.Глубина залегания УГВ	более 5 м
<b>2.Эксплуатационные характеристики</b>	
2.1.Продолжительность периода работы	Определяется периодом года со среднесуточными температурами более (+5...+7) °С
2.2.Оптимальная гидравлическая нагрузка	(0.5...0.7) м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> .сут
2.3.Скорость движения воды в сооружении	(0.1...0.3) см/с (86.4...259.2) м/сут
2.3.Рекомендуемая температура воды и почвы	летом +18...+20°С (но не более +40...+50°С) зимой +0.8...+1.5°С
2.4.Режим движения воды	проточный
2.5.Толщина грунтового фильтра в основании	не менее 0.1 м
2.6.Режим наносов	при слое наносов толщиной более 0.1 м необходима очистка от ила
2.7.Ширина по дну	задается размерами рабочих органов техники применяемой при строительстве
2.8.Глубина воды	определяется в соответствии с требованиями ВВР
2.9.Заложение откосов	1:0.25...1:3
<b>2.10.вынос загрязняющих веществ фитомассой ВВР</b>	
азот	668кг с 1 га
фосфор	278кг с 1 га
пестициды	225мг/л
тяжелые металлы	80.5 т/га
б) Mn	15.6 кг/га
в) Zn	0.6 кг/га
г) Co	0.024 кг/га
д) Cu	0.36 кг/га

2.11.Рекомендуемые уклоны сооружения	0.005...0.02
2.12.Площадь акватории покрытая растениям	10%...90% в зависимости от типа сооружения
2.13.pH воды	6...8

Основные недостатки водоохраных сооружений, использующих очистные свойства ВВР,—сезонность функционирования и необходимость уборки значительного объема растительного опада, который не всегда экологически безопасен. Например, растения, произрастающие на осадке, образовавшемся при смыве с полотна автодорог, как и сам осадок, имеют высокий класс токсичности, и их утилизация требует применения специальных технологий. Несмотря на имеющийся опыт получения из ВВР зеленой массы, сена, силоса, травяной муки и гранул, а также выращивания на мелководьях риса и разведения рыб, широкой поддержки эти направления не получили ввиду сложности и низкой эффективности при выполнении широкомасштабных работ. В Московском университете природообустройства разработана программа подбора основных параметров биоинженерных сооружений для очистки дренажного стока для его последующего повторного использования. Программа реализована для ПК на языке EXCEL "CW" (БИС). Программа предназначена для расчета параметров биоинженерных сооружений в составе схем КИОВО (комплексное использование и охрана водных объектов). Программа позволяет осуществлять подбор основных параметров БИС при различных концентрациях загрязняющих веществ на входе в сооружение, оценивать площади землеотвода, объемы земляных работ и расходы материалов.



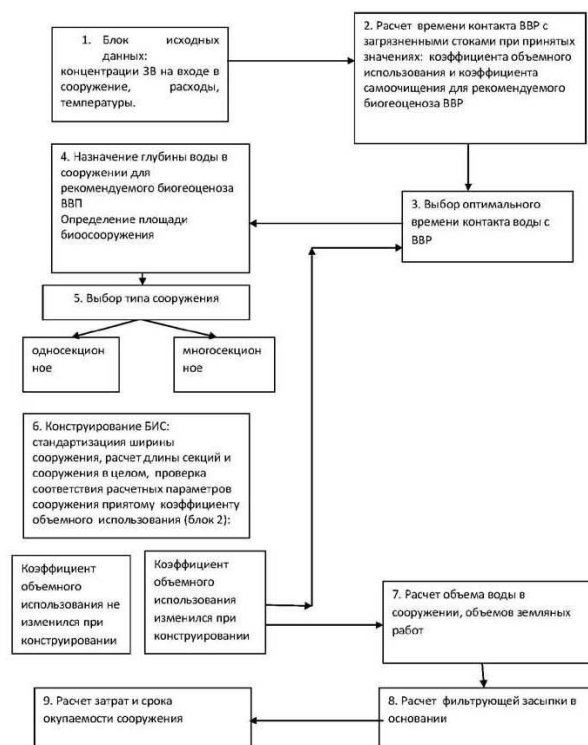


Рис.10.5 Блок-схема расчета параметров БИС

По многочисленным литературным источникам, из опыта применения БИС составлены обобщенные таблицы, характеризующие эффективности применения БИС, при очистке сточных вод разных категорий и при очистке природных речных и озерных вод.(табл.10.3).

Таблица.10.3..

