

На правах рукописи

МАСЛИКОВ Владимир Иванович

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГЭС
(ОСНОВЫ И ИХ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ)

Специальность: 05.14.08 - «Энергоустановки на основе
возобновляемых видов энергии»

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Санкт - Петербург

2002

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном
техническом университете

Научный консультант: академик РАН, доктор технических наук,
профессор Васильев Юрий Сергеевич

Официальные оппоненты: академик РАН, доктор технических наук,
профессор Данилевич Януш Брониславович
доктор технических наук, профессор Арсеньев Герман Семенович
доктор технических наук, ст.н.с. Шарыгин Владислав Самуилович

Ведущая организация – ОАО «Ленгидропроект»

Защита состоится « ____ » _____ 2002 г. в _____ час.
на заседании диссертационного совета Д 212.229.17
в Санкт-Петербургском государственном техническом университете по
адресу:
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29, Гидрокорпус-2, ауд.
411

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке
Санкт-Петербургского государственного технического университета.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2002 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

В.Т. Орлов

Общая характеристика работы

Одной из особенностей энергетики начала XXI века является жесткая регламентация ее дальнейшего развития требованиями сохранения благоприятной окружающей среды, предотвращения глобального загрязнения. Это определяет тенденцию к возрастанию роли возобновляемых источников энергии и, в первую очередь, наиболее эффективной гидроэнергии.

Специалисты в области гидроэнергетики вынуждены решать целый ряд специфических проблем, связанных с охраной окружающей среды, таких как: затопление земель, изменение гидрологического режима рек, нарушение условий обитания водных организмов и других. Особую остроту эти проблемы приобрели к началу 80 годов XX века в связи с интенсивным гидроэнергетическим строительством того периода. В международных и национальных программных документах экологическим проблемам придается статус приоритетных. Обеспечение охраны окружающей среды становится определяющим моментом проектирования и эксплуатации гидроэнергетических объектов.

В настоящее время в России и странах СНГ значимыми становятся задачи охраны окружающей среды при реконструкции и техническом перевооружении действующих ГЭС, совершенствовании управления режимами работы ГЭС многоцелевого назначения, освоении гидроэнергетических ресурсов малых рек, а также управлении паводками с целью снижения риска наводнений. Тесная взаимосвязь между условиями функционирования ГЭС и их воздействием на окружающую среду определяет необходимость комплексного подхода к решению как технических, так и природоохранных вопросов.

Направление на комплексное решение задач электроэнергетики, водного хозяйства, охраны окружающей среды, социальных проблем при создании ГЭС наметилось более двадцати лет тому назад. Основы такого подхода заложены исследованиями, выполненными, прежде всего, в институтах Гидропроект, Энергосетьпроект, ВНИИГ, ЛПИ, МЭИ, МИСИ, НЭТИ, СЭИ, ЭНИН, ИВП, ГГИ, ГосНИОРХ и др. Большой вклад в решение сопутствующих экологических проблем гидроэнергетики внесли успешно работающие ведущие специалисты различных отраслей науки А.Б. Авакян, А.Ю. Александровский, Н.В. Арефьев, Г.С. Арсеньев, А.Е. Асарин, М.И. Бальзанников, Л.С. Беляев, А.Г. Боголюбов, О.Ф. Васильев, Ю.С. Васильев, В.И. Виссарионов, Г.В. Воропаев, Я.Б. Данилевич, К.С. Демирчан, П.П. Долгов, Л.Н. Дудченко, А.Ф. Дьяков, В.В. Елистратов, Д.А. Ивашинцов, Т.В. Лисочкина, Л.К. Малик, М.Ш. Мисриханов, Л.П. Михайлов, М.М. Мухаммадиев, Г.К. Осипов, А. Патера, Г.С. Розенберг, М.П. Федоров, В.С. Шарыгин, С.Г. Шульман и многие другие. Результаты их исследований лежат в основе методологии оценок и моделирования воздействий гидроэнергетических объектов на окружающую среду.

Многоплановость исследований, ориентация на решение конкретных наиболее острых на данный момент времени задач затрудняет разработку единого подхода к решению экологических проблем гидроэнергетики в соответствии с современными требованиями безопасного развития техносферы. Такой

подход может быть реализован на основе использования идеи природно-технических систем.

Методологические основы создания и функционирования природно-технических систем с гидроэнергетическими объектами разрабатываются в СПбГТУ в последнее десятилетие при участии и под руководством автора. Ключевым звеном является разработка методологии обеспечения экологической безопасности гидроэнергетических природно-технических систем.

Актуальность темы определяется необходимостью создания гидроэнергетических объектов, удовлетворяющих современным требованиям обеспечения экологической безопасности. Теоретическому обоснованию принципов экологической безопасности и некоторым практическим аспектам их использования посвящена данная диссертационная работа.

В основу работы положены исследования, выполненные за период с 1981 г. по настоящее время, в соответствии с целевыми комплексными программами ГКНТ СССР, целевыми межвузовскими программами "Энергия", "Энергосистема", федеральной научно-технической программой "Экология России" и проектами (грантами) по фундаментальным и прикладным исследованиям в области энергетики и охраны окружающей среды.

Цель диссертационной работы – концептуальное развитие теоретических основ, развитие методологических принципов и решение практических задач обеспечения экологической безопасности природно-технических систем с гидроэнергетическими объектами.

В соответствии с поставленной целью решаются следующие задачи:

- теоретическое обоснование и разработка основных принципов обеспечения экологической безопасности гидроэнергетических объектов при формировании природно-технических систем.

- обоснование методов оценки состояния природно-технических систем с гидроэнергетическими объектами и применение критериев экологической безопасности.

- развитие методов управления природно-техническими системами с ГЭС в условиях обеспечения экологической безопасности.

- разработка математических моделей управления гидроэнергетическими объектами для обеспечения экологически безопасного функционирования природно-технических систем.

Новые научные результаты:

1. Выполнено теоретическое обобщение современных подходов к формированию природно-технических систем в гидроэнергетике в условиях приоритетности обеспечения экологической безопасности. Определены основные направления обеспечения экологической безопасности, предложены критерии ее оценки.

2. Разработаны модели управления длительными режимами работы каскада ГЭС с учетом экологических требований в условиях динамики природных процессов и водохозяйственной ситуации речного бассейна.

3. Разработаны методы управления природно-техническими системами с ГЭС на малых реках. Обоснована приоритетность фактора изменения структуры экосистемы бассейнов малых рек при оценке их состояния. Предложено использование критерия допустимых изменений структуры экосистемы реки при формировании природно-технической системы.

4. Предложены методы принятия решений по организации природоохранных мероприятий действующих ГЭС. Разработана и программно реализована информационно-аналитическая система обеспечения экологической безопасности ГЭС.

5. Разработаны методические основы управления паводками речного бассейна за счет дополнительного использования гидроузлов на боковых притоках с временно-затапливаемым ложем водохранилища. Созданы модели режимов работы противопаводковых гидроузлов с учетом требований экологической безопасности.

Методическую базу исследований составили системный и экспертный анализ, фундаментальные положения энергетики, геоэкологии, методы эколого-и экономико-математического моделирования, анализа риска.

Достоверность научных положений и выводов обусловлена натурными данными исследований и корректным использованием теоретических основ энергетики и экологии, применением апробированных методов при проведении исследований и математического моделирования и подтверждается практическими результатами.

Личный вклад автора заключается в научном обобщении и развитии теоретических основ обеспечения экологической безопасности гидроэнергетических объектов при формировании природно-технических систем, разработке алгоритмов и математических моделей управления природно-техническими системами с ГЭС и принятия решений обеспечения экологической безопасности, а также методов и критериев оценки состояния природно-технических систем с ГЭС.

Практическая значимость. Теоретические исследования и разработанные методики и модели формирования экологически безопасных природно-технических систем с гидроэнергетическими объектами могут применяться в научно-исследовательских, проектных и эксплуатационных организациях при решении задач экологически безопасного управления режимами работы каскада ГЭС многоцелевого назначения, использовании гидроэнергетических ресурсов малых рек, а также при разработке природоохранных мероприятий для действующих ГЭС, при комплексном управлении паводками речного бассейна.

На защиту выносятся:

1. Концептуальные положения обеспечения экологической безопасности природно-технических систем с ГЭС, методы и критерии оценки состояния природно-технических систем.

2. Методы и модели управления длительными режимами работы ГЭС каскада многоцелевого назначения с учетом экологических факторов, динамики

природных процессов, водопользования в речном бассейне. Рекомендации по совершенствованию правил управления режимами работы ГЭС каскада и результаты расчета энергоотдачи ГЭС с учетом природоохранных требований, эксплуатационных изменений режимов регулирования стока.

3. Методы экологически безопасного использования гидроэнергетических ресурсов малых рек. Результаты обоснования создания природно-технических систем с малыми ГЭС в районах изолированного энергоснабжения горных зон.

4. Методы поиска и принятия решения по обеспечению экологической безопасности действующих ГЭС и разработанная информационно-аналитическая система «Экологическая безопасность ГЭС».

5. Методы и модели экологически безопасного управления паводками за счет дополнительного использования системы распределенных на водосборе гидроузлов с временно-затапливаемым ложем водохранилища. Результаты эколого-энергетических исследований совместной работы русловой ГЭС с гидроузлами на боковых притоках.

6. Методы экономической оценки обеспечения экологической безопасности при формировании природно-технических систем с ГЭС в современных условиях.

Основные результаты диссертации на разных этапах ее выполнения были использованы институтами: «Энергосетьпроект» при технико-экономическом обосновании развития ОЭС Средней Азии, разработке рекомендаций для обоснования проектных решений по системе управления режимами работы ГЭС каскада в водохозяйственных системах с учетом требований охраны окружающей среды; «Гидропроект» им.С.Я.Жука в технико-экономическом докладе «Об основных направлениях развития малой гидроэнергетики СССР»; ОАО ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева при создании комплекса информационно-аналитического обеспечения безопасности объектов энергетики, эксплуатирующегося в РАО «ЕЭС России»; Таджикским научно-исследовательским отделом энергетики, САО «Сельэнергопроект» при обосновании сооружения первоочередных малых ГЭС в районах изолированного электроснабжения Таджикистана.

Методические разработки автора используются в учебном процессе в СПбГТУ при подготовке инженеров электроэнергетиков и экологов, а также учебно-научном центре СПбГТУ и НИИЦЭБ РАН «Экологическая безопасность энергетики» в рамках программы «Интеграция».

Апробация результатов исследований проведена на всесоюзных и российских, региональных и международных научно-технических совещаниях, конференциях, симпозиумах, научном семинаре кафедр возобновляющихся источников энергии и гидроэнергетики и экологических основ природопользования СПбГТУ.

