

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

на правах рукописи

Никитина Оксана Игоревна

**ВЛИЯНИЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА
НА ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ БАССЕЙНА АМУРА
И МЕРЫ ПО ИХ СОХРАНЕНИЮ**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:

д.т.н. Болгов М. В.

Научный консультант:

д.г.н. Дубинина В. Г.

Москва – 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. РОЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТОКА И ПОПУСКА В СОХРАНЕНИИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ.....	5
1.1 Естественный водный режим и его экосистемные функции	12
1.2 Концепция экологического стока	14
1.3 Экологический попуск в бассейнах зарегулированных рек	16
1.4 Методология и практика определения экологического стока и попуска..	20
1.4.1 Российская Федерация	20
1.4.2 Мировой опыт.....	24
Выводы	31
ГЛАВА 2. ВЛИЯНИЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА НА ВОДНЫЕ И ПОЙМЕННЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ БАСЕЙНА РЕКИ ЗЕЯ И МЕРЫ ПО МИНИМИЗАЦИИ ВЛИЯНИЯ.....	32
2.1 Объект исследований	32
2.2 Анализ изменений водного режима реки Зея	38
2.3 Применение дистанционных методов для оценки изменения пойменных территорий реки Зея.....	43
2.4 Влияние регулирования стока на качество воды и биоту водных и пойменных экосистем рек Зея и Амур.....	50
2.5 Экологический сток (попуск) для минимизации влияния регулирования стока на водные и пойменные экосистемы рек Зея и Амур.....	53
2.5.1 Материалы	54

2.5.2 Методика допустимого изъятия стока поверхностных вод и определения экологического стока (попуска)	54
2.5.3 Определение допустимого безвозвратного изъятия стока и экологического стока в бассейне реки Зея.....	57
Выводы	63
ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА НА ЭКОСИСТЕМЫ БАССЕЙНА РЕКИ БУРЕЯ И РАЗРАБОТКА ПРИРОДООХРАННЫХ МЕР	
3.1 Объект исследований	66
3.2 Регулирование стока и его влияние на водные и пойменные экосистемы	68
3.3 Определение экологических попусков из водохранилищ на реке Буря ..	74
3.3.1 Анализ наводнений при естественном водном режиме	75
3.3.2 Анализ наводнений при регулировании стока.....	78
3.3.3 Рекомендации по реализации экологических попусков.....	81
3.4 Организация гидрологического мониторинга в Хинганском заповеднике	84
Выводы	89
ГЛАВА 4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ БАССЕЙНА АМУРА	
4.1 Оценка значимости экологического стока и учет факторов состояния водных и пойменных экосистем в масштабе речного бассейна.....	90
4.1.1 Учет ценных экосистем бассейна при определении экологического стока	90
4.1.2 Сохранение свободного течения рек для поддержания режима экологического стока	92

4.1.3 Роль особо охраняемых природных территорий в сохранении речных экосистем.....	93
4.2 Учет типа водного режима при определении экологического стока (попуска).....	97
4.3 Экологические и социально-экономические аспекты наводнений в бассейне Амура и меры адаптации	99
4.4 Меры по сохранению водных и пойменных экосистем при планировании и строительстве плотин.....	105
Выводы	111
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	113
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ.....	116
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	118
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	141
Приложение А. Алгоритм расчета безвозвратного изъятия стока и экологического стока	141
Приложение Б. Распределение стока в годы разной водности, используемое при расчетах экологического стока р. Зея – г/п Белогорье	144

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В последние десятилетия биологическое разнообразие водных экосистем резко снижается: согласно индексу живой планеты 2020 г., численность популяций пресноводных видов фауны в среднем сократилась на 84% с 1970 г. [WWF, 2020]. Возведение плотин наряду с другими антропогенными факторами привело к изменению режима стока многих рек, к обеднению и смене их видового состава, что делает водные экосистемы неустойчивыми к воздействию природных и антропогенных факторов. Большое количество негативных последствий регулирования стока на водные экосистемы привело к развитию исследований по оценке последствий изменений водного режима и доступного диапазона подобных изменений для водных и пойменных экосистем (рр. Волга, Дон, Кубань, Урал, оз. Байкал и др.), а также мер по их минимизации. Одним из путей оптимизации управления водными ресурсами зарегулированных рек является осуществление экологических попусков из водохранилищ, приближающих условия в нижнем бьефе к естественному режиму.

Исследования по определению режимов, объемов и сроков прохождения экологических попусков, направленных на сохранение водных и пойменных экосистем бассейна Амура, включая заповедные водно-болотные угодья, ранее не проводились, хотя природоохранное сообщество неоднократно указывало на важность решения этой задачи [Кастрикин, Подольский, 2005; Головкин, 2008; Бота, 2016]. Для сокращения негативного влияния регулирования стока и сохранения и восстановления водных и пойменных экосистем в бассейне Амура разработаны и предложены экологические попуски из водохранилищ. Также в работе проведен анализ воздействия потенциальных противопаводковых гидроэлектростанций (ГЭС) на окружающую среду бассейна Амура.

Степень разработанности темы. С начала 1980-х гг. научное направление экологического стока стало важным аспектом в управлении водными ресурсами во многих странах мира, в т. ч. в России, в связи с развитием крупномасштабных работ по водной мелиорации. Для многих речных бассейнов

мира оценка экологического стока до сих пор не проведена. Для бассейновых округов России разработаны схемы комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) и нормативы допустимого воздействия хозяйственной и иной деятельности на водные объекты (НДВ), включая установление допустимого безвозвратного изъятия стока, экологического стока и попусков. Однако в большинстве речных бассейнов России экологический сток, в том числе попуски, не реализуется на практике, что приводит к ухудшению состояния водных и пойменных экосистем. В частности, в разработанных ранее СКИОВО и НДВ по бассейну р. Амур, в которых представлены экологические стоки [Бортин и др., 2013], не содержится достаточных требований к попускам из водохранилищ для поддержания устойчивого состояния водных и пойменных экосистем, в том числе заповедных водно-болотных территорий.

В зоне влияния гидроузлов на Зее и Бурее ИВЭП ДВО РАН и другие научные и профильные организации Дальнего Востока проводили социально-экологический мониторинг [Арефина и др., 2010; Заусаев и др., 2007]. Ряд исследователей оценивали последствия строительства гидроэлектростанций на наземных позвоночных в бассейне Амура [Дарман, Колобаев, 1993; Подольский и др., 2017]. Всемирный фонд дикой природы (WWF) и компания En+ Group провели оценку воздействия гидроэлектростанций на экосистемы и социально-экономическое развитие бассейна р. Амур [Симонов и др., 2015]. Однако в этих исследованиях не была дана подробная сводная оценка последствий влияния регулирования стока на водные и пойменные экосистемы и не были сформулированы конкретные предложения по реализации экологических попусков.

Цели и задачи исследования. Цель — оценить состояние и изменение водных и пойменных экосистем в бассейне Амура, обусловленные регулированием стока, и разработать меры по их сохранению и восстановлению.

Для достижения цели решались задачи:

1. Проанализировать изменения гидрологического режима и оценить последствия регулирования стока на водные и пойменные экосистемы.
2. Разработать научно обоснованные рекомендации к режиму экологических попусков из водохранилищ в бассейне р. Амур и оценить возможности их реализации.
3. Обосновать комплекс природоохранных мер для водных экосистем в бассейне р. Амур в условиях регулирования стока.
4. Оценить последствия возможного строительства противопаводковых ГЭС на окружающую среду бассейна р. Амур и дать предложения по их минимизации.

Объект и предмет исследования. Объект исследования — российская часть бассейна р. Амур. Предмет исследования — водный режим, обеспечивающий условия устойчивого функционирования водных и пойменных экосистем, — экологический сток (попуск).

Материалы и методы исследования. Для проведения исследования использовались архивные данные гидрологического мониторинга, отчеты и данные наблюдений за состоянием окружающей среды. Для оценки изменений водного режима применялось программное обеспечение «Индикаторы гидрологических изменений» (“Indicators of Hydrologic Alteration”). В работе применялись архивные материалы снимков миссий CORONA, ARGON, LANYARD, современные космические снимки спутников Sentinel-2, RapidEye Ortho. Для обработки и дешифрирования данных дистанционного зондирования и составления карт использовалось программное обеспечение ArcGIS 10.5. По инициативе автора и с его участием в 2019 г. проведены полевые работы по организации мониторинга исследуемых водных объектов в Хинганском государственном природном заповеднике.

Методологическую основу выполненных работ составили:

- методический подход определения безвозвратного изъятия стока и экологического стока, разработанный В. Г. Дубининой с соавторами;

- методика бассейновой оценки развития гидроэнергетики, разработанная Е. А. Симоновым и Е. Г. Егидаревым;
- метод сравнительного и ретроспективного анализа, статистический, дистанционный, геоинформационный методы.

Научная новизна работы заключается в том, что для бассейна р. Амур автором впервые:

1. Проведен системный анализ влияния регулирования стока на водные и пойменные экосистемы.
2. Выявлены гидрологические характеристики для восстановления и сохранения водных и пойменных экосистем.
3. Разработаны научно обоснованные рекомендации по режиму обводнения поймы и экологическому стоку р. Зеи и реализации экологических попусков из водохранилищ на р. Бурее.
4. Оценка состояния водно-болотных угодий заповедных территорий предложена в качестве критерия при установлении экологического стока и попуска.
5. Установлены особенности определения экологического стока и попуска в условиях дальневосточного типа водного режима рек.

Практическая значимость. По итогам исследования сформулированы количественные результаты, которые могут быть применены в технической сфере регулирования стока и положены в основу рационального природопользования. Разработанные экологические попуски будут предложены для включения в Правила использования водных ресурсов водохранилищ (ПИВР) на р. Бурее.

В ходе проведения исследования организован и уже реализуется гидрологический мониторинг в Хинганском заповеднике, позволяющий в дальнейшем оценить эффективность реализации экологических попусков и влияние климатических изменений на водные объекты.

Защищаемые положения:

1. Многолетнее регулирование стока Зеи стало причиной таких негативных экологических последствий, как нарушение гидрологического режима, ухудшение условий обитания фауны и обеднение ее видового состава. Редкое обводнение поймы Зеи привело к сокращению площади озер (до 43%) и росту площади населенных пунктов (до 50%) в нижнем бьефе Зейской ГЭС.

2. Состояние водно-болотных угодий заповедных территорий может служить критерием при определении экологического стока и попуска в бассейне Амура. Экологические попуски из водохранилищ на Бурее должны быть реализованы не реже чем раз в 6–7 лет в июле–августе и составлять 3700–7000 м³/с на протяжении 10–15 дней для обводнения заповедных водно-болотных угодий, из них 7000 м³/с на протяжении 2–3 дней для промывания старичных озер. Величина попуска должна определяться с учетом уровня Амура.

3. Для дальневосточного типа водного режима рек бассейна Амура установление экологического стока и попуска должно основываться на определении допустимого для сохранения водных экосистем сокращения максимального стока с учетом защиты населения от наводнений.

4. В сложившихся условиях сохранение основного русла Амура и его притоков, прежде всего рек Шилка и Селемджа, от зарегулирования наряду с экологическими попусками из водохранилищ является приоритетом охраны водных экосистем бассейна Амура.

Обоснованность и достоверность результатов работы подтверждается надежностью используемого информационного и программного обеспечения. Результаты получены путем обработки ежедневных данных гидрологических наблюдений, анализа состояния водных и пойменных экосистем с применением данных дистанционного зондирования, анализа и обобщения опубликованных материалов о состоянии экосистем и их компонентов. Оценки проводились с использованием методик, имеющих широкое распространение и использование в научной литературе.

Личный вклад автора. Анализ влияния регулирования стока на состояние водных и пойменных экосистем рр. Зеи, Буреи и Амура, установление экологически значимых гидрологических характеристик, разработка рекомендаций по экологическому стоку и попуску выполнены лично автором. Основные результаты получены автором самостоятельно. Организация гидрологического мониторинга в Хинганском заповеднике реализована совместно с сотрудниками заповедника М. П. Париловым и Т. А. Париловой.