### Эффективность применения БИС

Применение БИС для очистки:	По фосфору Р		По азоту		По ХПК	
	возможность сброса в водный объект	Э%	возможность сброса в водный объект	Э%	возможность сброса в водный объект	Э %
1.сточных вод города	+	88	+	94%	+	82
2.сточных вод ПГТ	+	99	+	63%	+	80
3.сточных вод СКБХ	+	91	нд	нд	нд	нд
4.дренажного стока с орошаемых земель	+	28–87	+	93%	+	94%
5. рыбного прудового хозяйства	+	80	+	55%	нд	97%
6.речного стока при эвтрофикации	+	68,8	+	50%	+	56%
7.озер	+	96	+	64%	нд	нд
8.сточных вод завода переработки резины	нд	нд	+	83%	+	36%

9.нефтеперерабатывающего завода	нд	нд	нд	нд	-	98%
10.животноводческих стоков	нд	нд	нд	нд	-	98%

\*ПРИМЕЧАНИЕ-нд–нет данных, Э–эффективность очистки

В большинстве случаев, эффективность БИС оказалась достаточной для очистки сточных и природных вод до нормативов качества вод, допускающих сброс её непосредственно в водные объекты.

Недостаточную эффективность БИС показали при очистке животноводческих стоков без предварительной их подготовки по азоту, при очистке нефтеперерабатывающего завода без предварительной их подготовки по ХПК и БПК, при очистке животноводческих стоков без предварительной подготовки по ХПК и БПК, при очистке стоков бумажных фабрик по взвешенным веществам.

Опыт эксплуатации действующих биоплато и наблюдения за природными зарослями высших водных растений показывают, что их экосистема является сбалансированной по фитомассе и не нуждается в искусственной регуляции. Иначе обстоит дело в случае использования биоплато для промышленных предприятий, сточные воды которых содержат тяжелые металлы, токсины. В этом случае опасность вторичного загрязнения воды существует, и эксплуатация биоплато существенно усложняется.

Поэтому предпочтительной областью применения фитотехнологий являются небольшие поселки, отдельно стоящие коттеджи, кемпинги и гостиницы, торговые центры, размещенные в сельской местности или вдоль автомобильных трасс, очистка дренажного стока и подобные им комплексы.

Для удобства расчетов параметров БИС построены номограммы и графики, которые могут быть использованы при подборе параметров БИС для очистки или доочистки сточных вод различных участников ВХК, что ускорит расчеты и принятие решений при составлении схем КИОВО.

Сложность решения задачи расчета параметров БИС состоит прежде всего в том, что опыт очистки воды при помощи макрофитов относился к небольшим объемам сточных вод с высокими концентрациями загрязняющих примесей и соответственно существующие методы расчетов призваны решать эти вопросы.

Еще одной проблемой расчета БИС является то, что в сообществах ВВР, как и в сооружениях биологической очистки воды, интенсивность процесса очистки существенно уменьшается при снижении исходных концентраций загрязняющих примесей. Природные же воды каналов характеризуются относительно невысокими концентрациями ингредиентов: 3-5 ПДК по сравнению с 30- 70 ПДК и более в сточных водах.

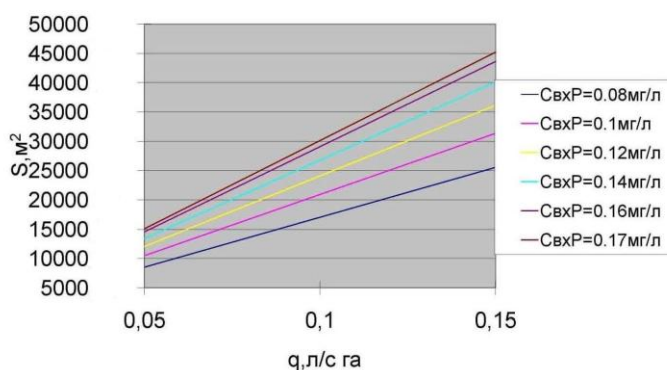
При небольших объемах сточных вод, площади сооружений, где в качестве биофильтров использовались макрофиты, также были сравнительно невелики.

Переход к очистке больших объемов стока (100 м<sup>3</sup>/с и более по сравнению с 1 - 2 м<sup>3</sup>/с расхода сточных вод) требовал отведения для ВВР значительных площадей.