Материалы работы докладывались на всесоюзном научно-техническом совещании «Влияние водохранилищ ГЭС на хозяйственные объекты и природ-

ную среду» (Ленинград, 1979), III республиканской научно-технической конференции «Современные проблемы энергетики» (Киев, 1980), всесоюзном научно-техническом семинаре «Опыт проектирования и строительства объектов Южно-Украинского энергокомплекса и перспективы создания энергокомплексов (ЭК-84)» (Ленинград, 1984), республиканском совещании «Проблемы использования энергоресурсов малых рек Киргизии» (Фрунзе, 1984), всесоюзной научно-практической конференции "Электрификация, автоматизация и теплоснабжение сельскохозяйственного производства" (Смоленск, 1985), научно-практической конференции "Перспективное использование возобновляемых источников энергии для энергоснабжения отраслей народного хозяйства Таджикской ССР» (Душанбе, 1986), республиканской межотраслевой конференции «Повышение эффективности использования энергоресурсов на основе внедрения энергосберегающих и материалосберегающих мероприятий в отраслях народного хозяйства» (Ташкент, 1986), республиканской научно-технической конференции «Основные направления и опыт использования нетрадиционных источников энергии в народном хозяйстве» (Душанбе, 1988), всесоюзном научно-техническом совещании «Будущее гидроэнергетики. Основные направления создания гидроэлектростанций нового поколения» (Ленинград, 1991), международном семинаре «Перспективы использования возобновляемых ресурсов Карелии» (Петрозаводск, 1993), научно-практической конференции «Критерии экологической безопасности» (С.-Петербург, 1994), международной научно-технической конференции «Современные проблемы нетрадиционной энергетики» (С.-Петербург, 1994), II, IV, V сессии науки и техники «Гидроэлектростанции в водной и электроэнергетической системе» (Люблин, 1989, 1996, 1998), международном семинаре по прикладной гидравлике (Тронхейм, Норвегия, 1994), симпозиуме и международной специализированной выставке «Энергетика 95» и «Энергетика 96» (С.-Петербург, 1995, 1996), научно-технической конференции «Фундаментальные исследования в технических университетах» (С.-Петербург, 1997), международной научно-технической конференции «Современные проблемы гидроэнергетики» (Ташкент, 1997), III и IV всероссийской научно-технических конференциях с международным участием «Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности» (С.-Петербург, 1998, 1999), международной научно-технической конференции "Научные проблемы энергетики возобновляемых источников" (Самара, 2000), научных семинарах кафедр «Возобновляющиеся источники энергии и гидроэнергетика» и "Экологических основ природопользования" СПбГТУ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 74 работы, в том числе две монографии. Зарегистрировано 8 изобретений и патентов.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы. Работа изложена на 260 страницах машинописного текста, включает 11 таблиц и 44 рисунка. Библиография содержит 364 наименования.

Краткое содержание диссертации

Глава 1. К началу XXI века в связи с переходом на путь устойчивого развития определились важнейшие требования к функционированию энергетических объектов: стабильность энергообеспечения, доступность энергии, надежность и безопасность для окружающей среды.

Только гидроэнергетические объекты в настоящее время способны наиболее полно удовлетворить эти требования. Роль гидроэнергетики может возрасти, так как в основе ее лежит использование возобновляемых водных ресурсов. Ее функционирование не вызывает глобального загрязнения окружающей среды, а возникающие экологические проблемы имеют благоприятную перспективу для решения с учетом применения накопленного опыта и современных технологий.

Не вызывает сомнений определяющее значение гидроэнергетики для устойчивого функционирования водного хозяйства, особенно в условиях нарастания дефицита водных ресурсов.

Нельзя не отметить значение гидроэнергетики для снижения неблагоприятных последствий природных и природно-техногенных процессов и, в первую очередь, наводнений. Изменение климата в ряде регионов привело к увеличению частоты крупных наводнений, а следовательно, к возрастанию экономического ущерба, числа пострадавших.

Оценивая современное состояние гидроэнергетики можно отметить, что огромный потенциал речного стока нашей планеты далеко еще не исчерпан. Россия относится к лидирующей группе стран по своему гидроэнергетическому потенциалу, однако существенно уступает развитым странам по его использованию.

С переходом России к рыночной экономике необходимость дальнейшего увеличения использования этого потенциала становится очевидной. Анализ перспективного развития отечественной гидроэнергетики позволяет выделить следующие основные направления: завершение начатого строительства ГЭС, реконструкция и модернизация действующих ГЭС.

Крайне важной остается задача совершенствования управления режимами работы ГЭС в условиях нестабильного энергопроизводства на тепловых электростанциях, труднопрогнозируемых требований водопользователей, антропогенного изменения речного стока.

Остро стоит вопрос управления паводками, требующий поиска новых, более эффективных подходов с участием ГЭС в организации борьбы с наводнениями.

Все чаще привлекает внимание освоение потенциала малых рек – на сегодняшний день одного из самых доступных, эффективных возобновляемых энергоресурсов на территории России.

Рассмотренные тенденции наблюдаются и в странах СНГ – ближайших и традиционных российских партнерах. Эти страны обладают значительным экономическим потенциалом гидроэнергоресурсов, составляющим примерно

третью часть от российского. Россия крайне заинтересована в совместном освоении этого потенциала.

Экологические проблемы по-своему влияют на все направления развития гидроэнергетики, тормозя одни и стимулируя другие.

Находясь постоянно в центре внимания, экологические проблемы послужили толчком для разработки концепции основных направлений охраны окружающей среды на предприятиях отрасли, положения которой нашли отражение в ряде программных документов, в том числе концепции энергетической политики России в новых экономических условиях.

Всесторонний анализ проблемы организации охраны окружающей среды в гидроэнергетике показал, что подход, направленный на устранение негативных последствий, не гарантирует возможности избежать новых, часто непредвиденных воздействий, способных резко усложнить ситуацию.

Для сохранения и развития гидроэнергетики необходим новый подход к организации охраны окружающей среды, направленный на обеспечение экологической безопасности при формировании природно-технических систем с гидроэнергетическими объектами.

Необходимо выделить следующие основные направления обеспечения экологической безопасности: сохранение здоровья населения и сохранение биологического разнообразия сообществ естественных видов в биосфере.

Там, где произошло нарушение природной среды, создающее угрозу здоровью человека, целесообразно пользоваться критерием сохранения здоровья населения. В тех случаях, когда в сферу производства вовлекаются биологические ресурсы ненарушенных территорий, необходимо пользоваться критерием «биоразнообразия» (сохранения разнообразия сообществ естественных видов).

Основные подходы к формированию природно-технических систем сложились к концу 1980-х годов. В их основе лежит геоэкологический принцип формирования единой пространственно-временной природно-технической системы. Современный взгляд на формирование природно-технических систем с позиции концепции устойчивого развития определяет необходимость дополнительного использования принципа обеспечения экологической безопасности, наиболее важными составляющими которого являются:

- сохранение биосферы, ее устойчивости, недопустимость превышения жизнеподдерживающей способности экосистем;
- разработка надежных индикаторов экологической безопасности и обоснованных нормативов на ведение хозяйственной деятельности;
- принятие мер для уменьшения антропогенного давления на биосферу, предотвращение роста загрязнения природной среды, сокращение нарушенных территорий и их социально-экологическая реабилитация;
- обязательность компенсации нанесенного ущерба.

Рассмотренные принципы являются основными и для природно-технических систем с гидроэнергетическими объектами. Гидроэнергетическую

природно-техническую систему можно представить как комплекс устойчиво взаимодействующих структур природной системы и гидроэнергетического объекта, связанных технологическим циклом регулирования водной среды для выполнения социально-экономических функций энергообеспечения и водопользования.

Наметившееся снижение внимания к технической составляющей природно-технической системы вряд ли оправдано, так как, испытывая воздействие со стороны природной среды с начала эксплуатации, она характеризуется тенденцией к деградации, а это отражается на функционировании природно-технической системы в целом.

Одним из сложнейших вопросов обеспечения экологической безопасности является количественная оценка допустимых изменений окружающей среды при формировании и эксплуатации природно-технических систем с ГЭС.

Нормированию подвергаются обычно системы, испытывающие антропогенное воздействие в рамках известной схемы: от потребностей человека (общества) через концепцию их удовлетворения к выбору технологий, к изменению природы и последствиям произошедших изменений для человека и биоты.

Автором диссертационной работы предпринята попытка практического использования принципа первоочередного нормирования потребностей, в частности, электропотребления как одной из основных причин антропогенных изменений.

Природно-технические системы с гидроэнергетическими объектами это сложнейшие системы, занимающие значительные территории, затрагивающие все компоненты биосферы, гидросферу, литосферу, атмосферу, биоту. Спектр используемых показателей их состояния очень широк и разнообразен, в то же время количество показателей для оценки состояния ограничено. Возникает необходимость поиска интегральных или хотя бы группы приоритетных показателей для оценки экологической безопасности природно-технической системы, прежде всего, по двум основным направлениям – сохранение здоровья населения и сохранение биологического разнообразия сообществ естественных видов в биосфере.

Таковыми интегральными показателями являются:

- оценка риска заболеваний как показатель сохранения здоровья;
- оценка разнообразия экосистем как показатель сохранения естественного состояния природной среды.

Одна из основных экологических проблем гидроэнергетики связана с отчуждением и преобразованием земель. Следствием преобразования земель является изменение видового разнообразия экосистем, что может отрицательно сказаться на устойчивости природной среды. Отметим, что если при формировании природно-технической системы с минимальными потерями сохраняется видовое разнообразие экосистем, то они обладают большей устойчивостью в

условиях недостаточной определенности антропогенных нагрузок и трудно прогнозируемой их динамики.

Для оценки разнообразия экосистем в диссертационной работе используется показатель Шеннона, позволяющий учитывать уровень структурированности системы:

$$H = -\sum_{i=1}^N P_i \log_2 P_i, \quad (1)$$

где P_i - вероятность какого-либо (i -го) признака (состояния) элемента из N возможных признаков (состояний): т.е. $i = 1, 2, 3, \dots, N$

В качестве естественной территориальной единицы для анализа и моделирования природно-технической системы принят бассейн малой реки. Более крупные территории - водосбор средней и большой реки (регион) могут быть представлены в виде совокупностей моделей малых водосборов.

Разнообразие экосистем H в уравнении (1) определяется коэффициентами $P_i = S_i/S$, характеризующими меру распространения экосистем в пределах рассматриваемого водосбора. Здесь $S = \sum_{i=1}^N S_i$ - площадь водосбора, в которой расположено $i = 1, 2, 3 \dots, N$ типов экосистем, включая естественные (лес, болото, озеро и т.д.) и антропогенные (сельскохозяйственные угодья, промышленная застройка, населенные пункты, водохранилища и т.д.) площадью S_i каждая.

Оценка разнообразия экосистем может производиться по следующим критериям:

- не уменьшения разнообразия

$$dH / dt \geq 0 \quad (2)$$

и соотношения компонент антропогенных H_a и естественных H_e экосистем.

$$H_a \leq k_a H_e, \quad (3)$$

где k_a - коэффициент, определяющий допустимую долю разнообразия антропогенных H_a экосистем.

Экологически безопасными могут считаться такие природно-технические системы, в которых не уменьшается разнообразие и сохраняется определенная доля естественных экосистем.

В диссертационной работе используются современные методы экологического нормирования в природно-технических системах с гидроэнергетическими объектами в зависимости от рассматриваемой задачи.

Глава 2. Тенденция к наиболее эффективному и безопасному использованию гидроэлектростанций требует решения ряда задач взаимодействия ГЭС с окружающей средой, в частности, такой важной, как обеспечение экологической безопасности при управлении режимами работы ГЭС. Задача управления режимами работы ГЭС охватывает широкий спектр природоохранных вопросов: поддержание экологических попусков воды в нижний бьеф ГЭС, обеспече-

ние безопасного уровня режима верхнего бьефа водохранилища, сохранение биологического разнообразия притоков водохранилищного района и др. Перечисленные факторы непосредственно зависят от режимов работы ГЭС и определяют систему ограничительных требований.