Апробация работы. Основные результаты исследования докладывались, обсуждались и опубликованы в трудах следующих конференций и рабочих совещаний: V Всероссийское совещание гидроэнергетиков (Санкт-Петербург, 2013); VIII и IX Международные научно-практические конференции «Реки Сибири и Дальнего Востока» (Иркутск, 2013, 2015); Международная научно-практическая конференция «Водный форум БРИКС» (Москва, 2016); X Международная научная конференция молодых ученых и талантливых студентов «Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность» (Москва, 2016); 9th IWA Eastern European Young Water Professionals Conference (Будапешт, 2017); Международная конференция памяти выдающегося русского гидролога Ю. Б. Виноградова «Третьи Виноградовские чтения. Грани гидрологии» (Санкт-Петербург, 2018); 8th International Water Resources Management Conference of International Association of Hydrological Sciences (Пекин, 2018); Глобальный семинар Конвенции по трансграничным водам ЕЭК ООН по экосистемной адаптации в трансграничных бассейнах (Женева, 2019); Всероссийская научно-практическая конференция «Водохранилища Российской Федерации: современные экологические проблемы, состояние, управление» (Сочи, 2019); Секция охраны водных экосистем НТС ФГБУ «ЦУРЭН» Росрыболовства (Москва, 2019); рабочие встречи Проекта ПРООН / ГЭФ Минприроды России по сохранению биоразнообразия в гидроэнергетике (Москва, 2016); заседания лаборатории моделирования поверхностных вод и Совета молодых ученых ИВП РАН (Москва, 2016–2020 гг.).

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 20 работ, включая 5 статей в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК и совместную монографию.

Объем и структура. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и 2 приложений. Объем работы составляет 147 страниц, включая 32 рисунка и 7 таблиц. Список литературы содержит 189 наименований.

Благодарности. Выражаю глубокую благодарность научному руководителю д.т.н. М. В. Болгову и коллективу лаборатории моделирования поверхностных вод ИВП РАН за помощь в этой работе. Искреннюю признательность за содействие и поддержку выражаю научному консультанту д.г.н. В. Г. Дубининой. Благодарю д.о.п. Е. А. Симонова (коалиция «Реки без границ») и к.г.н. Е. Г. Егидарева (ТИГ ДВО РАН, WWF России) за совместную работу и идеи, М. П. Парилова и к.б.н. Т. А. Парилкову (Хинганский заповедник) за соучастие, организацию и проведение полевых работ. Я глубоко признательна к.х.н. П. Е. Осипову и к.б.н. Ю. А. Дарману (WWF России) за всестороннюю поддержку и предоставленные возможности. Большое спасибо к.г.н. О. Н. Ериной (МГУ им. М. В. Ломоносова, ВНИРО) за помощь и интерес к этой работе. Благодарю к.г.н. С. А. Подольского и д.г.н. Н. М. Новикову (ИВП РАН) за ценные комментарии и предложения. Спасибо к.б.н. А. Ю. Сердюк (WWF России) и к.г.н. Т. Д. Миллионщиковой (ИВП РАН) за соучастие, О. А. Бердниковой (WWF России) за помощь в оформлении картографического материала. Я очень признательна А. В. Куклину и И. В. Де Луз за безусловную поддержку на всех этапах работы. Большое спасибо всем, кто помогал при проведении этого исследования.

ГЛАВА 1. РОЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТОКА И ПОПУСКА В СОХРАНЕНИИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

1.1 Естественный водный режим и его экосистемные функции

Пресноводные экосистемы населены диспропорционально большим числом видов флоры и фауны в расчете на единицу площади в сравнении с морскими экосистемами и экосистемами суши: так, площадь пресноводных объектов составляет менее 1% от поверхности Земли, в них обитают более 10% всех известных видов животных и около 1/3 всех видов позвоночных животных [Balian et al., 2008]. Состояние пресноводных экосистем определяется гидрологическим режимом водных объектов, их связью с другими частями экосистемы и ландшафтами, условиями среды обитания, а также разнообразием видов животных и растений [Karr et al., 1981; Poff et al. 1997; WWF, 2018]. Пространственно-временная изменчивость режима стока важна для поддержания среды обитания водных и околоводных видов, биологического разнообразия речной экосистемы и постоянства ее видового состава [O'Keeffe, Le Quesne, 2009]. Речной сток определяет водный и термический режим рек и сток наносов, состояние почвенного и растительного покрова пойменной экосистемы, что играет большую роль в функционировании водных и околоводных экосистем, прежде всего, в размножении рыб и других гидробионтов [Дубинина, 1973]. Режим стока формирует местообитания (русло реки, плесы и перекаты, пойменные территории, старичные озера), и его изменение приводит к их смене. При естественном режиме стока низкие расходы межени чередуются с высокими во время половодья и паводков, определяя состояние водной экосистемы в фазы разной водности. Так, меженный сток определяет естественные лимитирующие условия среды обитания и вынуждает организмы адаптироваться к сложившимся неблагоприятным маловодным условиям. Сток половодий и паводков обеспечивает периодическое обводнение пойменных территорий и водно-болотных угодий, поддерживая их плодородие

и биологическое разнообразие, а также поддержание стока наносов. Гидробионты эволюционно приспособлены к динамике стока, которая определяет время их размножения, миграции, нагула; нарушение режима стока приводит к сбоям их жизненных циклов. Изменение режима стока способствует изменению видового состава, вселению инвазивных видов и вытеснению ими видов естественных условий [Bunn et al., 2002]. Если изменения гидрологического режима превышают предельно допустимые величины, то могут произойти необратимые процессы в экологических системах и их переход в иное состояние. Определение пределов этих допустимых величин в части водного режима лежит в основе установления параметров допустимого антропогенного изменения естественного стока, критических для воспроизводства организмов и функционирования экосистемы [Дубинина, 1973].

Пресноводные экосистемы подвержены нарастающему количеству угроз: в частности, уровень вымирания пресноводных рыб в XX веке был самым высоким в мире среди позвоночных [WWF, 2018]. Для обращения вспять негативной тенденции сокращения биоразнообразия водных экосистем необходимо предпринимать срочные меры. Исследования показывают, что изменения водных экосистем являются обратимыми, и экосистемы сохраняют биотический и кормовой потенциал, достаточный для восстановления [Volovik et al., 1993]. Ключевым элементом восстановления нарушенных водных экосистем должно стать поддержание гидрологического режима, обеспечивающего благоприятные условия существования водных биоресурсов [Дубинина, 1973; Bunn, Arthington, 2002]. Определение и внедрение экологического стока позволяют выявить и количественно оценить такие условия.

1.2 Концепция экологического стока

Ухудшение состояния речных экосистем и водно-болотных угодий, утрата их биологического разнообразия в результате воздействия водохозяйственной инфраструктуры, изъятия воды и изменения водного режима привели к развитию исследований в области охраны водных экосистем и направления, изучающего экологический сток. Его цель — оценить последствия изменения водного режима и доступный диапазон подобных изменений для водных экосистем. Оценка экологического стока предусматривает разные сценарии развития использования водных ресурсов и способствует прогнозированию возможных последствий.

Экологический сток — часть естественного стока, которая должна оставаться в реке в результате безвозвратного изъятия водных ресурсов или регулирования водного режима ниже по течению от места воздействия на реку для обеспечения устойчивых условий развития и функционирования водной экосистемы. Экологический сток должен базироваться на естественном состоянии речной экосистемы и быть приближенным к естественному (малонарушенному) режиму стока [Дубинина, 2001].

Международное определение экологического стока (environmental flow) приведено в Брисбенской декларации: экологический сток определяет количественные, временные и качественные характеристики стока и уровней воды, требуемых для поддержания водных экосистем, которые, в свою очередь, поддерживают социально-экономические условия, обеспечивая устойчивые источники средств к существованию и благосостояние людей. Водные экосистемы в этом определении включают реки, ручьи, источники, прибрежные, пойменные и другие водно-болотные угодья, озера, прибрежные водные объекты, включая лагуны, эстуарии, а также экосистемы, зависящие от состояния подземных вод [Arthington et al., 2018].

Концепция экологического стока базируется на следующих факторах [O’Keeffe, Le Quesne, 2009]:

- естественная вариативность речного стока необходима для поддержания биологического разнообразия речной экосистемы;
- поддержание среды обитания обеспечивает постоянство видового состава;
- часть речного стока может быть изъята из рек без критического ухудшения состояния компонентов экосистемы и экосистемных функций речного бассейна;
- реки относительно устойчивы к кратковременным антропогенным воздействиям;
- состояние речных сообществ в большей степени определяется такими абиотическими факторами как режим стока, гидрохимический состав, транспорт речных наносов, чем такими биотическими как межвидовая конкуренция либо болезни животных и эпизоотии.

Экологический сток базируется на определении приемлемой величины изменения водного режима реки. Для поддержания устойчивого состояния экосистемы нужен такой водный режим, который имитирует внутригодовое распределение естественного (малонарушенного) стока.

Несоблюдение режима экологического стока (попуска) и превышение значений допустимого изъятия может привести к нарушению функционирования экосистем и их деградации. Последствия понижения расходов рек включают уменьшение скоростей движения воды (как следствие — заиление и зарастание русел), изменение биологических и гидрохимических режимов и ухудшение условий жизнедеятельности флоры и фауны рек и речной поймы, ухудшение условий жизнедеятельности рыб, увеличение степени загрязнения (как следствие — ухудшение состояния качества воды и экологического благополучия реки), понижение уровня грунтовых вод и исчезновение источников воды, которые могут оказать влияние на условия существования прилегающих территорий.

1.3 Экологический попуск в бассейнах зарегулированных рек

Появление разнообразных объектов водохозяйственной инфраструктуры — в частности, строительство плотин, — привело к резкому уменьшению количества свободно текущих, не зарегулированных плотинами рек (см. рис. 1.1).

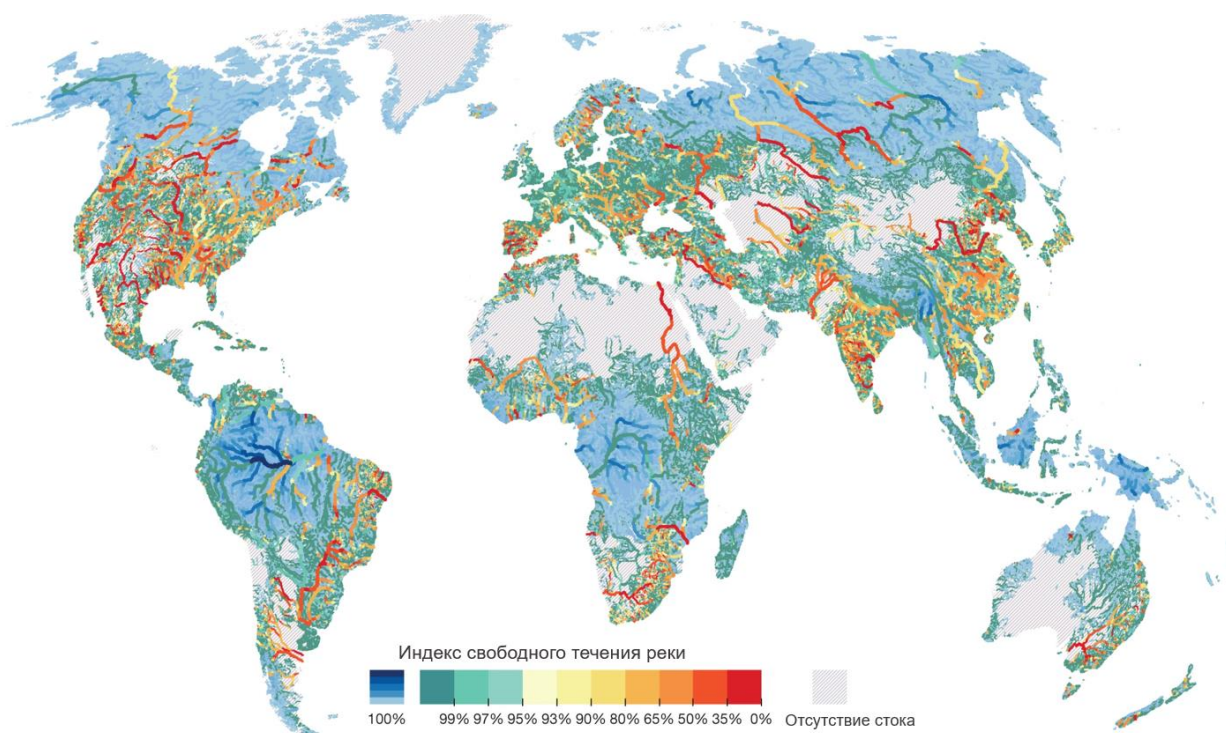


Рисунок 1.1. Индекс свободного течения рек для основных водных артерий мира (Grill et al., 2019)

На сегодняшний день в мире построено более 50 000 крупных плотин [ICOLD, 2017]; запланировано к строительству более 3700 плотин гидроэлектростанций мощностью более 1 МВт [Zarfl et al., 2015]. 17% мировой энергии вырабатывается на гидроэлектростанциях (ГЭС). Из всех существующих типов электростанций гидроэлектростанции наиболее маневренны, т. е. могут быстро увеличить объемы выработки, покрывая пиковые нагрузки. Образуемые плотинами водохранилища обеспечивают водоснабжение поселений, удерживают максимальный сток при прохождении паводков и половодий.