Создание на основе сообществ ВВР сооружений для очистки природных вод, характеризуемых большими расходами и относительно невысокими концентрациями загрязняющих примесей, требует отведения значительных площадей. Выделение таких площадей, например, на каналах возможно лишь в том случае, если биоплато одновременно с очисткой воды будет выполнять какую-либо технологическую функцию, например, формирование берегового откоса канала и защита его от обрушения при транспортировании воды. Такое совмещение функций в одном сооружении необходимо для того, чтобы создание биоплато на каналах было экономически эффективным.

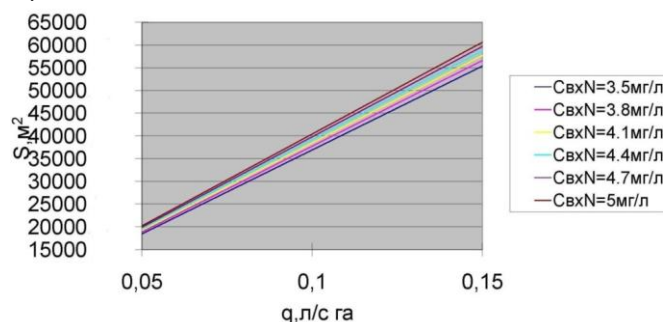
Для полного использования очистительной способности макрофитов в биоплато вода должна быть постоянно проточной, с тем, чтобы водообмен между этим сооружением и основным потоком был максимальным, а площадь застойных зон в биоплато должна быть сведена к минимуму.

Площадь биоплато зависит от концентрации загрязняющих веществ, оставшихся в поверхностном или дренажном стоке и может быть определена с помощью специальных номограмм или по компьютерной программе БИС-Excel [10]. Номограммы для расчета площади БИС при разных концентрациях загрязняющих веществ и разных модулях дренажного стока для осушаемого массива 200 га при заданной очистке до ПДК рыбохозяйственной категории водопользования приведены на рис. 3 (расчет по БИС-Excel при расчете по фосфору, БПК и азоту).



**а) фосфор**

**б) азот**



### в) БПК

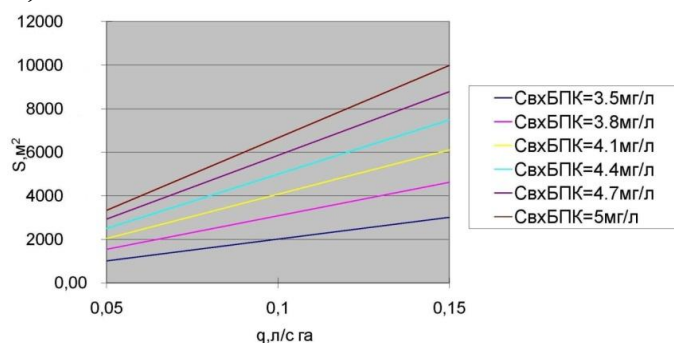


Рис.10.6. Номограммы для определения площади биоинженерных сооружений для разных концентраций ЗВ на входе в сооружений и модулях дренажного стока построенные по результатам расчетов с применением программы БИС-Excel.

Расчеты по программе БИС-Excel позволят проводить сравнительный анализ основных параметров различных типов биоинженерных сооружений по отдельным элементам, оценивать потребность в материалах и сравнивать затраты на создание БИС. Так в таблице 4 приведены результаты расчетов для 3- типов БИС. Можно отметить, что при одной и той же площади сооружений затраты на создание инфильтрационного биоплато оказались значительно выше чем при устройстве интенсивно дренируемых площадок (многосекционное сооружение из 2-х секций). Удорожание сооружений со скрытой поверхностью воды может объясняться большим объемом земляных работ, а также большей потребностью в материалах для создания объемной фильтрующей засыпки в основании. (табл. 10.4).

## Сравнительные характеристики различных типов биоинженерных сооружений для очистки дренажного стока.

Расчеты выполнены в ценах 2007 года

каскад каналов-биопрудов	инфильтрационное биоплато	интенсивно-дренируемые площадки	Тип сооружения	Количество ВВР, шт		Затраты на сооружение
				Полупогруженные	Погруженные	
0,16га	0,197га	0,197га	Площадь			
1	1,5	1,5	Глубина воды, м			
0,6	1,5	0,6	Толщина фильтрующей засыпки, м			
915,6	2919,2	475,5	Объем фильтрующей засыпки, м <sup>3</sup>			
3724	5658	1121,6	Объем воды в сооружении.м <sup>3</sup>			
6400	7880	7880		Полупогруженные		
1862 931	2829 1414,5	560,8 280,4			Погруженные	
К=0,6 млн.руб З=0.074 млн.руб/год	К=3,5 млн.руб З=0,42 млн.руб/год	К=2,1 млн.руб З=0,25 млн.руб /год				