Особую значимость имеет учет и прогнозирование природных процессов при обосновании режимов работы ГЭС на длительный период, так как на этой стадии определяются принципы эффективного и экологически безопасного функционирования ГЭС.

Наибольшую сложность представляет прогнозирование режимов работы ГЭС с водохранилищами многоцелевого назначения, работающими в водохозяйственных системах в условиях предельного использования водных ресурсов. В таких системах, как правило, проявляются признаки сильных нарушений природной среды. Они становятся зонами экологического риска и, в ряде случаев, даже экологического бедствия. Установка на удовлетворение в первую очередь потребностей водопользователей изживает себя, так как масштабы потерь из-за экологических нарушений могут значительно превысить ожидаемый экономический эффект.

Перспективным при разработке экологически безопасных режимов работы ГЭС является использование методов имитационного моделирования и диспетчерских графиков, возможности которых расширяются с внедрением компьютерных расчетов.

Автором для ГЭС с водохранилищем многоцелевого назначения годового регулирования стока разработана имитационная модель в виде обобщенных многофакторных зависимостей располагаемой мощности $N(t)$ от объемов водопотребления неэнергетическими участниками водопользования W_1, \dots, W_n , (в том числе экологических попусков), а также обеспеченности естественного притока воды P (W_m):

$$N(t) = f(W_1, \dots, W_n; P(W_m)). \quad (4)$$

Соответственно, выработка электроэнергии

$$\mathcal{E}(t) = \int_0^t N(t) dt \quad (5)$$

Модель представлена уравнением регрессии:

$$N(t) = N_0(t) [P_j(W_m)] + \sum_{i=1}^n a_i [P_j(W_m)] u_i, \quad (6)$$

где $N_0(t) [P_j(W_m)]$, $a_i [P_j(W_m)]$ – функциональные зависимости свободного члена $N_0(t)$ и коэффициента регрессии a_i модели от обеспеченности притока.

Имитационная модель использована для анализа долгосрочных режимов работы Чиркейской ГЭС на р. Сулак. Характерной особенностью водохозяйственного комплекса, в состав которого входит Чиркейская ГЭС, как и других гидроэнергетических комплексов на юге России, является дефицит водных ресурсов, что требует их рационального использования. Кроме того, река Сулак

является одним из немногих мест, где сохранились естественные нерестилища осетровых рыб, что создает дополнительные сложности при функционировании ГЭС. Использование предложенной модели (4) позволило прогнозировать длительные режимы Чиркейской ГЭС в ОЭС Северного Кавказа с учетом требований водопользователей и охраны природы. Установлено, что экологические попуски для сохранения популяции осетровых рыб снижают располагаемую мощность ГЭС и неизбежно приводят к дополнительным затратам в ОЭС, необходимым для обеспечения экологической безопасности ГЭС.

Ситуация острого экологического кризиса проанализирована на примере бассейна Аральского моря – крупнейшего района орошаемого земледелия. Резкое ухудшение состояния природной среды, произошедшее в период интенсивного развития ирригации в регионе, стало причиной возникновения неблагоприятных условий для жизни и ведения хозяйственной деятельности не только местного населения, но и в прилегающих районах.

Предотвращение дальнейшей деградации природы и улучшение ее состояния требует проведения масштабных природоохранных мероприятий. Для их реализации необходимы огромные затраты, объединение усилий не только населения Аральского региона, но и других государств, в том числе и России, так как негативные процессы Приаралья создают непосредственную угрозу благополучию ряда ее регионов.

Поиск путей стабилизации экологической ситуации с учетом ограниченных возможностей определил ряд первоочередных задач, из которых основной является рациональное экологически безопасное использование водных ресурсов. Для этого необходима разработка мероприятий, включающих строжайшую экономию воды и эффективное регулирование стока водохранилищами ГЭС многоцелевого назначения.

Наибольший интерес представляет Амударьинская водохозяйственная система (ВХС) как самая большая в Приаралье, имеющая в своем составе каскад крупных ГЭС энерго-ирригационного назначения.

В диссертационной работе предложены принципы управления долгосрочными режимами работы ГЭС Вахшско-Амударьинского каскада в условиях, максимально отражающих природно-хозяйственную ситуацию речного бассейна.

С учетом структурных и функциональных особенностей ГЭС каскада, режимов водопотребления Амударьинской ВХС, природоохранных требований предложен алгоритм расчета водно-энергетических режимов работы ГЭС (рис. 1) и разработана модель регулирования стока в бассейне Амударьи. Тщательный анализ условий взаимодействия ГЭС с окружающей средой, изучение эксплуатационных режимов действующих ГЭС позволил дополнительно выявить

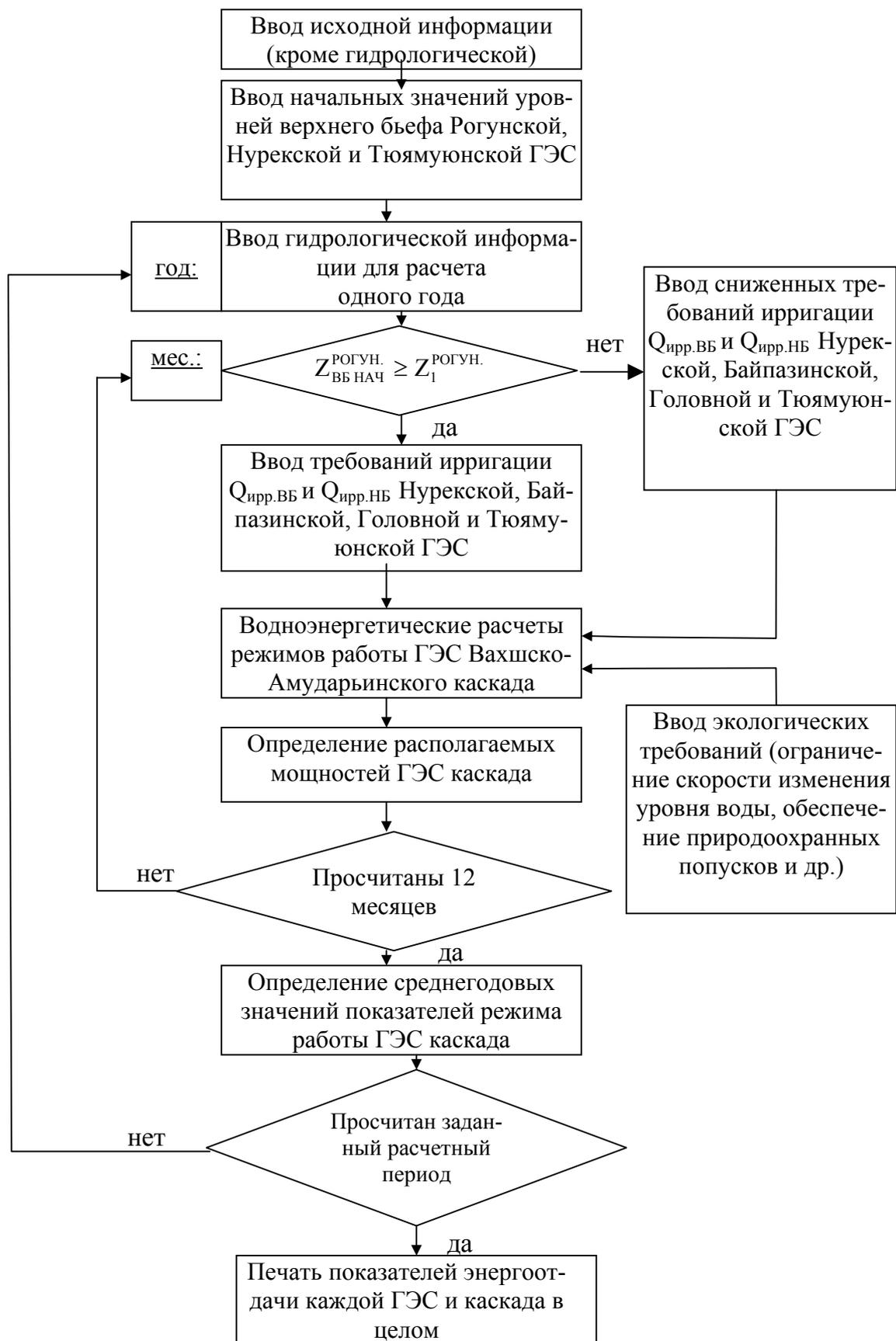


Рис. 1. Схема алгоритма расчета водноэнергетических режимов работы ГЭС Вахшско-Амударьинского каскада

факторы, которые необходимо учитывать при разработке правил управления долгосрочными режимами работы ГЭС:

- уменьшение полезной емкости водохранилищ вследствие их заиления;
- превышение санитарного попуска относительно проектного из-за изменения параметров водохозяйственной системы;
- ограничение скорости изменения уровней воды в крупных глубоководных водохранилищах с целью предотвращения активизации сейсмических процессов;
- изменение в процессе функционирования ВХС режимов водопользования.

В модели используются зависимости, отражающие основные балансовые соотношения и ограничения, применяемые для расчетов режимов работы ГЭС, уточненные для каждой ГЭС каскада балансы расходов воды с учетом природоохранных и водохозяйственных требований; заданные уровни воды, обеспечивающие гарантированную отдачу, скорости изменения уровня воды в верхнем бьефе водохранилища.

Уравнение водного баланса для периода сработки водохранилища i -той ГЭС имеет вид:

$$Q_{\text{пол.пр.}}^i = Q_{\text{прит}}^i + Q_{\text{прит.б}}^i - Q_{\text{ирр.ВБ}}^i - Q_{\text{фил.}}^i - Q_{\text{исп.}}^i, \quad (7)$$

где $Q_{\text{пол.пр.}}^i$ – полезный приток к i -ому водохранилищу; $Q_{\text{прит.}}^i$ – естественный приток по основной реке к створу ГЭС; $Q_{\text{прит.б}}^i$ – расход боковой приточности на выше расположенном участке реки; $Q_{\text{ирр.ВБ}}^i$ – расход воды на орошение из верхнего бьефа гидроузла; $Q_{\text{фил.}}^i$ – потери стока на фильтрацию; $Q_{\text{исп.}}^i$ – потери стока на испарение с поверхности водохранилища.

$$Q_{\text{Т}}^i = Q_{\text{пол.пр.}}^i + Q_{\text{сраб}}^i, \quad (8)$$

где $Q_{\text{Т}}^i$ – расход воды через турбины ГЭС; $Q_{\text{сраб}}^i$ – расход воды, срабатываемый в водохранилище.

$$Q_{\text{НБ}}^i = Q_{\text{Т}}^i + Q_{\text{фил.}}^i \geq Q_{\text{мин}}^i, \quad (9)$$

где $Q_{\text{НБ}}^i$ – расход воды в нижнем бьефе i -ой ГЭС; $Q_{\text{мин}}^i$ – минимально допустимый расход воды (по природоохранным требованиям).

Уровни воды в водохранилищах

$$z_{\text{кон.мин}}^i \leq z_{\text{кон.}}^i \leq z_{\text{кон.макс}}^i,$$

где $z_{\text{кон}}^i$ – уровень воды в конце расчетного интервала времени.