В 40-е–50-е гг. XX в. в России гидроэнергетика быстро развивалась на больших равнинных реках. При освоении гидроэнергетического потенциала во главу угла не была поставлена задача сохранения водных экосистем. Возведение плотин наряду с другими негативными факторами привело к трансформации гидрологического режима многих рек России и деградации их водных и пойменных экосистем: безвозвратное изъятие вод и их загрязнение, эксплуатация водозаборов без эффективных средств рыбозащиты, проведение гидромелиоративных работ, браконьерский вылов рыбы послужили дополнительными факторами резкого снижения биопродукционного потенциала водных объектов.

Основные последствия эксплуатации плотин и регулирования стока для пресноводных экосистем и водных биоресурсов [Дубинина, Жукова, 2016; Дубинина, Никитина, 2019]:

- трансформация природных местообитаний;
- внутригодовое перераспределение речного стока и нарушение условий естественного воспроизводства рыб;
- изменение хода и направленности русловых процессов (усиление эрозионных процессов, «осветление» потока за счет уменьшения стока наносов);
- уменьшение площади и периода затопления пойменных территорий, утраты гидравлической связи между рекой и ее поймой;
- фрагментация речного бассейна, в т. ч. потеря нерестилищ рыб;
- обеднение и смена видового состава, в т. ч. сокращение уловов промысловых видов рыб;
- снижение продуктивности водных экосистем.

Эксплуатация плотин привела к потере нерестилищ рыб (см. таблицу 1.1), трансформации стока, изменению гидрохимического и гидробиологического режимов рек.

Таблица 1.1. Площадь нерестилищ, отсеченных плотинами, в бассейнах рек
(в %)

Ихтиофауна	Реки			
	Волга	Дон	Кубань	Обь
Белуга	100	100	100	
Осетр	80	80		40
Севрюга	60	50	100	
Нельма				70

Совместно с другими антропогенными факторами плотины приводят к обеднению и смене видового состава, которые делают водные экосистемы неустойчивыми к воздействию природных и антропогенных факторов. Так, в бассейне Азовского моря потеряли промысловое значение или переходят в категорию редких и исчезающих форм такие виды рыб, как азовская шемая, сазан, донская сельдь и другие. Ряд видов рыб включены в Красную книгу Ростовской области и Российской Федерации. В дельтовых лиманах реки Кубань с начала 1960-х гг. количество видов рыб уменьшилось с 62 до 42. В бассейне р. Дон более 65% видов рыб всей ихтиофауны бассейна относится к категории исчезающих и редких [Воловик, Чихачев, 1998]. В результате гидростроительства такие рыбы бассейна Каспийского моря как каспийская минога, шип, волжская сельдь, каспийский лосось и др. находятся на грани исчезновения [Павлов и др., 1994]. В бассейнах Енисея и Ангары по частоте встречаемости, численности и биомассе стали доминировать малоценные виды — плотва и окунь [Кириллов и др., 2010].

Эксплуатация плотин и другие виды антропогенного влияния привели к резкому сокращению уловов промысловых видов рыб. В частности, в 1930–40-е гг. в основном уловы проходных, полупроходных и речных видов рыб в Каспийском море достигали 400–500 тыс. т [Иванов и др., 1997]; здесь было сосредоточено до 90% мировых запасов осетровых. В последние годы среднегодовой улов полупроходных и речных рыб составляет лишь 40 тыс. т. Сохранение популяций осетровых поставлено под угрозу, а вылов осетровых в

бассейнах южных морей разрешен только для искусственного воспроизводства и научных целей.

Регулирование стока плотинами, его внутригодовое перераспределение приводит к уменьшению площади и периода затопления пойменных территорий в нижнем бьефе гидроузла. Редкие обводнения пойм обуславливают изменение их геоботанического облика, освоение хозяйственными объектами и отмирание гидрографической сети. В результате нерегулярного затопления пойм их земельный фонд подвергся массовому освоению и застройке. Ориентировочные расчеты С. В. Жуковой по оценке размера вреда, причиненного рыбному хозяйству Азово-Донского бассейна от отсутствия периодического обводнения нерестилищ, показали, что потери составили 51,3 млрд рублей (в ценах 2016 г.), а ущерб рыбному хозяйству от безвозвратных изъятий стока р. Дон за период 1952–2016 гг. оценивается в 9,5 трлн рублей [Дубинина, Жукова, 2016].

Одна из мер сокращения негативного воздействия плотин на водные экосистемы — реализация экологического стока, который на зарегулированных реках называется экологическим попуском. Такие попуски обеспечивают условия устойчивого и безопасного функционирования водных экосистем в нижнем бьефе гидроузла, поддерживают стабильное состояние гидробионтов, включая ихтиофауну, пойменных экосистем в нижних бьефах гидроузлов. Экологические попуски формируются с учетом рыбохозяйственного, руслоформирующего, санитарного, а также других видов попусков [Дубинина, 2001]. Биологическими индикаторами устойчивости водных и пойменных экосистем на зарегулированном участке реки могут служить первичные сукцессии в пойменных ландшафтах; различия в составе и структуре экосистем на различных экологических уровнях; ежегодная изменчивость видового состава сообществ; сохранение видового разнообразия экосистем и их продуктивности [Новикова и др., 2005].

В большинстве речных бассейнов экологический сток, в т. ч. попуски, не реализуется на практике, что приводит к ухудшению состояния водных и пойменных экосистем. К основным причинам можно отнести отсутствие

законодательных требований, трудность оценки ущерба водным биоресурсам ввиду отсутствия мониторинга, а также недостаточный интерес водопользователей в реализации экологического стока и попусков.

1.4 Методология и практика определения экологического стока и попуска

1.4.1 Российская Федерация

В СССР проблема нормирования изъятия речного стока и необходимости определения экологического стока возникла в 1960–70-е гг. в связи с развитием крупномасштабных работ по водной мелиорации. К настоящему времени не существует единых методических подходов к оценке допустимых объемов изъятия стока из водных объектов, отсутствует также единообразие в терминах [Шахов, 1980; Фащевский, 1989; Булгаков и др., 1995; Левич, Терехин, 1997; Петенков, Ершова, 1999; Новикова и др., 2005]. Различными авторами понятие «остаточного стока» ниже гидроузлов и водозаборов определяется по-разному: минимально допустимые, минимально необходимые расходы воды, рыбохозяйственные попуски, сельскохозяйственные попуски, транспортные попуски, санитарные попуски и др., которые имеют преимущественно целевое отраслевое назначение. Применяемые в данной работе термины и их понятия приведены в словаре терминов далее в диссертации.

Впервые наиболее полно методологические основы расчета «экологического стока», резервируемого ниже створов регулирования и изъятия водных ресурсов в соответствии с требованиями охраны природы, приведены в работах Б. В. Фащевского [Фащевский, 1984, 1989, 1996]. Расчет экологического стока основан на использовании гомеостатических кривых (динамики численности организмов планктона и бентоса, воспроизводства рыбных запасов, динамики численности околородных млекопитающих и птиц, кривых урожайности пойменных лугов и т. д.), полученных для основных рек страны. На основе анализа этих кривых обеспеченности речного стока сделан вывод, что по мере приближения к среднему по водности году количество водных и

околоводных организмов нарастает и достигает максимума. В связи с этим верхний предел экологического стока (обеспеченность 25%) может быть описан гидрографом естественного стока реки обеспеченностью 50%. Нижний предел экологического попуска (обеспеченность 95%) описывается гидрографом естественного стока 99%-ной обеспеченности, т. е. вековыми запасами водных ресурсов в речной системе. Эти кривые ограничивают диапазон расчетных значений экологического стока реки. В основе метода лежит положение о том, что по мере приближения к среднему по водности году воспроизводство всех организмов увеличивается и достигает максимума. Однако исследования других специалистов [Дубинина, 1973; Бронфман и др., 1979; Павлов и др., 1989; Козлитина и др., 1998; Катунин и др., 2013] показали, что для ряда крупных рек рыбохозяйственного значения, в частности, для рек Дон и Волга, оптимум воспроизводства рыб приходится на годы 25–40%-ной обеспеченности стока. Помимо этого, при применении данного метода безвозвратное изъятие стока зачастую превышает 30%. Столь значительная величина изъятия вряд ли может обеспечить устойчивость системы. Предельно допустимое изъятие стока не должно превышать 20% среднемноголетнего объема стока [Дубинина, 2001; Дубинина, Никитина, 2020]. Метод Б. В. Фащевского может быть рекомендован в качестве экспертной оценки при отсутствии материалов фактических наблюдений и надежных зависимостей между водным режимом и экологическими характеристиками водного объекта.

В конце 1980-х гг. рыбохозяйственные институты начали проведение работы по определению допустимого безвозвратного изъятия речного стока и экологического стока (попуска). В 2008 г. авторский коллектив в составе В. Г. Дубининой, А. Е. Косолапова, Н. И. Коронкевича, М. С. Чебанова разработал проект «Методических указаний по нормированию допустимого безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока (попуска)» [Дубинина и др., 2008]. Эти «Методические указания» были использованы при разработке нормативов допустимого воздействия (НДВ) хозяйственной и иной деятельности на водные объекты по бассейновым округам

России в 2008–2015 гг. Методический подход базируется на сохранении такого состояния водной экосистемы, при котором не нарушается ее восстановительный потенциал. Величина допустимого безвозвратного изъятия речного стока должна обеспечить сохранение внутригодовых колебаний стока, максимально приближенных к естественным условиям и не выходящих за пределы естественных многолетних колебаний. Для оценки допустимого изъятия используются такие экологические критерии, как условия естественного воспроизводства водных биологических ресурсов, структура сообщества рыб, видовое разнообразие организмов. На основе связей естественных гидрологических характеристик реки с показателями продуктивности водных экосистем определяются значения «критического» объема или расхода воды, который определяет устойчивое функционирование речной экосистемы. Экологический сток рассчитывается по разнице значений годового стока и объема стока допустимого безвозвратного изъятия. В свою очередь, объем допустимого безвозвратного изъятия определяется с учетом величины критического стока [Дубинина и др., 2009]. Для рек с зарегулированным стоком устанавливается объем экологического попуска. Разработанный исследователями методический подход подробно представлен в главе 2 и использован для определения экологического стока в бассейне реки Зeya.

В настоящее время в составе Схемы комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) расчет водохозяйственных балансов выполняется с учетом необходимости соблюдения на незарегулированных расчетных водохозяйственных участках экологического стока, величина которого установлена нормативами допустимого безвозвратного изъятия (забора) речного стока.

Главным документом по управлению водохранилищами являются Правила использования водохранилищ, которые включают Правила использования водных ресурсов водохранилищ (ПИВР) и Правила технической эксплуатации и благоустройства водохранилищ (ПТЭБ). Использование водохранилищ предусматривает реализацию экологических требований:

согласно п. 25 Методических указаний по разработке ПИВР, правила включают в себя водохозяйственные, инженерные, экологические и организационные мероприятия, осуществляемые с целью обеспечения надлежащего технического и экологического состояния водохранилища и нижнего бьефа его гидроузла, оптимизации взаимодействия водохранилища с окружающей средой. Методические указания по разработке ПИВР предусматривают специальные попуски при наличии в нижнем бьефе нерестилищ промысловых рыб (объемы специальных попусков: среднемноголетний обеспеченностью 75%, минимальный обеспеченностью 95%) [Методические указания..., 2011]. Режимы рыбохозяйственных попусков были научно обоснованы в 1970-х гг. на примере Цимлянского водохранилища [Дубинина, 1969]. Впоследствии этот подход был использован для разработки требований к водным ресурсам Кубани [Гаргопа, 1979] и Нижней Волги [Павлов и др., 1989].

В положениях ПИВР отсутствует положение о необходимости установления экологических попусков. В нижний бьеф гидроузлов в обязательном порядке подается санитарный попуск — минимальный расход воды, направленный на обеспечение нормативов качества воды и благоприятных условий водопользования в нижнем бьефе водохранилища. Ввиду отсутствия законодательно закреплённого определения экологического стока и попусков, распространено мнение, что реализация санитарных попусков достаточна для сохранения водных экосистем в нижнем бьефе гидроузлов, что не соответствует действительности.