Эффективность применения локальных инженерных сооружений обусловлена сравнительно невысокой стоимостью строительства и эксплуатации. По обобщенной оценке указанные сооружения снижают степень загрязнения водных объектов от 65 до 95 % в зависимости от типа сооружений и вида загрязняющих веществ. Одновременно достигается экономия водных ресурсов за счет воспроизведенного стока. На основании изложенных соображений и международного опыта локальные инженерные сооружения могут быть рекомендованы для использования в фермерских хозяйствах, коттеджных поселках, а также для улучшения экологии загрязненных водосборов.

### **Библиографический список**

1. Blankenberg A.-G.B., Braskerud B.C. «LIERDAMMEN » — a wetland testfield in Norway. Retention of nutrients, pesticides and sediments from a agriculture runoff: Diffuse Pollut. Conf., Dublin, 2003.
2. Gigon F., Leuzinger Y. Wastewater Management Outside Urban Areas: A Conceptual Approach to Integrate Economical, Practical and Ecological Constraints with Legal and Social Aspects. Environmental Research Forum. Vol. 5-6 (1996) // Ibid. -P. 261 - 265.
3. Healy A., Cawley M. Nutrient Processing Capacity of a Constructed Wetland in Western Ireland // J. Environ. Quality. — 2002. — 31. — P. 1739-1747.
4. Lloyd S.D., Fletcher T.D., Wong T.H.F., Wootton R.M. (Australia). Assessment of Pollutant Removal Performance in a Bio-filtration System: Preliminary Results, 2nd South Pacific Stormwater Conf.; Rain the Forgotten Resource, 27-29 June 2001, Auckland, New Zealand. — P. 20-30.
5. The 60<sup>th</sup> International Executive Council Meeting and 5<sup>th</sup> Asian Regional conference 6 – 11 December 2009. New Delhi, India Empirical models of bio-sand filter to remove pollutants from rainwater to properly secure the family water storage in anticipating of climate change Mohamad Ali Fulazzaky<sup>1, 2</sup>; Amir Hashim Mohd Kassim<sup>1</sup>; and Ab Aziz Abd L
6. Безднина С.Я. Экосистемное водопользование, - М.: РОМА, 1997.
7. Гордин И.В., Марков П.П. Замкнутые системы агропромышленного водопользования, - М.: Агропромиздат, 1991.
8. Кирейчева Л.В., Глазунова И.В. Prevention of water bodies' pollution with drainage flow. 21<sup>st</sup> European regional Conference "Integrated land and water resources management: towards sustainable rural development" 15–19 May 2005, Frankfurt (Oder), Germany and Slubice, Poland.
9. Козлов Д.В., Айдаров И.П., Голованов А.И, Демин А.П., Жабин В.Ф., Исмайылов Г.Х., Краснощеков В.Н., Маркин В.Н., Маслов Б.С., Раткович, Л.Д., Румянцев И.С., Шабанов В.В., Штеренлихт Д.В. Вода и нефть? Создание единой водохозяйственной системы. -М.: МППА БИМПА, 2008.

- 10.Л.Д. Раткович, Глазунова И.В., М.П. Алиев. Методология использования биоинженерных сооружений в России и за рубежом. //ВОДАmagazine (водопользование, водоснабжение, водоотведение), 2011 №12(52), С.38-43.
- 11.Ладыженский В.Н., Саратов И.Е. Защита водных объектов от загрязнения поверхностным стоком с территории полигонов ТБО // 1-я конференция с международным участием «Сотрудничество для решения проблемы отходов», -Харьков, 2004.
- 12.Пособие к ВНТП 01.98. Оросительные системы с использованием сточных вод и животноводческих стоков. -М.: Минсельхоз 1998.
- 13.Пособие по очистке и утилизации дренажно-сбросных вод. М.:ВНИИГиМ 1999.
- 14.Раткович.Л.Д, Глазунова.И.В, Соколова.С.А. Проектирование биоинженерных сооружений в составе схем комплексного использования водных ресурсов. Учебное пособие. – М.:ФГОУ ВПО МГУП,2007.–63 с.
- 15.Пособие к ВНТП 01-98 «Оросительные системы с использованием сточных вод и животноводческих стоков» -М.: Минсельхоз РФ, 1998.