Скорость изменения уровня воды в верхнем бьефе i -ой ГЭС

$$\frac{dz^i}{dt} \leq 0,5 \text{ м/сут};$$

Мощность ГЭС

$$N^i = a^i Q_T^i H^i \quad (10)$$

где N^i – среднемесячная мощность i -ой ГЭС; Q_T^i – расход воды через турбины i -ой ГЭС; H^i – среднемесячный напор на i -ой ГЭС (нетто).

Условия обеспечения гарантированной мощности ГЭС каскада выражается уравнением

$$\sum_{i=1}^n N^i = N_{\text{гар}}, \quad (11)$$

где N^i – среднемесячная мощность i -ой ГЭС; $\sum N_{\text{гар}}$ – гарантированная мощность каскада ГЭС.

В случае отклонения суммарной среднемесячной мощности ГЭС от гарантированной

$$\Delta N = \pm \left(N_{\text{гар}} - \sum_{i=1}^n N^i \right) \quad (12)$$

корректируется режим работы Рогунского водохранилища, осуществляющего компенсированное регулирование стока р. Амударьи.

Расчеты показали, что влияние перечисленных факторов приводит к снижению суммарной гарантированной мощности ГЭС Вахско-Амударьинского каскада в среднем на 20% и ограничению требований Амударьинской ВХС на 15-20%. Автором разработаны уточненные диспетчерские графики режимов работы Рогунского и Нурекского гидроузлов, характеризующиеся надежностью, соответствием требованиям охраны окружающей среды. На рис. 2 представлен диспетчерский график работы Рогунского гидроузла. Таким образом, подтверждено, что необходимо изучать не только воздействие технического объекта на окружающую среду, но и воздействие природы на техническую компоненту природно-технической системы.

Для проведения водноэнергетических исследований совместно с НИЛ ПРЭ института «Энергосетьпроект» была создана программа расчетов долгосрочных режимов работы ГЭС Вахско-Амударьинского каскада, позволяющая откорректировать режимы работы водохранилищ при изменении исходных данных и природоохранных требований.

С помощью программы изучалось влияние режимов водопользования на величину зарегулированной мощности и выработки электроэнергии ГЭС в условиях предельного использования водных ресурсов и жестких природоохранных требований (рис. 3).

Проанализировано также влияние на энергоотдачу увеличения относительно проектных санитарных попусков в низовьях р. Амударьи для улучшения экологической ситуации в Приаралье.

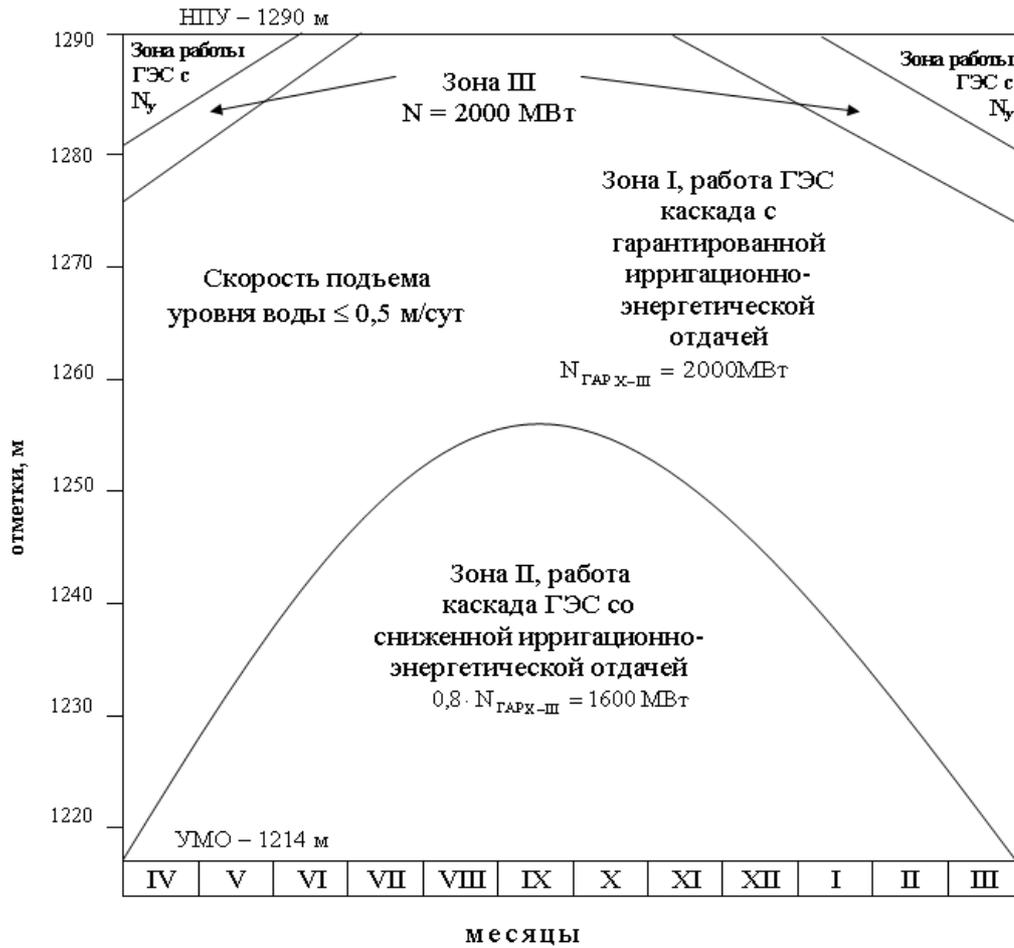


Рис. 2. Схематический диспетчерский график работы Рогунской ГЭС: N_y – установленная мощность; N – среднемесячная мощность; $N_{\text{ГАР}}$ – гарантированная мощность ГЭС Вахшско-Амударьинского каскада

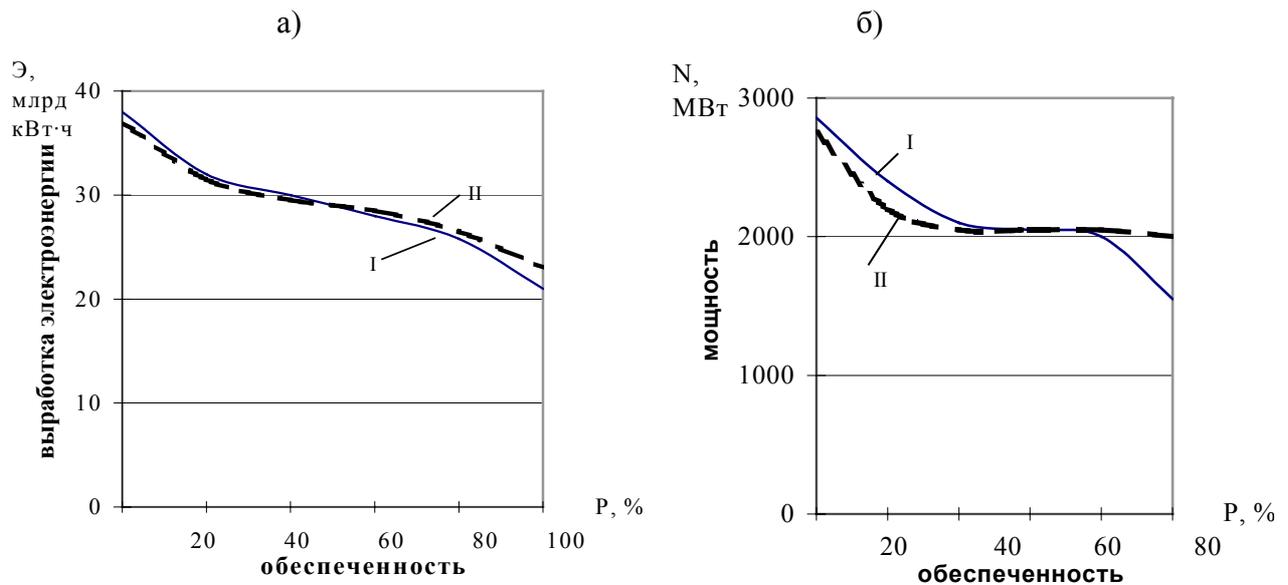


Рис. 3. Кривые обеспеченности: а) годовой выработки электроэнергии ГЭС каскада; б) декабрьской мощности ГЭС каскада; I - увеличение водопотребления в летний период; II - увеличение водопотребления в весенний период системы изменение режимов водопользования в лююом ее узле неизоежно от-

ражается на показателях энергоотдачи ГЭС, что должно учитываться при определении эффективности Амударьинской ВХС.

Глава 3. Освоение энергетического потенциала малых рек становится одним из наиболее привлекательных для практической реализации направлений гидроэнергетики. Доступность малых рек для освоения способствует развитию многих видов хозяйственной деятельности на их водосборах, что неизбежно приводит к росту антропогенных нагрузок и порождает экологические проблемы. Малые реки выполняют чрезвычайно важные функции экологического резерва биосферы, поскольку в них сохранились ненарушенные экосистемы, являющиеся местом обитания и размножения разнообразных, а порой и уникальных представителей флоры и фауны. Эта функция малых рек определяет их особую ценность и поэтому является приоритетной.

Огромное количество малых рек при их уникальности, особая чувствительность к антропогенным воздействиям делают весьма сложной оценку их состояния. Поэтому исследования, посвященные конкретным рекам, трудно поддаются систематизации. Это не позволяет разработать единую систему оценки экологического состояния малых рек и прогнозировать последствия их использования.

В диссертационной работе проанализированы современные подходы к оценке состояния малых рек и выделена новая тенденция, заключающаяся в экосистемном анализе состояния бассейнов малых рек. Экосистемный принцип можно считать наиболее перспективным для организации охраны малых рек и их восстановления, т.к. он позволяет выявить наиболее уязвимые компоненты системы и сосредоточить усилия на их сохранении.

Поскольку взаимодействие компонентов можно рассматривать как функцию строения системы, необходимо дать количественную оценку структуры экосистемы бассейна малой реки. С этой целью автором были использованы критерии допустимых изменений структуры экосистемы речного бассейна – критерии сохранения биоразнообразия (2), (3). Апробация критериев проводилась на водосборах ряда малых рек, характеризующихся различным уровнем хозяйственного освоения.

Использование гидроэнергетических ресурсов малых водотоков неизбежно приводит к дополнительной антропогенной нагрузке со своими специфическими особенностями. Являясь источниками энергии, малые ГЭС способствуют развитию хозяйственной деятельности на прилегающей территории, а следовательно, и возрастанию антропогенной нагрузки. Причем, эта антропогенная нагрузка может значительно превышать ожидаемую от сооружения и эксплуатации малых ГЭС. Из анализа опыта зарубежных стран в области охраны природы, интенсивно развивающих это направление гидроэнергетики, можно констатировать, что как в развитых, так и в развивающихся странах охрана окружающей среды стала неотъемлемой составной частью процесса проектирования малых ГЭС.

В России также предпринимаются шаги по решению природоохранных проблем при проектировании малых ГЭС, но пока главные усилия направлены на обеспечение энергоотдачи ГЭС при возможно низкой себестоимости. В условиях возросших требований по обеспечению экологической безопасности необходима разработка определенной методологии охраны окружающей среды, учитывающей специфику использования гидроэнергоресурсов малых рек.