Предыдущая версия Водного кодекса [Водный кодекс, 1995] включала «Требования к экологическим попускам и нормированию предельно допустимого безвозвратного изъятия поверхностных вод» (Статья 110). Однако в действующем Водном кодексе РФ 2006 г. отсутствуют требования по установлению экологического стока и объема допустимого изъятия воды из водных объектов, в связи с чем нет правовой основы для их реализации [Водный кодекс, 2006]. В целях совершенствования государственного управления в области использования и охраны водных объектов необходимо внесение

изменений в Водный кодекс РФ в части включения положений о необходимости определения объема допустимого безвозвратного изъятия речного стока (водных ресурсов) и экологического стока (попуска), а также механизма их установления.

1.4.2 Мировой опыт

С 1970-х гг. специалисты по охране окружающей среды разных стран начали обосновывать преимущества устойчивого использования водных ресурсов, при котором в реке с учетом изъятия воды остается необходимый для поддержания экосистемы объем водных ресурсов. С начала 1980-х гг. научное направление экологического стока стало важным аспектом в управлении речными ресурсами во многих странах мира, в особенности в регионах, где дефицит водных ресурсов вынуждает водопользователей изымать недопустимо большое количество воды для удовлетворения нужд и потребностей [O’Keeffe, Le Quesne, 2009]. Экологический сток реализован в засушливых регионах, таких как Австралия и Южная Африка; но также и на реках многоводных регионов Мексики и Китая, на небольших реках юга Англии [Brauman et al., 2016]. Водное законодательство Австралии, США, ЮАР, Кении признает значимость экологического стока, а страны Европейского союза следуют Водной рамочной директиве, которая требует обеспечения необходимой величины стока для поддержания хорошего состояния рек.

В 2007 г. принята Брисбенская декларация (Brisbane Declaration), посвященная вопросам экологического стока. В декларации приведены основные выводы заседания и понятие экологического стока, а также предложены дальнейшие возможные действия по охране речных экосистем. Это был первый консенсусный документ, объединивший разнообразный опыт по регионам и дисциплинам и сыгравший важную роль в определении общего видения и направления экологического стока на международном уровне. В 2017–2018 гг. декларация 2007 г. была пересмотрена и уточнена. В частности, были рассмотрены достижения в области экологического стока с 2007 г., обновлены

содержание декларации и программа действий в области мировой практики и науки экологического стока. Декларация 2018 г. призывает к незамедлительным действиям по реализации экологического стока, защите и восстановлению водных экосистем и их биоразнообразия, сохранности экосистемных услуг при управлении водными ресурсами, а также рассматривает экологический сток как фундамент для достижения Целей устойчивого развития ООН, связанных с водой [Arthington et al., 2018].

В мировой практике существует около 200 методов определения величины экологического стока, которые разделяются на методы гидрологических обоснований; методы выявления функциональных связей; методы гидравлической оценки; методы моделирования среды обитания; комплексные методы определения экологического стока [Dyson et al., 2003].

В частности, методы гидрологических обоснований подразумевают использование гидрологических показателей, основанных на статистических данных режима естественного стока, и наиболее распространены при определении экологического стока на малоизученных реках [Dyson et al., 2003; Smakhtin, 2007]. Основным принципом гидрологических методов является поддержание сезонной изменчивости стока. Одним из примеров таких методов является оценка водного режима и экологического стока рек с помощью программы «Индикаторы гидрологических изменений» (“Indicators of Hydrologic Alteration”), разработанной в США природоохранной организацией «Сохранение природы» (The Nature Conservancy) в 1990-е и 2000-е гг. [Richter, 1997, 2007]. Программа создана для возможности быстро проанализировать ежедневные гидрологические данные и оценить изменения водного режима. Программа рассчитывает 67 статистических параметров, которые разделяются на две группы: 33 гидрологических параметра и 34 параметра экологического стока. Гидрологические параметры характеризуют меж- и внутригодовые изменения водного режима, включая величину стока, повторяемость и продолжительность максимальных и минимальных расходов, время их наступления и скорость изменения расходов воды. Использование программы позволяет провести

сравнительный анализ рядов наблюдений до и после строительства плотины и выявить вызванные регулированием стока изменения водного режима. Параметры экологического стока описывают пять основных фаз водного режима, имеющих разную функциональную значимость: экстремально минимальный сток, меженный сток, периодические пики паводков, малые и крупные наводнения. Программа соотносит каждую величину стока к одной из пяти градаций водного режима экологического стока и позволяет выявить изменения при регулировании стока (см. рис. 1.2).

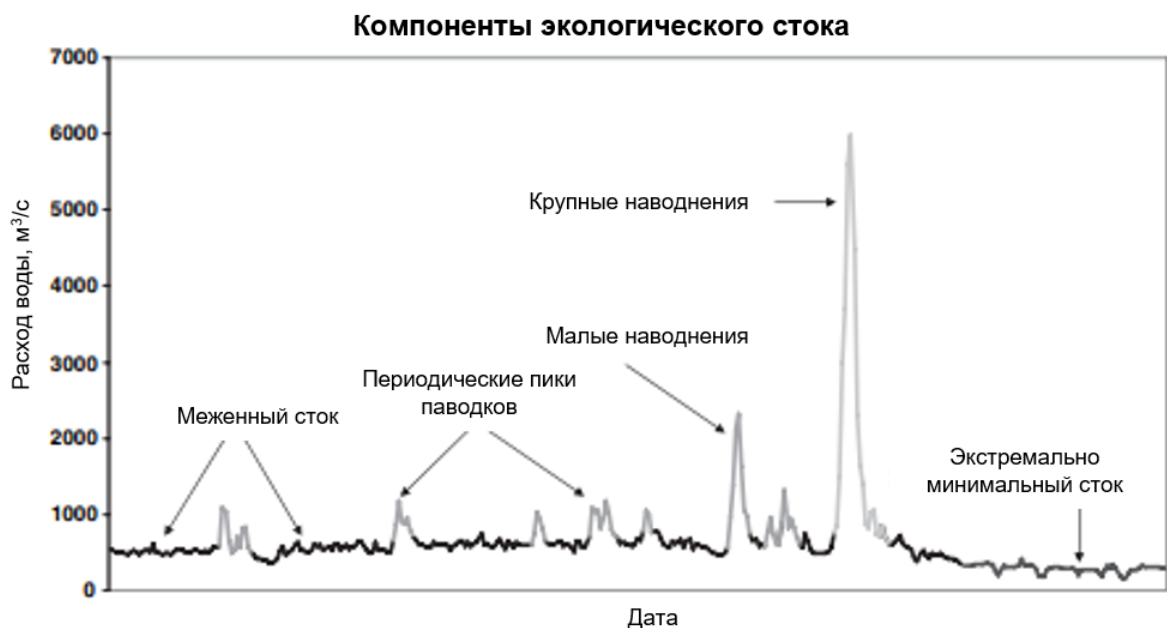


Рисунок 1.2. Программа «Индикаторы гидрологических изменений» распределяет величины стока по пяти градациям, выполняющие разные экологические функции [Mathews et al., 2007]

Использование программы совместно с экологическими моделями позволяет составить гидроэкологические гипотезы, сформулировать цели сохранения водных экосистем и разработать программы исследований или мониторинга [Mathews et al., 2007]. Анализ изменения водного режима в результате строительства плотины на р. Зeya с использованием программы «Индикаторы гидрологических изменений» приведен в главе 2.

Методы выявления функциональных связей основаны на определении связей между гидрологическими и экологическими факторами состояния речной экосистемы. Примером является «методология построения блоков» (Building

Block Methodology), разработанная в Южной Африке: в режиме стока выделяются некоторые основные элементы (блоки), включающие характеристики меженного и многоводного периодов, обеспечивающих естественную динамику водного режима, обеспечение условий воспроизводства водных биоресурсов и русловых процессов [King et al., 2000]. Согласно этому методу, рекомендации к режиму стока представлены в виде месячных объемов меженного стока, а также в виде продолжительности, времени наступления и величин максимального стока для лет разной водности. Основу метода составляют следующие положения:

1. Установление режима экологического стока должно учитывать состояние всей экосистемы речного бассейна, включая прибрежные территории, пойму и устье реки.
2. Методика подчеркивает важность разных фаз водного режима, не ограничиваясь обеспечением меженного или базисного стока, поэтому предполагает разделение режима на экологически значимые классы (блоки).
3. Методика указывает на важность учета разных дисциплин, основываясь на таких дисциплинах, как гидрология, гидравлика, геоморфология, гидрохимия, ихтиология, ботаника, зоология и экономика.

Допустимый режим стока для поддержания экосистем определяется с учетом блоков, отвечающих за разные экосистемные функции водного режима (см. рис. 1.3).

Вне зависимости от выбранного метода оценки экологического стока, важно дать характеристику водного режима и его внутри- и межгодовую изменчивость в естественных условиях для выявления особенностей водного режима, к которому эволюционно адаптирована экосистема и населяющие ее виды.

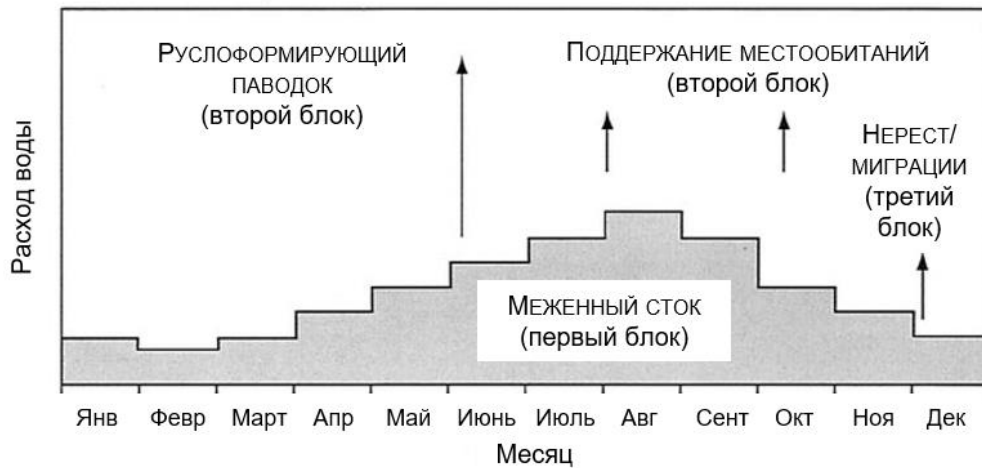


Рисунок 1.3. Пример требований к водному режиму при использовании методологии построения блоков [King et al., 2000]

Следует отметить, что для многих бассейнов мира оценка экологического стока до сих пор не проведена [Le Quesne et al., 2007; Harwood et al., 2017]. К успешным примерам относится реализация экологического стока и попусков на реках Мексики, Австралии, Китая и США.

В 2017 г. ратифицирован стандарт Мексиканского экологического стока [Orperman et al., 2018], закрепивший понятие «экологический запас воды» (environmental water reserve) — объем воды, который должен оставаться в реке для поддержания условий окружающей среды и не может быть изъят для других целей. Вместо определения конкретного метода для определения режима экологического стока в стандарте обозначен набор научных принципов, предназначенных для поддержания баланса между сохранением экологического стока и другими видами водопользования. В 2014 г. первый экологический запас воды был определен для бассейна реки Сан-Педро-Мецкиталь длиной 540 км, для которой характерно низкое водохозяйственное освоение [Moir et al., 2016]. Сток реки обводняет 200 000 га мангровых лесов биосферного заповедника Марисмас Насионалес, Рамсарского водно-болотного угодья международного значения. Для обводнения водно-болотных угодий и обеспечения должного состояния биоты в заповеднике Марисмас Насионалес в реке должно оставаться около 80% объема среднегодового стока. В 2018 г. были утверждены

постановления о создании «экологических запасов воды» в 300 речных бассейнах страны. Опыт Мексики демонстрирует, что режим экологического стока может сохранять как экосистемы рек засушливых территорий, так и экосистемы рек, не подверженные дефициту водных ресурсов [Orperman et al., 2018]. Ключевым фактором внедрения экологического стока в Мексике является принятие в 1992 г. Национального закона о воде, признавшего окружающую среду законным водопользователем.

Примером реализации экологического стока в бассейнах рек засушливых регионов является бассейн р. Муррей и ее притока Дарлинг в Австралии площадью более 1 млн км². После засухи 2001–2009 гг. в 2012 г. был принят план устойчивого управления водными ресурсами бассейна Муррей-Дарлинг. План установил предельно допустимые объемы изъятия воды для обеспечения достаточного количества воды в экосистеме. Оценка изъятия базировалась на таких индикаторах, как гидравлическая связь водных объектов, водная растительность, состояние популяций рыб и водоплавающих птиц. После ежегодного утверждения планов с учетом текущей водохозяйственной обстановки происходит водораспределение по рекам, их поймам и водно-болотным угодьям. После достижения заданных Планом величин стока оставшийся объем воды может быть изъят [Harwood et al., 2017].