Малые ГЭС должны рассматриваться как неотъемлемая часть природно-технической системы бассейна реки (рис. 4). Назначение такой природно-технической системы – производство электроэнергии при обеспечении устойчивого функционирования экосистемы бассейна малой реки, прежде всего, за счет сохранения ее структуры. Потери природных составляющих природно-технической системы (вырубка леса, осушение болот) неизбежно отражается на водотоке, снижая его гидроэнергетический потенциал. Очевидно, необходимы учет и регламентация воздействия малых ГЭС на природные компоненты.

Спектр и масштабы воздействия малой ГЭС на экосистему водосбора реки зависят от многих факторов: схемы использования гидропотенциала, места размещения гидроузла, наличия и параметров регулирующей емкости, напора, мощности станции, типов агрегатов, компоновки сооружений и др.

В диссертационной работе предложена схема оценки воздействия малых ГЭС на природную среду и выполнен анализ факторов влияния основных сооружений и оборудования.

Рассматривая воздействие сооружений и оборудования малых ГЭС на природную среду следует выделить проблему сохранения ихтиофауны, как одного из наиболее важных вопросов, препятствующих строительству станций. Для решения этой проблемы, прежде всего, необходимо обеспечить свободное и безопасное перемещение гидробионтов. Этого можно добиться путем создания специальных экологически безопасных гидроагрегатов, а также эффективных рыбоходов.

Для изучения травмированности гидробионтов и определения возможности управления пропуском автором были использованы лабораторные стенды гидротурбинных блоков, которые позволяют исследовать условия прохождения биомоделей через агрегат, создавая различные режимные ситуации, изменяя конструктивные параметры гидротурбины и т.д.

Установлено, что процесс безопасного передвижения биомоделей зависит от параметров турбины и режимов эксплуатации: мощности, частоты вращения, угла разворота лопастей и др.

Автором предложена подвижная конструкция многофункционального рыбохода, защищенная патентом, позволяющая изменять в процессе эксплуатации его уклон, тип субстрата и ориентацию входа, обеспечивая условия захода рыб в зависимости от видовых особенностей.

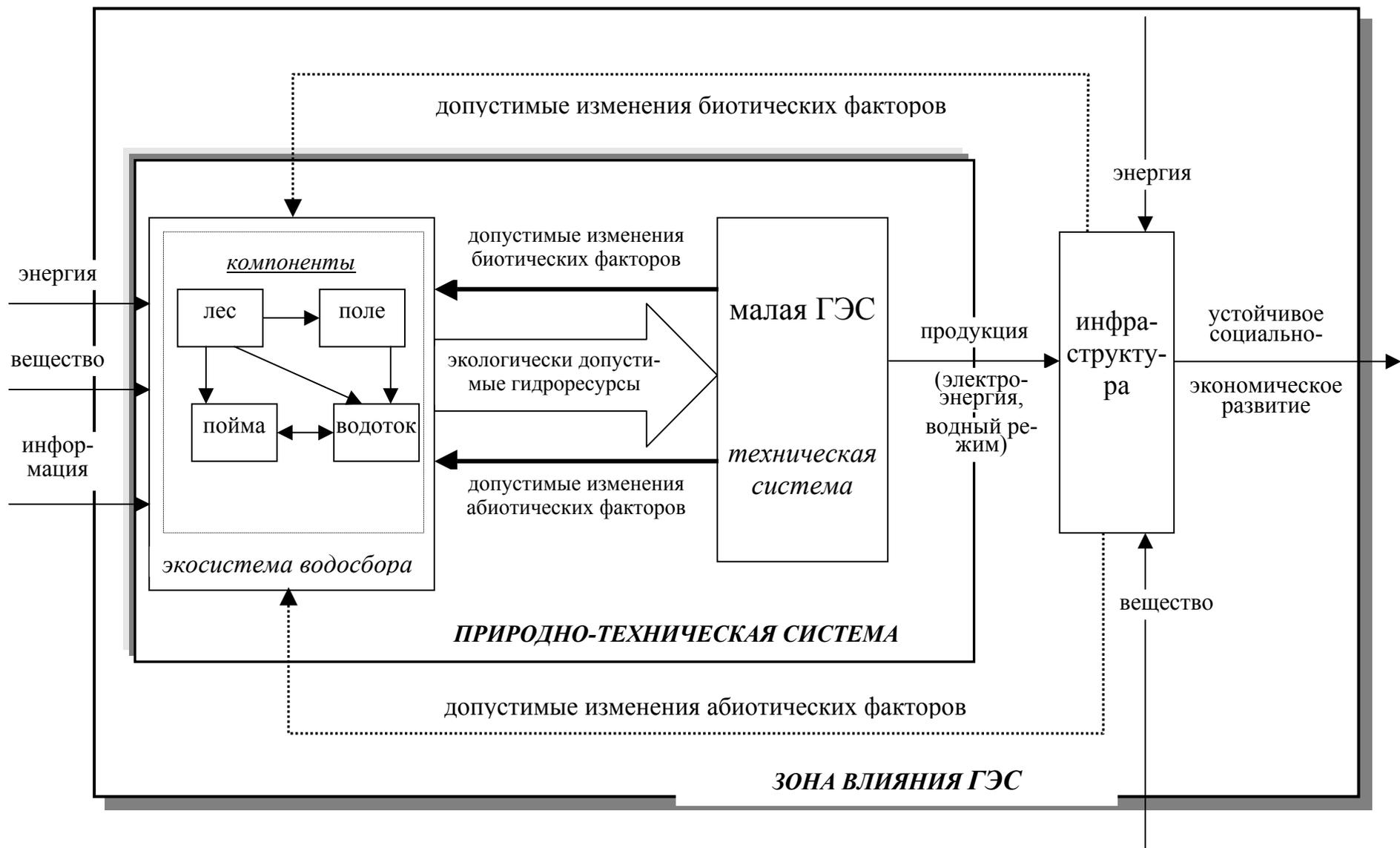


Рис.4. Природно-техническая система с малой ГЭС

Для обоснования формирования природно-технических систем с малыми ГЭС была разработана экспертная система, позволяющая получить информацию об экологической ситуации в районе строительства, рекомендации по выбору технических параметров, а также прогнозировать изменения природной среды.

Основой системы являются несколько взаимосвязанных баз данных и алгоритмы выработки рекомендаций по выбору параметров малых ГЭС.

Базы данных содержат информацию о связях, определяющих влияние технических параметров малой ГЭС на природную среду, а также влияния экологических факторов на параметры объекта. Система может быть включена в комплекс средств как для разработки проекта, так и для контроля за его выполнением.

На примере горных районов Таджикистана были разработаны принципы эколого-экономического обоснования строительства малых ГЭС в рамках природно-технической системы.

Энергообеспечение горных районов традиционно сложная задача. Строительство линий электропередач в горных районах требует больших затрат и не обеспечивает надежного электроснабжения потребителей из-за частых аварий. Завоз топлива автотранспортом также обходится дорого и зависит от сезонных изменений погоды. Это сдерживает социально-экономическое развитие горных регионов и заставляет обратиться к местным источникам энергии. Наиболее перспективным может быть использование значительного гидроэнергетического потенциала малых рек.

Первым обязательным условием при принятии решения о строительстве ГЭС является тщательное изучение и прогнозирование социально-экономического развития конкретного района и определение его потребностей в электроэнергии. Именно определение потребности и их нормирование, т.е. приведение в соответствие с возможностями экономики и условиями природной среды, становится отправным пунктом экологического нормирования.

Не менее важной является оценка реального гидроэнергетического потенциала и возможности его эффективного использования.

Обязательное требование – оценка изменения экологической ситуации в районе строительства малой ГЭС.

Под руководством автора была выполнена работа по оценке состояния и перспектив электропотребления районов изолированного энергоснабжения высокогорного региона. Был уточнен топливно-энергетический баланс горных районов, определены эффективность и участие малых ГЭС в энергообеспечении потребителей.

На этот период удельное электропотребление составляло около 500 кВт·ч на человека в год, что примерно в 7 раз меньше, чем в зоне централизованного электроснабжения равнинных регионов. Около 60-70% суммарного электропотребления расходуется на коммунально-бытовые нужды. По результатам проведенной работы предложен перечень мероприятий по сооружению

первоочередных экологически безопасных малых ГЭС, использованию существующего оборудования.

В случае реализации программы строительства малых ГЭС удельное электропотребление увеличилось бы примерно в 3,5 раза, что меньше, чем в промышленно развитой зоне, но вполне достаточно для обеспечения хозяйственного и социального развития высокогорных районов (рис. 5).

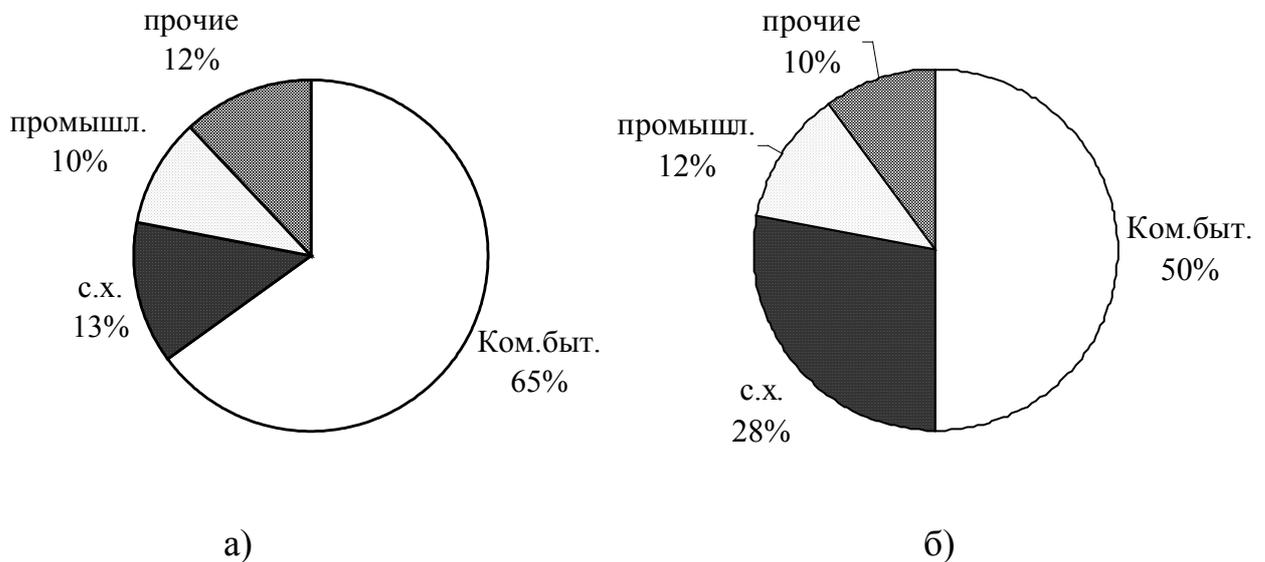


Рис. 5. Структура электропотребления изолированных горных районов
а) – существующая; б) – при реализации программы строительства малых ГЭС.

Все малые ГЭС – деривационного типа без водохранилищ. Их главное воздействие на окружающую среду заключается, прежде всего, в отъеме части стока из русла реки и затруднении прохода рыбы. Поэтому предусмотрен экологический попуск в русло реки. Для обеспечения свободного прохода рыб рекомендовано использование бесплотинного водозабора.

Необходимо отметить положительную роль малых ГЭС в охране окружающей среды горных районов. Обеспечивая электроэнергией население, они сокращают использование альтернативных источников энергии, которыми являются близлежащие леса с уникальными породами деревьев, кустарников, растений.

Каждый млн. кВт·ч выработки электроэнергии на малой ГЭС спасает от вырубки около 10 га горных лесов, а значит, препятствует развитию оползневых, лавинных, селевых процессов, эрозии почв, способствует сохранению своеобразного животного мира. Реализация программы строительства первоочередных малых ГЭС позволила бы дополнительно ежегодно вырабатывать около 230 млн. кВт·ч электроэнергии, а, следовательно, сохранять в этом регионе порядка 2300 га ценных горных лесов.

Предложенный методический подход к формированию природно-технических систем с малыми ГЭС в горных районах позволяет предусмотреть

необходимые условия для их социально-экономического развития с минимальными затратами и воздействием на окружающую среду.

Глава 4. Проблема реконструкции и технического перевооружения действующих ГЭС за последнее десятилетие приобрела особую остроту. В настоящее время крайне важно сохранить имеющиеся ГЭС и не допустить массового выхода их из строя. В современных условиях задачи реконструкции должны решаться с учетом возросших природоохранных требований, что связано с определенными трудностями, прежде всего, из-за отсутствия доступных, систематизированных и достаточно полных сведений об экологической ситуации, первоочередных природоохранных мероприятиях, технических и финансовых возможностях их осуществления по конкретным ГЭС. Разработанная в СПбГТУ методология мониторинга экологической ситуации в районе действующих ГЭС путем анкетирования эксплуатационных служб развита автором и использована для определения первоочередных природоохранных мероприятий и возможных источников финансирования при проведении работ по реконструкции ГЭС.

Сведения, полученные в результате анкетирования эксплуатационных служб ГЭС России и управлений эксплуатаций водохранилищ, стали основой для создания базы данных информационно-аналитической системы «Экологическая безопасность ГЭС». Согласно материалам анкетирования для конкретных гидроэлектростанций определены перечни работ по природоохранным мероприятиям, признанные их эксплуатационным персоналом «крайне необходимыми». Рис. 6 дает представление о том, какие мероприятия наиболее часто отмечаются в качестве первоочередных.

Информационно-аналитическая система «Экологическая безопасность ГЭС» позволяет пользователю ознакомиться со всем спектром экологических проблем, установить виды конкретных природоохранных мероприятий и их приоритетность для каждой станции с учетом возможностей финансирования.

Разработан метод формирования базы данных «Охрана окружающей среды в гидроэнергетике», предназначенной для поиска и реализации технического решения по обеспечению экологической безопасности ГЭС, включающий выбор приоритетных природоохранных мероприятий для конкретной ГЭС, получение информации для обоснования и разработки технического решения. База данных состоит из следующих тематических разделов: «общие данные о ГЭС», «воздействия ГЭС на окружающую среду», «законодательные и нормативно-методические документы», «природоохранные мероприятия в гидроэнергетике», «методы эколого-экономической оценки природоохранных мероприятий».

Выбор приоритетных природоохранных мероприятий методом анкетирования эксплуатационных служб ГЭС позволил выделить ряд общих направлений поиска технических решений обеспечения экологической безопасности ГЭС:



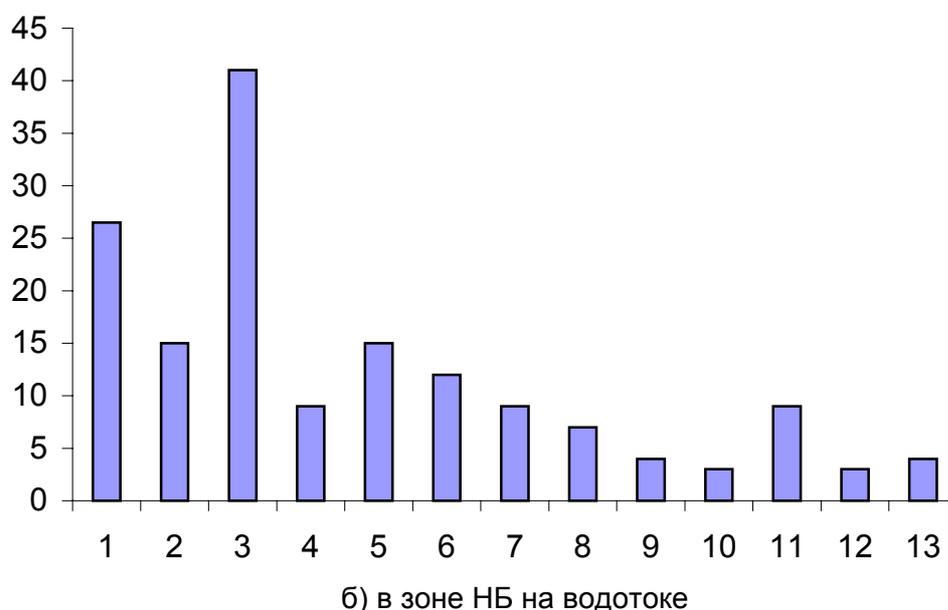


Рис. 6. Распределение природоохранных мероприятий для включения в перечень работ по модернизации и реконструкции: 1 – очистка от мусора, затопленный и плавающих предметов; 2 – защита берегов от разрушения; 3 – управление качеством воды; 4 – борьба с затоплением и подтоплением земель; 5 – обеспечение жизнедеятельности гидробионтов (рыбы, планктона и др. водных организмов); 6 – управление отдыхом населения; 7 – борьба с «цветением» воды; 8 – предотвращение загрязнения водоемов при эксплуатации судов; 9 – поддержание естественного температурного режима воды в нижнем бьефе ГЭС; 10 – поддержание естественного режима твердого стока в нижнем бьефе ГЭС; 11 – обеспечение безопасности окружающей среды при возбужденной сейсмичности; 12 – борьба с кровососущими насекомыми; 13 – прочие мероприятия.

- восстановление утраченных элементов природной среды,

- защита абиотических и биотических компонентов природно-технической системы;
- имитация естественных условий;
- мониторинг природно-технической системы;
- создание благоприятных условий проживания людей.

В диссертационной работе проанализированы современные подходы к поиску технических решений по каждому из перечисленных направлений и представлены авторские разработки, защищенные свидетельствами и патентами. Современный уровень инженерных разработок позволяет, разумно сочетая способы мониторинга, восстановления, имитации, защиты окружающей среды, создавать эффективные природно-технические системы с ГЭС, сохраняя биоразнообразие, и обеспечивать благоприятные условия проживания людей. Наиболее рациональным является совмещение решения этих задач с реконструкцией и техническим перевооружением действующих гидроэлектростанций.

Глава 5. Среди наиболее опасных природных явлений наводнения по суммарному годовому ущербу занимают первое место. Катастрофические наводнения за последние несколько лет неоднократно происходили в России, США, Италии, Германии, Англии, Китае, Вьетнаме и других странах. Непосредственно с малыми реками связана проблема паводков, постоянно существующая в России.

Последствия последних паводков показали низкую эффективность традиционных способов борьбы с наводнениями, предусматривающих защиту земель от затопления, преимущественно на низовых участках основной реки путем строительства гидроузлов с водохранилищами для аккумуляции паводковых расходов, дамб обвалования и др. Незащищенными оказываются обширные зоны в верховьях реки и на боковых притоках. Их доля в общей площади затопленных земель может составить около 50%.

Снижение риска наводнений целесообразно осуществлять путем охвата противопаводковыми мероприятиями всего речного бассейна при минимальном воздействии на природную среду водосбора. С этой целью предлагается сооружение на основной реке гидроузла с ГЭС, имеющего комплексное назначение (выработка электроэнергии, борьба с наводнениями) с минимальной подпорной отметкой и емкостью регулирования максимального стока, а основная противопаводковая емкость размещается на ее боковых притоках. Это приводит к диссипации антропогенной нагрузки на водосборе и позволяет защитить значительные площади за счет территориального распределения регулирующей емкости.

Особенностью гидроузлов на боковых притоках является наличие временно заполняемых саморегулируемых водохранилищ. Гидроузлы не создают подпора на реке в меженный период, так как водохранилища используются только для срезки паводков. В период аккумуляции паводковых вод ложе противопаводкового водохранилища затапливается кратковременно (от не-

скольких часов и суток до нескольких десятков суток), а после самоопорожнения остается сухим до следующего паводка.

Являясь частью природно-технической системы, противопаводковые гидроузлы оказывают воздействие на окружающую среду, причем это воздействие отличается кратковременностью, высокой скоростью процессов, нестабильностью и плохо прогнозируется.

Была выделена группа факторов, которые наиболее часто будут проявляться при функционировании водохранилищ с временно затопливаемым ложом: затопление древостоев, болот, изменение гидрологического режима, качества воды, нарушение миграции рыбы.

Анализ закономерностей экологических процессов при кратковременном затоплении водой ложа водохранилища позволил разработать методические подходы для априорной оценки состояния экосистемы речного бассейна. Расчет параметров и режимов работы противопаводковых гидроузлов предлагается выполнять с использованием интегрального показателя экологической безопасности – допустимой площади кратковременного затопления земель в его верхнем бьефе $F_{\text{зат.доп}}$, поскольку именно масштабы затопления земель определяют величину и характер изменения природной среды речного бассейна. Площадь $F_{\text{зат.доп}}$ определяется как наименьшая из площадей затопления, рассчитанных для каждого i -го фактора: $F_{\text{зат.доп}} \leq \min F_{\text{зат.}i}$.

Разработаны варианты управления риском наводнений в речном бассейне и выбрана схема, включающая в себя русловое водохранилище с ГЭС в нижнем течении основной реки и противопаводковые гидроузлы на боковых притоках, расположенные выше створа ГЭС. Эта схема в наибольшей степени обеспечивает защиту как низовых, наиболее ценных пойменных земель, так и верховых участков водосбора.

Для выбранной схемы управления паводками на водосборе был разработан алгоритм (рис. 7) и программно реализованы математические модели режимов работы русловой ГЭС и противопаводковых гидроузлов на боковых притоках, позволяющие выполнять водноэнергетические расчеты и определять экологически безопасные параметры регулирования паводковых расходов системой распределенных на водосборе водохранилищ. Для руслового гидроузла предусматривается выполнение требования не превышения максимальных расходов воды в нижнем бьефе $Q_{\text{НБ}} \leq Q_{\text{максдоп}}$, а также не превышения отметки форсированного уровня $z_{\text{ВБ}} \leq z_{\text{ФПУ}}$. Для противопаводкового гидроузла в качестве ограничения приняты предельная отметка подъема уровня воды в его верхнем бьефе $z_{\text{ВБ}} \leq z_{\text{макс}}$ при допустимой площади затопления земель $F_{\text{зат.доп}}$, а также предельная величина срезки паводка по условию охраны окружающей среды $Q_{\text{НБ}} \geq Q_{\text{оос}}$.