Среди примеров успешной реализации экологических попусков в бассейнах крупных рек следует отметить опыт Китая в бассейне р. Янцзы. Из образованного плотиной «Три ущелья» водохранилища с 2011 г. с мая по июнь реализуются рыбохозяйственные попуски, направленные на оптимизацию условий воспроизводства карповых видов рыб, уловы которых сократились на 50–70% в результате регулирования стока, и других видов рыб. Продолжительность попусков величиной 600–3000 м³/с в день составляет 3–10 дней. Экологические попуски реализуются таким образом, чтобы не ограничивать противопаводковые функции водохранилища и необходимые для судоходства условия. Реализация экологических попусков способствует росту численности карповых видов рыб, имеющих промысловое значение, однако пока

количество икры и молоди карпов существенно ниже значений, характерных для естественных условий (см. рис. 1.4) [Lu et al., 2016]. Средняя плотность распространения икры и молоди в зоне мониторинга оказалась втрое выше, чем до реализации экологических попусков [Chen et al., 2015].



Рисунок 1.4. График изменения численности икры и мальков карпа в р. Янцзы ниже плотины «Три ущелья» [Harwood et al., 2017]

В бассейне Янцзы реализуется крупнейший в Китае рыбный промысел, на который приходится 56% всех пресноводных уловов [Harwood et al., 2017], поэтому реализация экологических попусков полезна также для других видов рыб бассейна Янцзы. Кроме того, реализация попусков в засушливый зимний период способствует разбавлению интрузии соленых вод в устье Янцзы и тем самым улучшает качество воды.

Другим примером успешного внедрения экологического попуска для восстановления водных экосистем может послужить р. Саванна на юго-востоке США (длина реки 563 км, площадь бассейна 25 511 км²). В бассейне р. Саванна обитает около 100 видов рыб, два из которых находятся под угрозой исчезновения: короткорылый осетр (*Acipenser brevirostrum*) и атлантический осетр (*Acipenser oxyrinchus oxyrinchus*). В 1950–1980-е гг. на реке построены три плотины, образующие водохранилища многоцелевого назначения (выработка энергии, управление наводнениями, водоснабжение, рекреация) [Richter et al., 2007]. Основным фактором оценки и реализации экологических

попусков послужила необходимость улучшения состояния водных экосистем в нижнем бьефе плотин, в частности, улучшение качества воды в устьевом участке реки и восстановление местообитаний осетровых видов рыб. Рекомендации разработаны для лет разной водности. Оценка режимов экологического попуска основана на учете условий нереста анадромных видов рыб, в частности, короткорылового осетра. Мониторинг эффективности экологических попусков позволит уточнить, что температура воды наряду с объемом стока является определяющим фактором нереста короткорылового осетра [Harwood et al., 2017].

Выводы

Пресноводные экосистемы подвержены нарастающему количеству угроз, вследствие чего их биоразнообразие сокращается, а экосистемы становятся уязвимыми к внешним воздействиям. Речной сток определяет водный и термический режим рек и сток наносов, состояние почвенного и растительного покрова пойменной экосистемы, что играет большую роль в функционировании водных и пойменных экосистем. Если изменения гидрологического режима превышают предельно допустимые величины, то могут произойти необратимые процессы в экологических системах и их переход в иное состояние. Сохранение и восстановление водных экосистем требует принятия ряда мер, в том числе поддержания благоприятного гидрологического режима, установления и реализации экологических стоков и попусков. Для многих речных бассейнов мира оценка экологического стока до сих пор не проведена. В большинстве речных бассейнов России экологический сток и попуски не реализуются на практике, что приводит к ухудшению состояния и деградации водных и пойменных экосистем. В Водный кодекс РФ необходимо включить положения о необходимости определения объема допустимого безвозвратного изъятия речного стока и экологического стока (попуска), а также механизма их установления.

ГЛАВА 2. ВЛИЯНИЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА НА ВОДНЫЕ И ПОЙМЕННЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ БАСЕЙНА РЕКИ ЗЕЯ И МЕРЫ ПО МИНИМИЗАЦИИ ВЛИЯНИЯ

2.1 Объект исследований

Река Амур, одна из десяти крупнейших рек мира, протекающая по территории Дальнего Востока России, образуется при слиянии рек Шилка и Аргунь и впадает в Охотское море. Вместе с истоком Шилкой и Ононом длина Амура составляет 4279 км. Площадь бассейна 1855 тыс. км² расположена на территории Российской Федерации, Китая, Монголии и КНДР (см. рис. 2.1) [Ресурсы поверхностных вод, 1966]. Государственная граница РФ и КНР по Амуру и его притокам достигает 3,5 тыс. км.

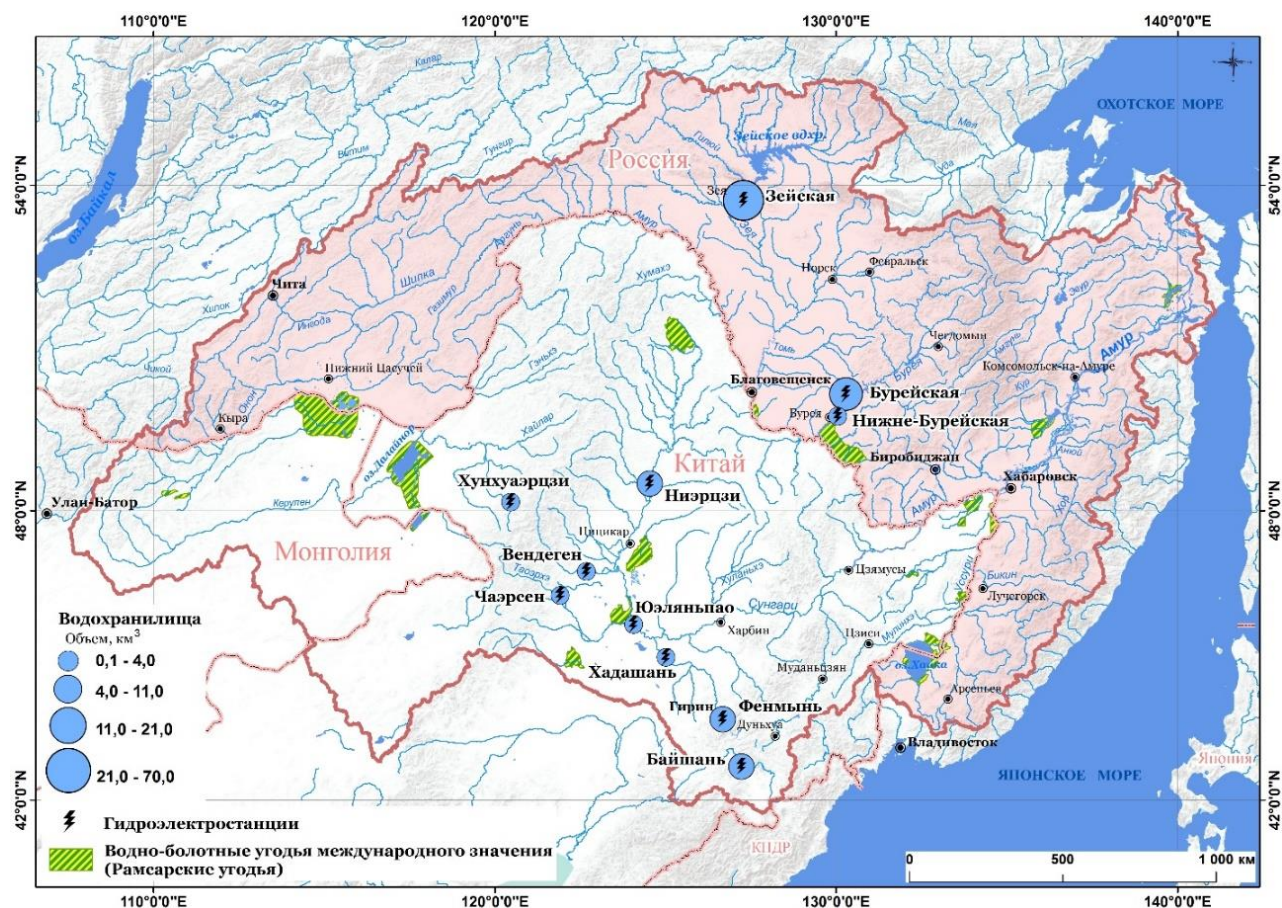


Рисунок 2.1. Бассейн реки Амур (розовым цветом выделена российская часть бассейна, объект исследования)

Экосистемы бассейна Амура отличаются высоким видовым разнообразием и биологической продуктивностью [Simonov et al., 2008]. В бассейне Амура обитает около 130 видов рыб, 18 из которых эндемики. Бассейн Амура населяют самые крупные в Тихоокеанском бассейне популяции лососей и осетровых рыб [Антонов и др., 2019; Новомодный и др., 2005]. Пойма Амура — наиболее крупное в Северо-Восточной Азии место сосредоточения водно-болотных угодий, где гнездятся редкие дальневосточные аисты (*Ciconia boyciana*), японские (*Grus japonensis*) и даурские (*Grus vipio*) журавли. В пойме встречаются около 320 видов наземных позвоночных животных, в прирусловых лесах более 300 видов сосудистых растений [Сапаев, 2006]. Несмотря на зарегулированность трех основных притоков, Зеи, Буреи и Уссури, главное русло Амура остается свободным от плотин, обеспечивая экологический каркас бассейна [Залетаев и др., 1998].

Основные притоки Амура — реки Шилка, Аргунь, Зея, Бурей, Сунгари и Уссури. По особенностям строения долина реки Амур делится на три крупные части: Верхний Амур — от истока до устья р. Зея, Средний Амур — от устья р. Зея до устья р. Уссури, нижний Амур — от устья р. Уссури до устья (лимана) р. Амур. Бассейн Среднего Амура охватывает водосборы крупных левобережных притоков р. Амур — Зеи и Буреи [Ресурсы поверхностных вод, 1966].

Изменения климата оказывают влияние на водный режим рек бассейна Амура. В начале XXI века для территории бассейна характерен рост амплитуды и частоты колебаний температуры и осадков [Новороцкий, 2007; Шамов и др., 2014]. Климатические изменения могут обусловить повышение стока Амура и его притоков и увеличение частоты и мощности наводнений [Мандыч, 2014; Махинов, Ким, 2020]. Подробнее возможные последствия изменений климата описаны в главе 4.

Река Зея берет начало на южном склоне Станового хребта и впадает в р. Амур у г. Благовещенск на расстоянии 1936 км от устья Амура. Длина Зеи 1242 км, площадь водосбора 229 000 км² (рис. 2.2). Северная часть бассейна

расположена на южном склоне Станового хребта, северо-восточная — на склонах хребтов Селемджинский, Селитканский, Каргинский и Эзоп. Зeya от истока до устья р. Купури течет среди гор в узкой и глубокой долине. На участке между устьями рек Купури и Малый Иракан она прорезает полосу предгорий Станового хребта и далее течет на протяжении 300 км по Верхне-Зейской равнине по дну широкой пойменной долины. Далее в средней части бассейна река прорезает цепь хребтов Тукурингра — Соктахан — Джагды и течет далее по Зейско-Буреинской равнине, ограниченной с востока склонами кряжа Турана и его отрогами, с запада — краем Амурско-Зейской приподнятой равнины [Ресурсы поверхностных вод, 1966].