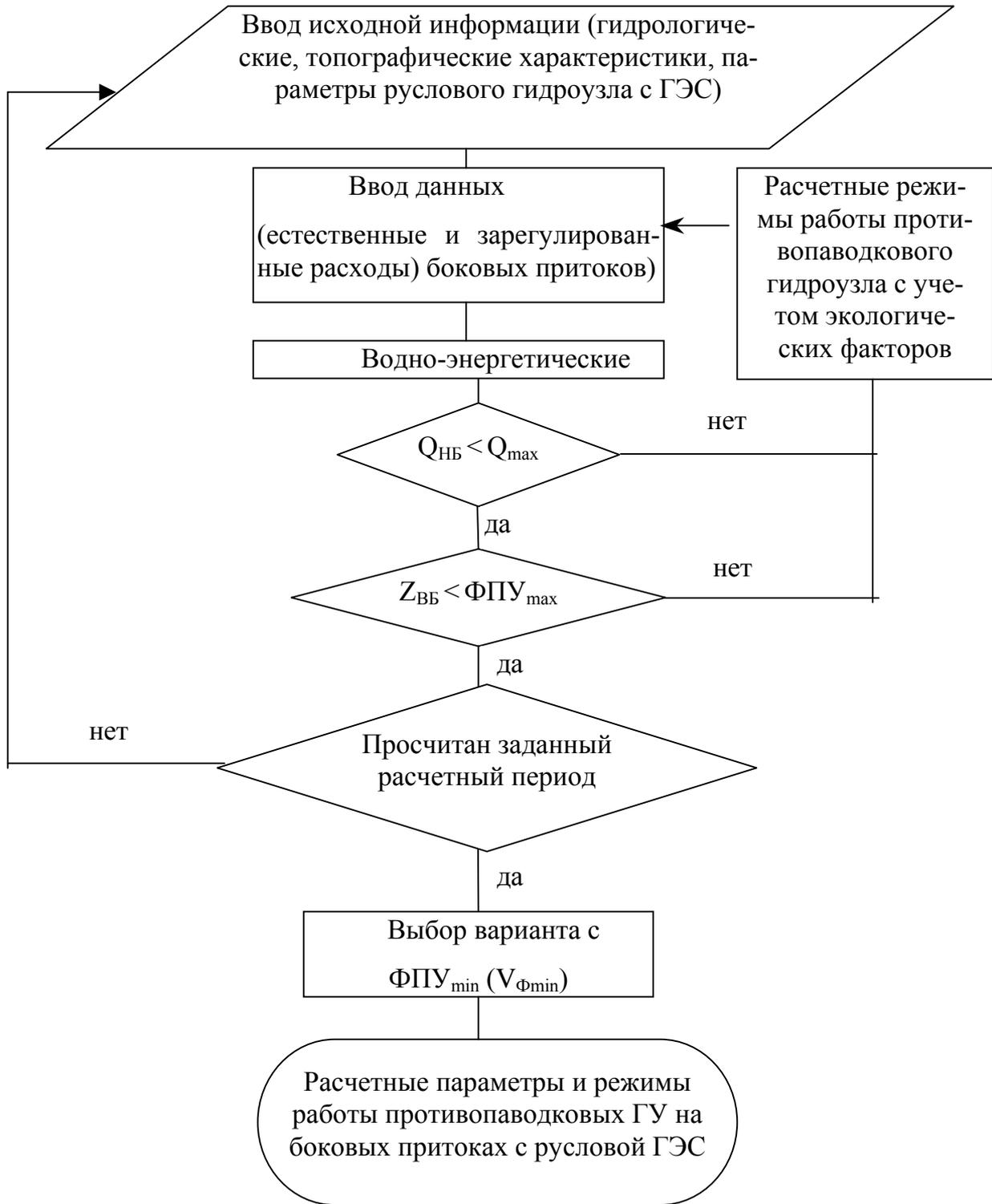


Рис. 7. Алгоритм определения режима работы руслового ГУ с ГЭС и противопаводковых гидроузлов на боковых притоках с временно заполняемыми водохранилищами

Таким образом, предложенный метод позволяет создавать природно-технические системы с ГЭС, обеспечивающие минимальный природный риск.

Рассмотренная схема регулирования паводков речного бассейна была использована для разработки мероприятий по решению проблемы паводков р. Селемджи в Дальневосточном регионе, где наиболее часто наблюдаются катастрофические наводнения. Взяв за основу вариант проекта создания ГЭС на р. Селемдже с крупной противопаводковой аккумулирующей емкостью, требующей большого затопления земель, было предложено уменьшить форсированный объем руслового водохранилища за счет рассредоточения противопаводковой емкости в системе водохранилищ с кратковременно затапливаемым ложем на боковых притоках – реках Норе, Быссе, Альдиконе. При этом снижается антропогенная нагрузка в зоне ГЭС, а также расширяется защищенная территория, которая становится перспективной для хозяйственного освоения.

Для оценки экологических последствий создания противопаводковых гидроузлов на боковых притоках р. Селемджи по результатам экспертного анализа были выбраны наиболее существенные факторы воздействия на природную среду. По каждому фактору проводилась оценка и корректировка допустимой площади затопления земель в верхнем бьефе противопаводкового гидроузла. В результате расчетов определены режимы работы противопаводковых гидроузлов, обеспечивающих сохранность природных систем при кратковременном затоплении ложа водохранилища. Оценка разнообразия экосистем на временно затапливаемой территории производилась по критериям (2) и (3).

Оценка эффективности предложенной схемы производилась на основе сопоставления площадей нарушенных при затоплении и сохраненных от затопления земель: $F_{\text{зат.н.}} \rightarrow \min$, $F_{\text{сохр.}} \rightarrow \max$ при обеспечении как минимум проектной выработки электроэнергии ГЭС $\mathcal{E} \geq \mathcal{E}_{\text{проект}}$.

Анализ эффективности совместной работы Селемджинской ГЭС с гидроузлами на боковых притоках показал, что в этом случае максимальный уровень подъема воды в русловом водохранилище снижается с 221 м (отметка ФПУ) до 217,4 м. Соответственно, продолжительность затопления земель в верхнем бьефе Селемджинской ГЭС сократится от нескольких десятков суток до нескольких суток (рис. 8). При этом энергоотдача Селемджинской ГЭС сохранится на уровне проектной.

Проведенные расчеты показали преимущество предлагаемого варианта регулирования паводковых расходов р. Селемджа, распределенной на ее водосборе системой гидроузлов, т.к. являясь энергетически равноценной проектно-му варианту создания крупной русловой противопаводковой емкости, он имеет социальные и экологические преимущества – позволяет защитить от затопления почти 150 км² земель, а также сократить площадь земель с нарушенной природной средой примерно на 60 км².

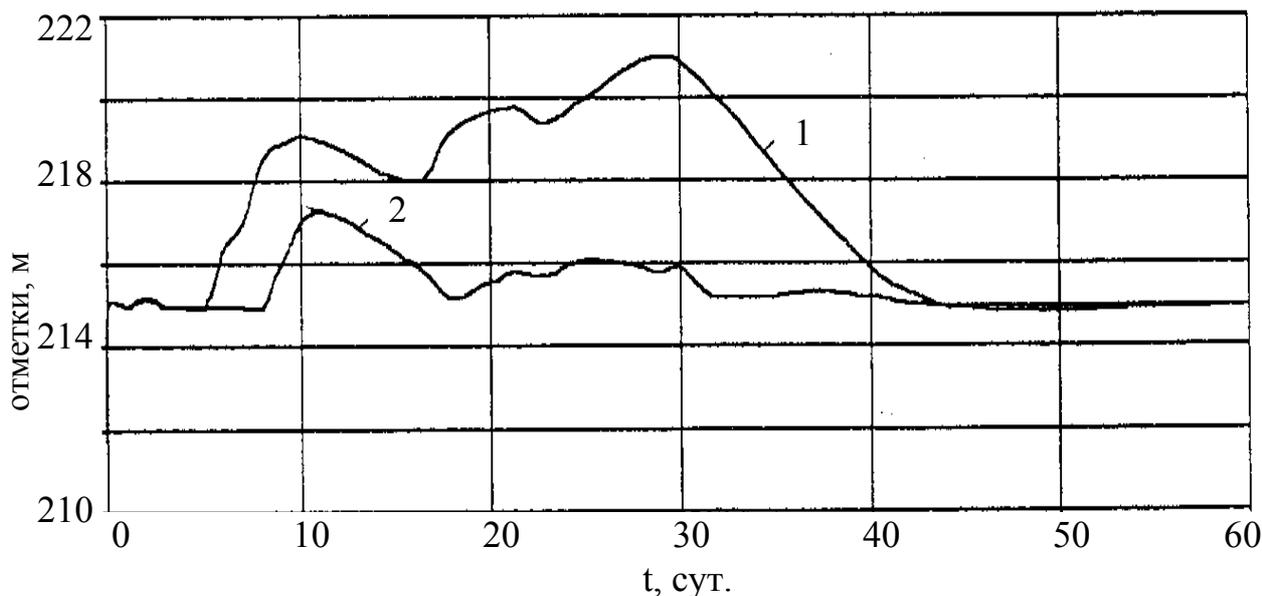


Рис. 8. Изменение УВВБ руслового водохранилища Селемджинского комплексного ГУ (НПУ = 215,0 м): 1 – регулирование одним русловым водохранилищем (проектный вариант – ФПУ = 221,0 м); 2 – регулирование распределенной системой водохранилищ (ФПУ = 217,3 м)

Глава 6. Обязательным условием практической реализации природно-технических систем является их экономическая эффективность. Для оценки эффективности природно-технической системы может быть применено известное правило экономического анализа, которое с учетом экологических затрат (или дохода) примет вид:

$$B - Z \pm \mathcal{E} > 0, \quad (13)$$

где B – потенциальная выгода; Z – затраты; \mathcal{E} – экологическая составляющая.

Оценить эффективность природно-технических систем можно, применяя экономико-математическую модель формирования и распределения дохода предприятия, представляющую собой совокупность основных эколого-экономических показателей (плату за используемые природные ресурсы, за загрязнение природной среды, затраты на проведение природоохранных мероприятий и пр.), набор которых корректируется в зависимости от типа рассматриваемой системы.

Для природно-технических систем с гидроэнергетическими системами важнейшим эколого-экономическим показателем является ценность сохранения «биоразнообразия».

В настоящее время для оценки «биоразнообразия» чаще всего используется метод восстановительной стоимости и капитализации дохода. Для практических целей можно использовать разработанные методы экономической оценки экологического ущерба от нанесения вреда или изъятия объектов живой

природы при антропогенном воздействии, так как они обеспечены конкретными методиками и соответствующими базами данных.

Одним из важных вопросов экономической оценки «биоразнообразия» является определение экологических потерь при затоплении лесопокрытых площадей.

В связи с повышенным вниманием к ограничению выбросов углекислого газа и углерододепонирующей функции лесного покрова в диссертационной работе была предпринята попытка оценить дисбаланс по углероду от замещения тепловых электростанций на гидроэлектростанции с одной стороны, и возможного затопления лесов, с другой стороны.

С этой целью использовались известные методики определения выбросов вредных веществ в атмосферу от тепловых электростанций, а также определения размеров депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем.

Расчеты показали, что при замещении ТЭС каждый млн. кВт·ч выработки электроэнергии ГЭС дает сокращение эмиссии углекислого газа в таких объемах, что при реализации механизма продажи квот на выбросы парниковых газов это позволило бы получать прибыль, соизмеримую с доходом от продажи электроэнергии.

Обычно при оценке эффективности гидроэнергетического объекта экономический эффект от сохранения здоровья населения не учитывается, хотя сохранение здоровья является обязательным условием обеспечения экологической безопасности.

Гидроэнергетические объекты, как правило, не оказывают прямого негативного влияния на здоровье населения, за исключением редких случаев гибели и травмирования людей, связанных с авариями и катастрофическими ситуациями. Эксплуатация ГЭС в отличие от тепловых электростанций способствует уменьшению выбросов загрязнений в окружающую среду, а следовательно, и сохранению здоровья населения.

Экономическая оценка показателей здоровья населения достаточно сложна, прежде всего из-за трудностей выделения факторов воздействия окружающей среды на фоне множества других факторов, и, прежде всего, социальных.

Наиболее удобным и простым методом можно считать определение натурального ущерба здоровью и жизни людей. Методология количественной оценки натурального ущерба в виде среднеожидаемой продолжительности жизни населения либо риска смерти представляется перспективной для оценки экономического эффекта от сохранения здоровья при формировании природно-технических систем.

С целью анализа влияния ГЭС на здоровье населения может быть использован обобщенный показатель последствий для здоровья при функционировании природно-технических систем, учитывающий положительные эффекты от уменьшения загрязнения природной среды, последствия локальных климатических изменений при создании водохранилищ, положительные эффекты от

улучшения качества жизни, рекреационного использования водохранилищ, негативные последствия из-за непредвиденных аварийных ситуаций.

В диссертационной работе уточняется структура обобщенного показателя последствий для здоровья населения и конкретизируются некоторые его составляющие.

Показано, что учет экологической составляющей в ряде случаев может способствовать определению дополнительных источников дохода и нетрадиционных путей повышения экономической эффективности гидроэнергетических объектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что экологическая безопасность относится к центральным требованиям при функционировании ГЭС. Наиболее полное удовлетворение принципов экологической безопасности обеспечивается при формировании природно-технических систем.

2. Обоснованы методы и критерии оценки экологической безопасности для природно-технических систем с ГЭС.

3. Разработаны модели управления длительными режимами работы ГЭС в каскаде многоцелевого назначения. Предложенные модели апробированы при определении энергоотдачи каскада ГЭС в условиях дефицита водных ресурсов, кризисной экологической ситуации в водохозяйственной системе.

4. Обоснована необходимость геосистемного подхода при использовании гидроэнергетических ресурсов малых рек. Разработаны принципы управления природно-техническими системами с малыми ГЭС, обеспечивающие сохранение малых рек. Показана необходимость строительства малых ГЭС в районах изолированного энергоснабжения горных регионов. Определена экономическая эффективность строительства малых ГЭС и предложены мероприятия, обеспечивающие их соответствие требованиям охраны окружающей среды.

5. Предложены методы информационно-аналитического обеспечения принятия решений по экологическому обустройству ГЭС при реконструкции и техническом перевооружении, позволяющие обосновать выбор первоочередных природоохранных мероприятий, а также получить нормативно-техническую информацию для их реализации. Разработана информационно-аналитическая система «Экологическая безопасность ГЭС».

6. Разработана схема экологически безопасного управления паводковыми расходами для бассейна реки за счет дополнительного использования системы распределенных на водосборе гидроузлов с временно-затапливаемым ложем водохранилища, позволяющая защитить от наводнения значительные территории на боковых притоках, снизить антропогенную нагрузку на основной реке за счет территориального распределения регулирующей емкости. Предложены методики оценки воздействия кратковременного затопления территории на состояния природных систем. Созданы модели режимов работы гидроузлов с временно-затапливаемыми водохранилищами с учетом требований экологиче-

ской безопасности, позволяющие определить влияние совместного регулирования паводков на эффективность работы русловой ГЭС.

7. Сформулированы задачи дальнейших исследований: управление риском при функционировании природно-технических систем с ГЭС, совершенствования методологии учета экологических факторов в технико-экономических расчетах оценки эффективности ГЭС.

Положения диссертации опубликованы в следующих основных работах:

1. Учет факторов рационального использования водных ресурсов при разработке АСУ водохозяйственным комплексом//Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды: Межвуз. сборн. по компл. прогр. Минвуза РСФСР «Человек и окружающая среда» - Л.: 1980.- Вып. 3.- С. 111-114.

2. Перспективные направления использования водохранилищ гидроэнергетических установок//Влияние водохранилищ ГЭС на хозяйственные объекты и природную среду: матер. конф. и сов. по гидротехн. - Л.: Энергия, 1980.- С. 11-16.

3. Имитационная модель режимов работы гидроэлектростанций с многоцелевым водохранилищем//Гидроэнергетика и водное хозяйство: Тр. ЛПИ.- 1981.- № 3.- С. 5-21.

4. Оценка факторов водопользования и изменения характеристик многоцелевых водохранилищ при обосновании режимов работы ГЭС Вахшского каскада//Изв. АН Тадж.ССР ,отд. физ.-мат., хим. и геол. наук.- 1983.- № 1 (87).- С. 109-112.

5. Оценка изменения энергоотдачи ГЭС с учетом ограничений по условиям возбужденной сейсмичности//Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды: Межвуз. сборн. по комп. прогр. Минвуза РСФСР «Человек и окружающая среда». - Л.: 1984.- Вып. 1.- С. 17-20.

6. Техничко-экономические исследования долгосрочных режимов работы ГЭС Вахшско-Амударьинского каскада при многоцелевом водопользовании//Изв. АН Тадж. ССР, отд. физ.-мат, хим. и геол. наук. 1989.- № 3 (113).- С. 56-63.

7. Эффективность использования гидроэнергетических ресурсов малых водотоков в Южном Таджикистане и Горно-Бадахшанской автономной области//Доклады АН Тадж.ССР.- 1984.- Том XXVII.- № 6.- С. 342-345.

8. Использование малых ГЭС в изолированных районах//Оптимизация режимов энергетических систем : Межведомств. сб. тр. Моск. энерг. ин-та.- 1985.- № 65.- С. 108-112.

9. Вопросы совершенствования топливно-энергетического баланса Горно-Бадахшанской автономной области//Изв.АН Тадж.ССР, философ., эконом., правоведен.- 1986.- № 2 (2).- С. 40-46.

10. Социально-экономические предпосылки строительства малых ГЭС в горных районах Таджикской ССР//Гидротехническое строительство.- 1988.- № 4.- С. 4-6.
11. Установка для преобразования энергии текущих сред/А.с. № 1451331.- 1989, бюл. № 2.
12. Экология и комплексные энергетические технологии//Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды. Сб.научн.тр. ЛПИ.- 1989.- С. 9-14.
13. Ekonomia i ekologia elektrowni pompowej w kompleksie energetycznym//II sesja Naukowa. Elektrownia wodna w systemic elektroenergetycznym, Lublin.- 1989.- S. 93-100.
14. Conception of ecological safety in the use of unconventional energy sources.//Perspectives of Rene Wable Energy Resources utilization in Karelian Fuel-Energy Balance Proceedings of the First Unternational Seminar.. Petrozavodsk, Russia. 4-7 April, 1993.- P. 41-50.
15. Enginieering support for passing hydrobiota througha through hydroelectric stations//1-st Just Symposium on Habital Hydroulics, 1, Trondhtim.- 1995.-P. 31-39.
16. Экологическая безопасность электростанций с возобновляющимися источниками энергии//Гидротехническое строительство.- 1995.- № 6.- С. 32-36.
17. Экспертная система экологического обоснования параметров малых рек//Симпозиум и международная специализированная выставка «Энергетика-96»: Тез. докл.- С.-Петербург.- 1996.- С. 70-72.
18. Environmental safety problems of hydropower stations//IV Mydzienarodova sesja Naukowa Elektrownia wodna w systemic elektroenergetycznym.- Lublin.- 1996.- P. 53-55.
19. Обоснование нетрадиционных энергоустановок с учетом экологических квот на землепользование//Нетрадиционная энергетика: ресурсы, техника, экономика, экология/Сб. научн. тр. по мат. межд. конф. «Современные проблемы нетрадиционной энергетике» .- С-Пб.: Изд-во СПбГТУ.- 1996.- С. 85-87.
20. Экологические аспекты регулирования паводковыми расходами системой водохранилищ с распределенными функциями // Экологические проблемы рационального использования и охраны водных ресурсов / Межвуз. сборн. - Вологда.- 1996.- С. 54-62.
21. Экологическая безопасность использования возобновляющихся энерго-ресурсов//Научно-технические ведомости СПбГТУ.- 1996.- № 4.- С. 62-67.
22. Energy production in Nortwesten Russia. P.221-230. In the book.: "Karelia and St. Peterburg." Joensuu University Press Qy, 1996.- P. 250.
23. Принципы обоснования природно-технических систем с малыми ГЭС // Региональная экология.- 1997.- № 1-2.- С. 43-49.
24. Критерии эколого-экономической оценки безопасности энергетических объектов//Надежность и безопасность энергетических сооружений. Изв. ВНИИГ им. Б.Е.Веденева.- 1997.- Т. 233.- С. 17-23.

25. Строительство рекреационных водохранилищ на малых реках Ленинградской области//Научно-технические ведомости СПбГТУ.- 1998.- № 4 (14) .- С. 52-55.

26. Гидроэнергетика и экология. С.19-44//Надежность и экологическая безопасность гидроэнергетических установок. А.В. Львов, М.П. Федоров, С.Г. Шульман. - С-Пб: Изд-во СПбГТУ.- 1999.- 434 с.

27. Экспертно-информационная система «Экологическая безопасность ГЭС» // Гидротехническое строительство.- 2000.- № 3.- С. 35-41.

28. О повышении «экологической чистоты» ГЭС//Безопасность энергетических сооружений. Науч. техн. и произв. сборн.- 2000.- Вып.6.- С. 37-44.

29. Водоприемное устройство/А.с. № 1167264, 1985, бюл. № 26.

30. Устройство для нереста и выращивания рыбы в водохранилищах/А.с. № 1445662, 1988, бюл. № 47.

31. Устройство для транспортировки наносов в водохранилище/А.с. 1583537, 1990, бюл. 29.

32. Устройство для создания в водоеме вертикальной циркуляции воды/Патент РФ № 1790357, 1993, бюл. № 3.

33. Устройство для нереста и выращивания рыбы в водохранилище/Патент РФ № 1738185, 1992, бюл.21.

34. Устройство для пропуска рыб/Патент РФ, № 1738905, 1992, бюл. № 21.

Соавторами отдельных публикаций являлись:

З.А. Алигишиев [1], А.Е. Андреев [25], А.Г. Боголюбов [16, 21], М.А. Бурханова [9], В.И. Василевич [20], Ю.С. Васильев [2, 27 28], Е.А. Воронин [29], С.Н. Добрынин [27], В.В. Елистратов [28], В.Г. Еловенко [5], Б.А. Ельманов [7], И.Г. Кудряшева [27], Л.Ю. Макарова [20], Н.К. Малинин [8], Р.Я. Машиев [8], С.Р. Расулов [4,5,6,7], Н.Н. Ролле [18, 34], М.В. Романов [19], Ф. Свигала [13], Г.И. Сидоренко [22], Т.С. Тихонова [27], Т.М. Файзуллаева [6], М.П. Федоров [2, 3, 12, 13, 14,15, 18, 21, 22, 23, 25, 29, 30, 31, 31, 32, 33, 34], М.Б. Шилин [15, 32], А.Ф. Ширинский [11, 30, 31, 33].