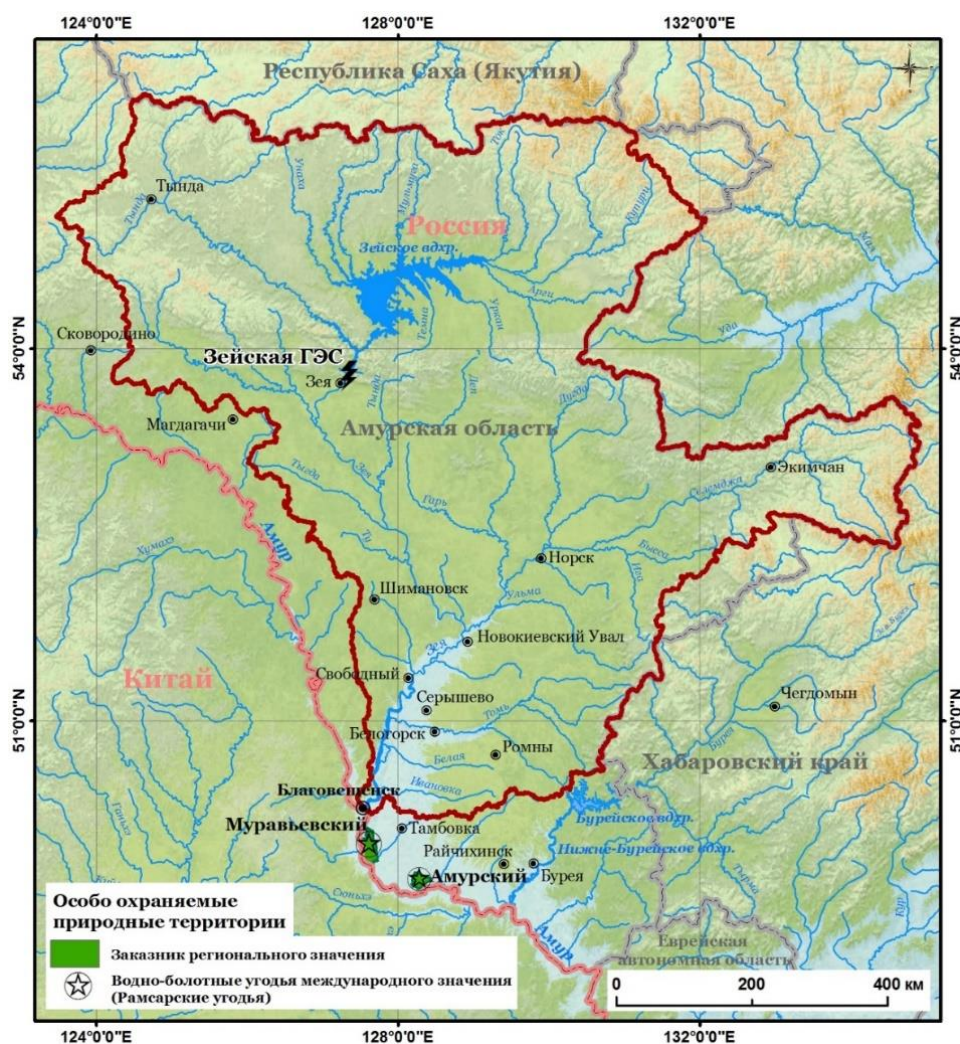


Рисунок 2.2. Бассейн р. Зeya

Климат ультраконтинентальный с муссонными чертами. Годовое количество осадков на территории бассейна изменяется от 500–550 мм на равнинах до 1000–1100 мм на горных территориях. Для бассейна Зеи характерны значительные колебания количества осадков по годам: так, в устье Зеи их количество составляет от 260 до 785 мм при норме 575 мм. Летом территория подвержена воздействию тихоокеанского муссона, обуславливающего облачное дождливое лето и достигающего наибольшего развития в июле – августе. Осадки выпадают преимущественно в теплый период и достигают 90% от годовой суммы. Зимы холодные и малоснежные: осадки составляют всего 5–7% от их годового количества. Величина снежного покрова в зимний период составляет от 17 см на юге до 42 см на севере. Осенью преобладает теплая и ясная погода [Ресурсы поверхностных вод, 1966].

В бассейне р. Зея преобладают подзолистые и дерново-подзолистые почвы. Для Зейско-Буреинской равнины, в южной части междуречья Зеи и Амура, характерны лугово-черноземные почвы. Низменные пойменные участки среднего и нижнего течения Зеи заняты аллювиальными луговыми почвами. Широкое распространение имеет вечная мерзлота. Однако на Зейско-Буреинской равнине и части Амурско-Зейского плато мерзлота полностью или частично отсутствует [Ресурсы поверхностных вод, 1966].

Бассейн р. Зея в направлении с севера на юг расположен в зонах хвойных лесов или тайги, лесостепи и степи. Зона тайги охватывает большую часть бассейна Зеи, до устья Селемджи, включая и ее водосбор. Зейско-Буреинская равнина относится к лесостепной и степной зонам. Растительный покров здесь в значительной степени изменен под влиянием хозяйственной деятельности человека: обширные пространства лишены древесной растительности и распаханы. Леса разрежены и представляют рощи из низкорослого монгольского дуба, черной березы и реже встречающихся осины и ильма. Обширные территории заняты злаково-разнотравными лугами [Ресурсы поверхностных вод, 1966].

Речная сеть в бассейне Зеи развита неравномерно. Наибольшая густота ($0,96 \text{ км/км}^2$) характерна для рек Кумусун и Селиткан, притоков р. Селемджи, наименьшая ($0,08 \text{ км/км}^2$) — для р. Белой. Средняя густота речной сети равна $0,50 \text{ км/км}^2$.

Зея — наиболее многоводный приток Амура. Среднемноголетний расход воды р. Зеи в устье равен $1940 \text{ м}^3/\text{с}$, в створе Зейской ГЭС $733 \text{ м}^3/\text{с}$, при впадении Селемджи $1030 \text{ м}^3/\text{с}$, в устье $1910 \text{ м}^3/\text{с}$. Средний многолетний расход Амура у Благовещенска составляет $1610 \text{ м}^3/\text{с}$. Таким образом, Амур у г. Благовещенск, в месте слияния с Зеей, более чем в два раза превосходит Зею по площади бассейна, однако уступает ей по водности [Ресурсы поверхностных вод, 1966].

Внутригодовое распределение стока р. Зея и ее притоков по сезонам и периодам неравномерное. Сток за весенне-летний период достигает 90% от годовой его величины, а за осенне-зимний период около 10%.

От истока до устья р. Купури р. Зея имеет горный характер. Ширина реки 40–80 м, скорость течения воды на порожистых участках достигает $2,5\text{--}3 \text{ м/с}$. На Верхне-Зейской равнине русло извилистое и расчлененное, в нем часто встречаются галечно-песчаные отмели и перекаты. Скорости течения воды в плесах до $0,8 \text{ м/с}$, на перекатах $1,5\text{--}2 \text{ м/с}$. В районе пересечения хребта Тукурингра течение бурное, русло порожистое. Ниже г. Зеи оно умеренно извилистое и слабо разветвленное, ширина реки увеличивается до 300–500 м. При выходе из предгорий Станового хребта ширина поймы не превышает $0,2\text{--}0,3 \text{ км}$, но в местах впадения рек Тока и Арги увеличивается до 4–5 км, а на Верхне-Зейской равнине, у с. Дамбуки, достигает 10–13 км. Зея имеет двухъярусную пойму. Наибольшая ширина ее русла 4 км.

Условия для стока дождевых вод благоприятны в связи с горным течением рек, наличием многолетней мерзлоты и водонепроницаемостью горных пород. На большинстве рек отмечаются выраженные подъемы воды, наблюдающиеся после выпадения дождей. На больших реках в периоды прохождения сильных паводков скорости течения воды достигают $3\text{--}4 \text{ м/с}$ [Ресурсы поверхностных вод, 1966].

В бассейне Зеи расположено множество озер. Они распространены по территории неравномерно и приурочены к участкам широкой поймы Зеи. Озера являются важными элементами гидрографической сети и оказывают влияние на режим речного стока. В зоне избыточного и достаточного увлажнения озера регулируют внутригодовой ход и экстремальные величины стока [Проект нормативов..., 2012].

Для бассейна Зеи характерно значительное распространение поверхностной заболоченности вследствие неравномерности выпадения осадков по сезонам, наличия многолетней мерзлоты, низких скоростей поверхностного стока по пойме, тяжелого механического состава почв и разливов рек. Наибольшее распространение имеют кустарниково-сфагновые и осоково-сфагновые болота. Болота оказывают значительное регулирующее влияние на речной сток [Проект нормативов..., 2012].

В бассейне действует крупная плотина Зейской ГЭС с установленной мощностью 1330 МВт. Водные ресурсы Зейского водохранилища используются для целей энергетики, водного транспорта, водоснабжения города Зеи, населенных пунктов и промышленных предприятий, лесосплава, рыбного хозяйства, рекреации. Также водохранилище предназначено для уменьшения высоты и повторяемости наводнений в долине Зеи. Строительство гидроузла происходило с 1964 по 1985 г. Зейское водохранилище контролирует сток верхнего течения Зеи с площади 82 400 км², где формируется около 45% стока всей р. Зеи [Правила использования..., 2018]. Водный режим реки значительно трансформирован работой Зейской ГЭС, что подробно рассмотрено в дальнейших разделах.

В бассейне р. Зея расположен Зейский государственный природный заповедник, примыкающий к руслам рек Гилюй и Зея. Он организован с целью сохранения и изучения биологического разнообразия бассейна Верхней Зеи, а также с целью изучения влияния водохранилища на экосистемы. В междуречье рек Нора и Селемджа создан заповедник «Норский» для изучения природных долинных комплексов и сохранения редких видов растений и животных. В пойме

Амура ниже впадения Зеи расположены Муравьевский и Амурский заказники. Заболоченные экосистемы в границах Муравьевского заказника включены в число водно-болотных угодий международного значения, охраняемых положениями Рамсарской конвенции.

2.2 Анализ изменений водного режима реки Зея

С помощью программного обеспечения «Индикаторы гидрологических изменений» (“Indicators of Hydrological Alteration”) проведена оценка трансформации водного режима р. Зея и изменения экологически значимых гидрологических характеристик в результате регулирования стока. Результаты опубликованы в материалах [Никитина, 2016; Nikitina, 2017; Никитина и др., 2018].

Для анализа использован ряд наблюдений за суточными расходами воды в створе с. Белогорье за 1957–2013 гг. Гидрологический пост Белогорье расположен на расстоянии 617 км от створа Зейской ГЭС, в 43 км от впадения Зеи в Амур (см. рис. 2.2).

Ряд наблюдений разделен на два временных периода:

1. 1957–1974 гг. — естественный водный режим;
2. 1975–2013 гг. — водный режим при регулировании стока.

Результаты оценки водного режима и его изменений при регулировании стока приведены в таблице 2.1 и на рис. 2.3.

Определение фаз водного режима, имеющих разное экологическое значение [Richter et al., 1997], выявило, что регулирование стока р. Зея обусловило отсутствие крупных наводнений, важных для формирования водной и околоводной среды обитания, таких как пойменные озера и прибрежные заболоченные участки.

Таблица 2.1. Параметры водного режима в условиях естественного и зарегулированного стока, р. Зeya – г/п Белогорье

	До регулирования стока: 1957–1974 гг.				При регулировании стока: 1975–2013 гг.			
	Средняя величина	Коэффициент вариации C_v	Минимальная величина	Максимальная величина	Средняя величина	Коэффициент вариации C_v	Минимальная величина	Максимальная величина
Первая группа параметров								
Январь	126	0,43	65,3	258	823	0,36	87,6	1446
Февраль	84,1	0,32	50,4	137	832	0,37	64,1	1521
Март	73,2	0,28	43,2	113	753	0,34	59,9	1298
Апрель	395	0,52	146	738	1204	0,30	507	1951
Май	3955	0,22	2703	5516	2640	0,29	1297	4458
Июнь	3961	0,30	2196	5894	2636	0,35	1308	5099
Июль	4531	0,53	1345	8787	2600	0,36	1405	4945
Август	4118	0,42	1300	8071	3134	0,59	1260	11450
Сентябрь	3958	0,49	1602	7986	2796	0,37	1198	6132
Октябрь	1837	0,39	806	2975	1845	0,26	1033	3331
Ноябрь	402	0,19	276	554	900	0,33	383	2057
Декабрь	215	0,36	128	413	922	0,30	302	1431
Вторая группа параметров								
1-дневный минимум	67,7	0,29	38,0	104	539	0,32	54	875
3-дневный минимум	67,8	0,29	38,0	104	550	0,32	55	887
7-дневный минимум	68,3	0,29	38,0	105	575	0,32	55,9	927
30-дневный минимум	70,7	0,29	40,3	111	650	0,32	59,1	1008
90-дневный минимум	86,3	0,31	52,0	143	775	0,33	67,4	1302
1-дневный максимум	10870	0,32	7030	22400	6104	0,39	3450	14300
3-дневный максимум	10610	0,32	6740	21770	5952	0,40	3310	14200
7-дневный максимум	9690	0,31	6149	19330	5506	0,42	2937	13690
30-дневный максимум	6603	0,30	4319	11870	4150	0,41	2312	11630
90-дневный максимум	4888	0,28	3138	8139	3194	0,32	1920	7658
Третья группа параметров								
Дата наступления Q_{\min}	74	0,05	40	97	357	0,21	1	366
Дата наступления Q_{\max}	200	0,10	139	271	206	0,12	121	272
Четвертая группа параметров								
Количество малых паводков	1,00	0,50	0	2	0,03	6,25	0	1
Продолжительность малых паводков	90	0,27	32	118	100		100	100
Количество высоких паводков	6,00	0,24	2	8	2,13	0,85	0	7
Продолжительность высоких паводков	9,16	0,33	3,857	16,67	6,68	0,88	1	24
Пороговая величина расхода для выделения малого паводка, m^3/c			124,5					
Пороговая величина расхода для выделения высокого паводка, m^3/c			4510					
Пятая группа параметров								
Скорость увеличения расхода, m^3/c	353	0,22	280,6	595,3	128,5	0,36	74,7	333
Скорость падения расхода, m^3/c	-170	-0,21	-246,6	-114,7	-99,62	-0,36	-281	-66,3
Количество инверсий	37,2	0,19	24	48	73,56	0,20	40	106

Величина расходов наводнений, обуславливающих процессы руслоформирования и затопления поймы, сократилась. Величины меженного стока и его минимальных значений возросли, что обуславливает изменение характера лимитирующих условий: меженный сток приводит к периодическому осушению прибрежных территорий и последующей регенерации растительных сообществ, а его минимальные значения обуславливают критические условия, оказывая значительное влияние на видовое разнообразие и численность видов экосистемы (см. рис. 2.3).

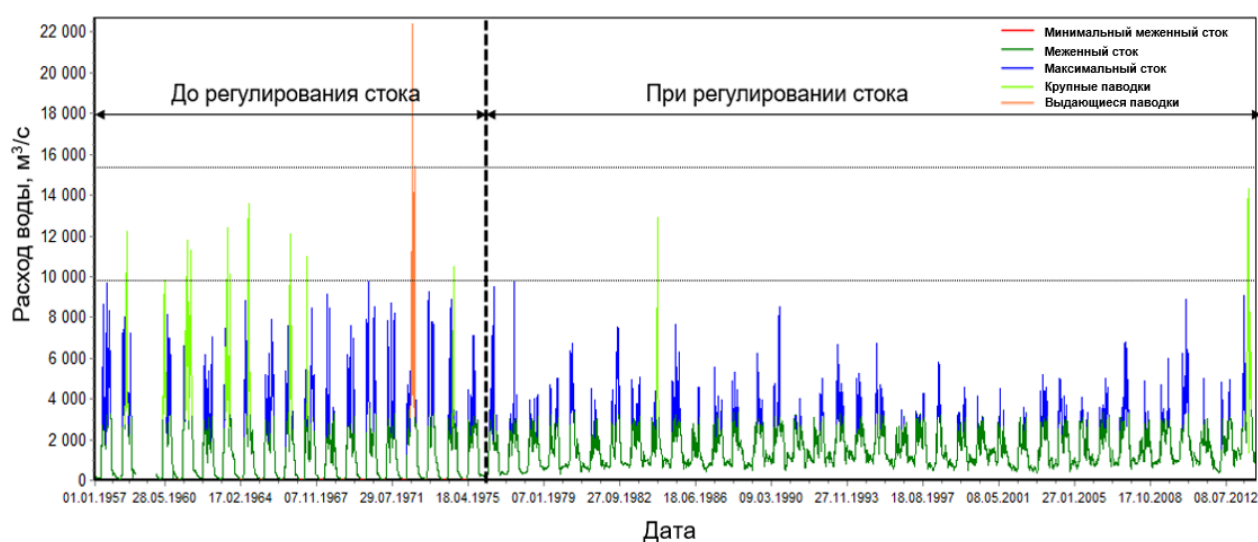


Рис. 2.3. Изменение экологически значимых характеристик водного режима р. Зея — г/п Белогорье при регулировании стока

Регулирование стока привело к его внутригодовому перераспределению. В естественных условиях сток за теплый период года (май — сентябрь) составлял 85–90% от годового объема; стока за холодный период (октябрь — апрель) составлял 10–15%. При регулировании доля стока за теплый период года снизилась до 60–65% (см. рис. 2.4), что приводит к изъятию стока в теплый период года, экологически значимый для воспроизводства водных биоресурсов и сохранения водно-болотных угодий в пойме Зеи и Амура.

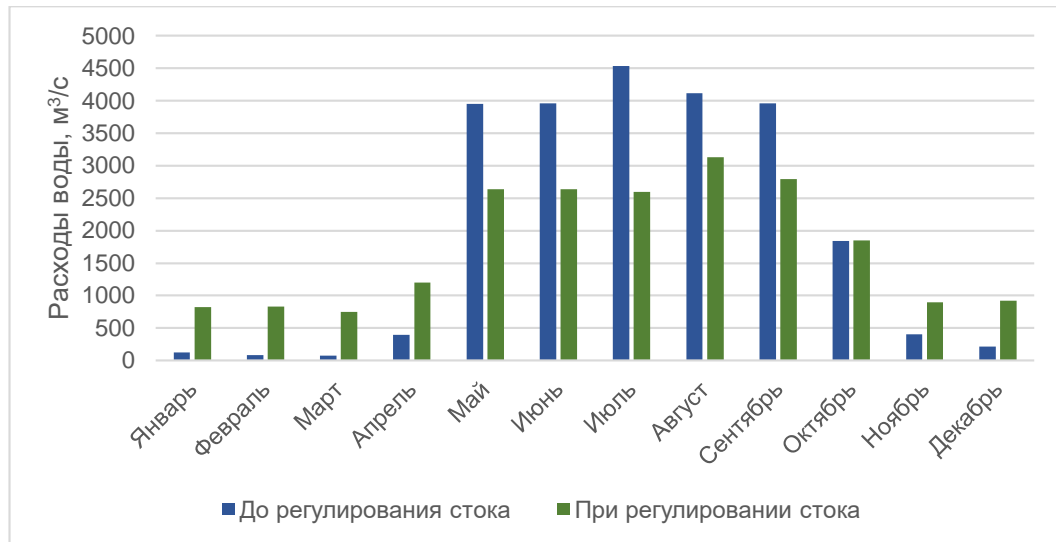


Рисунок 2.4. Среднемесячный гидрограф р. Зея — г/п Белогорье при условно-естественном водном режиме и при регулировании стока

Расходы воды в мае и июне, в период нереста большинства видов рыб, населяющих бассейн Зеи, а также в июле и августе, важные для нагула рыб, уменьшились (см. рис. 2.5), что привело к сокращению первичной продуктивности и уменьшению кормовой базы рыб, сокращению площадей нерестилищ. Эти выводы подтверждают проведенные ранее исследования [Семенченко, 2008].

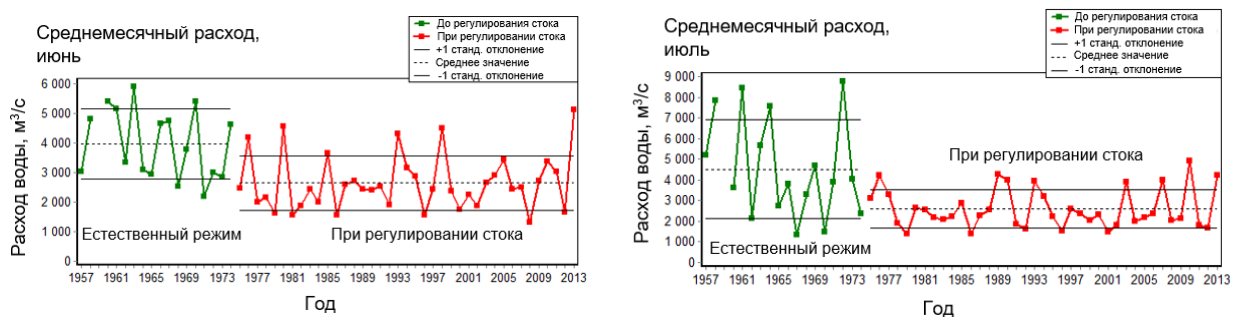


Рисунок 2.5. Регулирование стока обусловило снижение расходов в июне и июле, важных для обеспечения нормальных условий воспроизводства водных биоресурсов и обводнения пойменных экосистем

В условиях естественного режима крупные летне-осенние паводки с расходами более 9000 м³/с обеспечивали транзит руслообразующих наносов. При регулировании стока максимальные расходы воды уменьшились более чем

на 20% [Болгов и др., 2016], а частота их прохождения резко сократилась, что привело к изменению русловых процессов: снижение транспортирующей способности потока в период открытого русла привело к аккумуляции наносов, в результате чего в нижнем течении Зеи образовались острова, осередки, косы, а фарватер реки стал неустойчивым. Особенно сложными и опасными для судоходства стали условия в русле Нижней Зеи выше слияния с Амуром [Гусев, Помигуев, 2008; Гусев и др., 2010]. Влияние Зейской ГЭС на средние значения максимальных уровней воды прослеживается практически на всем течении Среднего и Нижнего Амура [Болгов и др., 2016]. Средняя амплитуда колебаний уровня воды на участке Амура между Благовещенском и Хабаровском снизилась на 1,0–2,3 м [Махинов, 2007].

Зимние расходы увеличились в 4–10 раз, наибольшие изменения характерны для февраля (см. рис. 2.6). Исследования других авторов указывают, что в результате увеличения зимних расходов выросли скорости смещения и размеров донных гряд, стали быстрее заноситься плесы и судоходные прорези, многие перекатные участки стали длиннее [Гусев, Помигуев, 2008]. Рост максимальных зимних расходов и уровней Среднего Амура привел к увеличению интенсивности образования внутриводного льда, шуги и заторов, которые могут угрожать стабильной работе водозаборов и других хозяйственных объектов [Бузин, Горошкова, 2015].



Рисунок 2.6. Повышение зимних расходов обусловило трансформацию русловых процессов и ледовых явлений

2.3 Применение дистанционных методов для оценки изменения пойменных территорий реки Зея

Регулирование стока снижает величину периодического затопления поймы, сокращает местообитания флоры и фауны, воспроизводство и обитание которых прямо или косвенно связано с пойменными водоемами и летними разливами паводковых вод. В результате на пойменных территориях снижается урожайность луговых сообществ, происходит перестройка луговой растительности, расширяются места для произрастания лесной растительности. Как отмечал [Сапаев, 2006], выраженность таких изменений определяется степенью регулирования стока, а именно высотой, временем и продолжительностью максимальных расходов, в т. ч. попусков из водохранилища.

Для оценки изменений пойменных экосистем применяют данные дистанционного зондирования, по которым можно оценить площадь объектов, изменение биомассы участков поймы и другие характеристики [Трифорова и др., 2009; Мищенко, 2011; Елсаков и др., 2016; Черенкова и др., 2017]. С помощью данных дистанционного зондирования проведена оценка пространственно-временного изменения объектов на модельных участках широкой поймы Зеи в нижнем бьефе плотины Зейской ГЭС; результаты представлены в публикациях [Nikitina et al., 2018; Никитина и др., 2018]. При оценке была поставлена задача оценить степень влияния регулирования стока на изменение экосистем. Другие возможные факторы трансформации экосистем: изменение климата, развитие сельского хозяйства, пожары.

Экспертное дешифрирование топографических карт масштаба 1:100 000 выявило границы поймы Зеи, включающие высокую пойму с редкой повторяемостью затопления (приблизительно 1 раз в 50 лет) [Егидарев, 2012]. Первый участок широкой поймы расположен непосредственно за створом Зейской ГЭС и находится под наибольшим влиянием гидроузла. Длина участка по руслу реки 140 км, максимальная ширина 17 км. Второй участок начинается

ниже впадения реки Селемджа в 350 км от плотины Зейской ГЭС, а заканчивается в устьевом участке Зеи; его длина 200 км, максимальная ширина 23 км (см. рис. 2.7). С использованием программного обеспечения *ArcGIS 10.5* и разновременных дистанционных данных созданы два тематических слоя масштаба 1 : 50 000 (рис. 2.8). Эти слои отображают ретроспективную (1969 и 1971 гг.) и современную (2016 г.) структуру и изменение землепользования анализируемых участков поймы.

Ретроспективный срез представлен материалами снимков миссии CORONA, ARGON, LANYARD. Из космо- и фотоснимков, датированных 23 сентября 1969 г. и 14 сентября 1971 г., собраны мозаики для оценки территории при естественном (малонарушенном) водном режиме, т. к. регулирование стока Зеи началось с 1975 г. Современное состояние пойменных территорий оценено с помощью данных спутника Sentinel-2 11 сентября 2016 г. Выбор данных, сделанных в один и тот же месяц разных лет, позволяет снизить возможную ошибку дешифрирования, обусловленную разницей внешнего вида природных объектов в разные сезоны.

В таблице 2.2 приведены данные по площади объектов поймы и их изменениям за 1969–2016 гг. При расчете относительных значений за 100% принималась площадь объектов при естественном режиме стока в 1969/1971 гг.

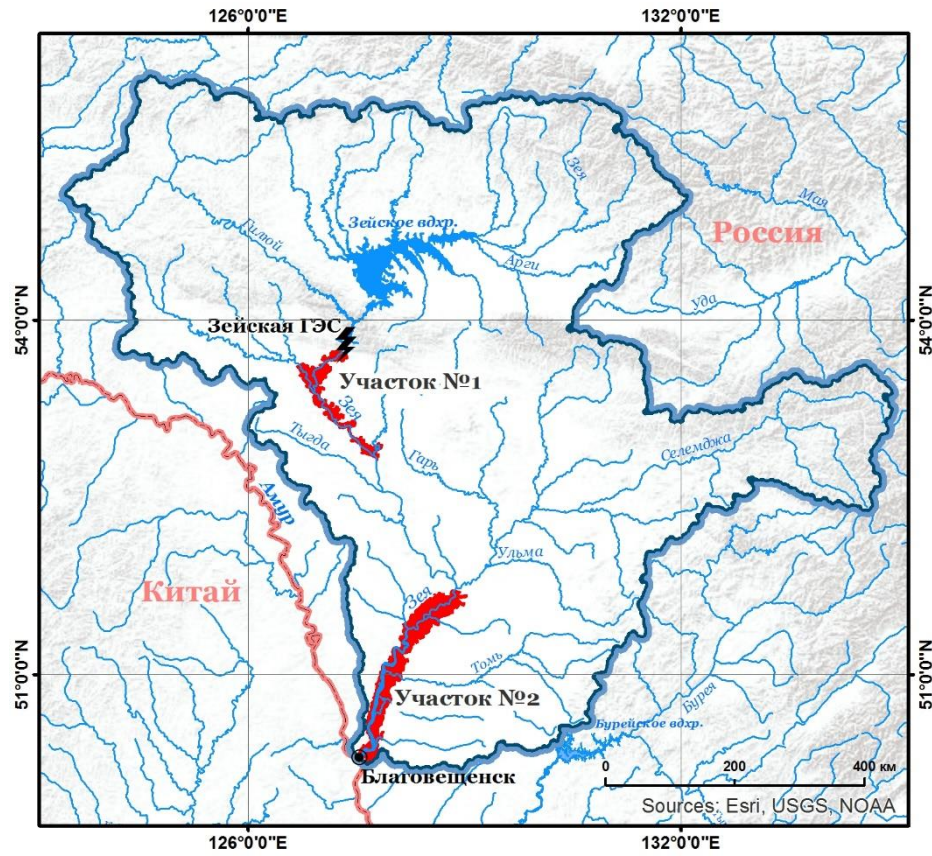


Рисунок 2.7. Расположение модельных участков широкой поймы р. Зея

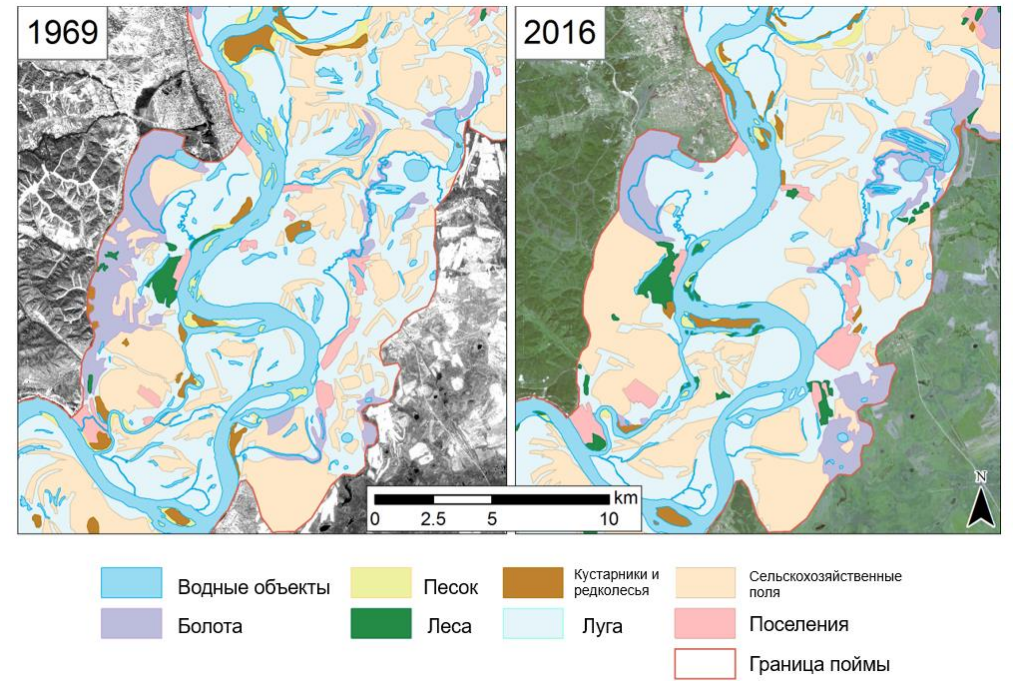


Рисунок 2.8. Анализируемые объекты широкой поймы р. Зея

Таблица 2.2. Объекты модельных участков широкой поймы Зеи и изменение их площадей с 1969 по 2016 г.

Тип объектов	Участок поймы № 1				Участок поймы № 2			
	Площадь в 1969/1971 гг. (га)	Площадь в 2016 г. (га)	Изменение площади за 1969–2016 гг. (га)	Изменение площади за 1969–2016 гг. (%)	Площадь в 1969/1971 гг. (га)	Площадь в 2016 г. (га)	Изменение площади за 1969–2016 гг. (га)	Изменение площади за 1969–2016 гг. (%)
Озера	950	617	-332	-35	5109	2932	-2177	-42,6
Болота	–	–	–	–	30883	19588	-11296	-36,6
Реки	8343	7537	-805	-9,7	28532	30593	2061	7,2
Песчаные отмели	929	937	8	0,9	7346	839	-6508	-88,6
Луга	33666	38841	5175	15,4	127747	137892	10144	7,9
Леса	3244	5521	2276	70,2	1396	5325	3929	281,5
Кустарники и редколесья	4005	3105	-900	-22,5	5259	10292	5033	95,7
Поселения	1951	2172	220	11,3	3785	5608	1823	48,2
Сельскохозяйственные поля	14628	8999	-5629	-38,5	48984	45732	-3252	-6,6
Общая площадь	67717	67730	13	0,02	259041	258800	-241	-0,1

Изменение объектов на модельном участке № 1

Изменение объектов участка поймы №1 показано на диаграмме (см. рис. 2.9).



Рисунок 2.9. Изменение объектов на участке поймы № 1

Площадь пойменных озер сократилась с 950 до 617 га (на 35%). Предположительно, основная причина уменьшения площади озер — прекращение периодического обводнения поймы при регулировании стока плотиной Зейской ГЭС, снижение высоты и продолжительности естественных паводков, что привело к зарастанию озер. Другая предположительная причина — климатические изменения. Однако сравнение оценок региональных трендов за два периода 1976–2006 и 1976–2012 гг. выявило тренд потепления $+0.44^{\circ}/10$ лет в регионе Амура; этот тренд статистически незначим на 5%-ном уровне. Осредненные величины осадков за периоды 1936–2010 и 1976–2010 гг. продемонстрировали, что в регионе Приамурья преобладают площади с трендами уменьшения годовых и летних осадков, однако процент их уменьшения весьма невелик [Второй оценочный доклад Росгидромета, 2014]. Эти оценки подтверждают предположение, что климатические изменения не были основной причиной выявленного сокращения площади озер в пойме Зеи.

Площадь песчаных отмелей и непокрытых растительностью островов изменилась незначительно: анализ показал увеличение площади на 0,9% к

2016 г. за счет снижения расхода воды и обнажения отмелей в основном русле Зеи при регулировании стока.

Площадь лугов возросла с 33,7 до 38,8 тыс. га (на 15,4%). Основная причина роста — переход возделываемых ранее и заброшенных к настоящему времени сельскохозяйственных полей в категорию лугов. Площадь лесов выросла в 1,7 раз: с 3,2 до 5,5 тыс. га (на 70,2%). Это подтверждают исследования [Мартынов, 2013], результаты которых указывают, что изменение режима паводков или их прекращение обуславливает ускоренное развитие пойменных сукцессий, приводящих к формированию лесов или степных лугов. Площадь редколесий и кустарников сократилась с 4 до 3,1 тыс. га (на 22,5%); часть этих природных объектов перешла в категорию лесов.

Несмотря на сокращение населения в регионе, площадь населенных пунктов незначительно увеличилась с 1,9 до 2,1 тыс. га.

Изменение объектов на модельном участке №2

Изменение объектов участка поймы №2 показано на диаграмме (см. рис. 2.10).

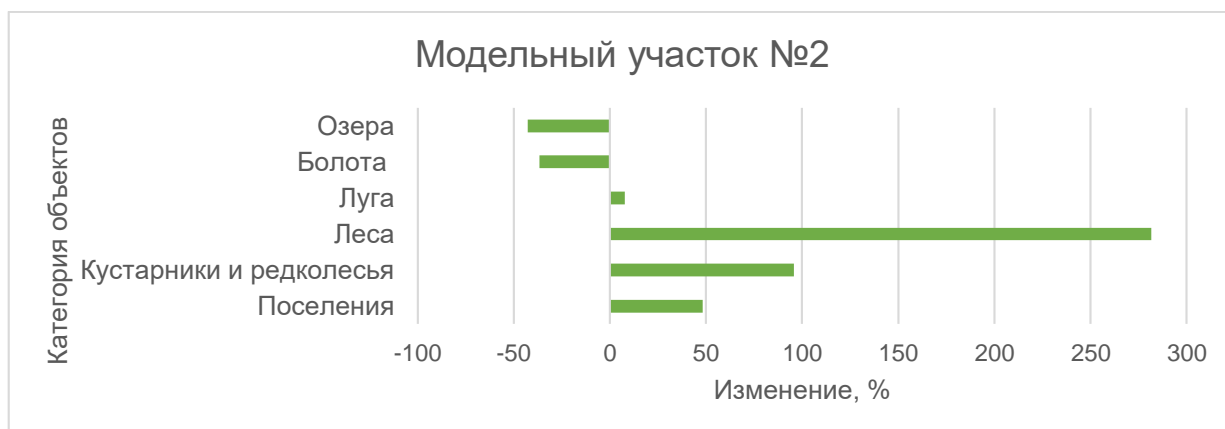


Рисунок 2.10. Изменение объектов на участке поймы №2

Сентябрь 2016 г. оказался многоводным в сравнении с 1966 г.: на снимках 2016 г. отчетливо видны впадающие в Зею полноводные притоки,

образующие в устьевых участках заболоченные территории. Это объясняет увеличение площади водного зеркала рек на 7,2%: даже в условиях регулирования стока Зеи в нижнем течении реки отмечены высокие в сравнении с 1966 г. расходы воды. Повышенный сток обусловлен поступлением боковой приточности из незарегулированных притоков Зеи – рек Селемджа, Томи и др. В то же время, небольшие протоки уменьшились, что указывает на изменившиеся условия обводнения пойменных территорий. Площадь озер сократилась с 5,1 до 2,9 тыс. га (на 43%); площадь болот уменьшилась с 30,8 до 19,6 тыс. га (на 36%). Несмотря на поступление стока впадающих в Зею рек, режим затопления поймы Зеи изменился и на участке ее нижнего течения.

Площадь лугов увеличилась с 127,7 до 137,9 тыс. га (на 7,9%), что обусловлено переходом заброшенных сельскохозяйственных полей в категорию лугов. Площадь лесов выросла почти в четыре раза (с 1,4 до 5,3 тыс. га) за счет развития пойменных сукцессий при трансформации водного режима. Вдвое (с 5,3 до 10,3 тыс. га) выросла площадь редколесий и кустарников. Помимо влияния фактора водного режима, подобный рост обусловлен влиянием частых пожаров. Согласно глобальной программе по мониторингу пожаров и архивных данных [Giglio et al., 2016], на нижнем участке реки Зея только за последнее десятилетие (2006–2016 гг.) было зарегистрировано около 4,5 тыс. очагов возгораний. Под воздействием постоянного пирогенного фактора тип растительности сменяется с лесной на древесно-кустарниковую, обедняется видовой состав растительности и животного мира. Площадь населенных пунктов выросла с 3,8 до 5,6 тыс. га из-за освоения пойменных территорий.

Применение дистанционных методов выявило, что на модельных участках поймы Зеи площадь озер сократилась на 35–43%, ряд речных протоков трансформировался в старичные озера. Примеры выявленных изменений водных объектов обоих участков поймы показаны на рис. 2.11.

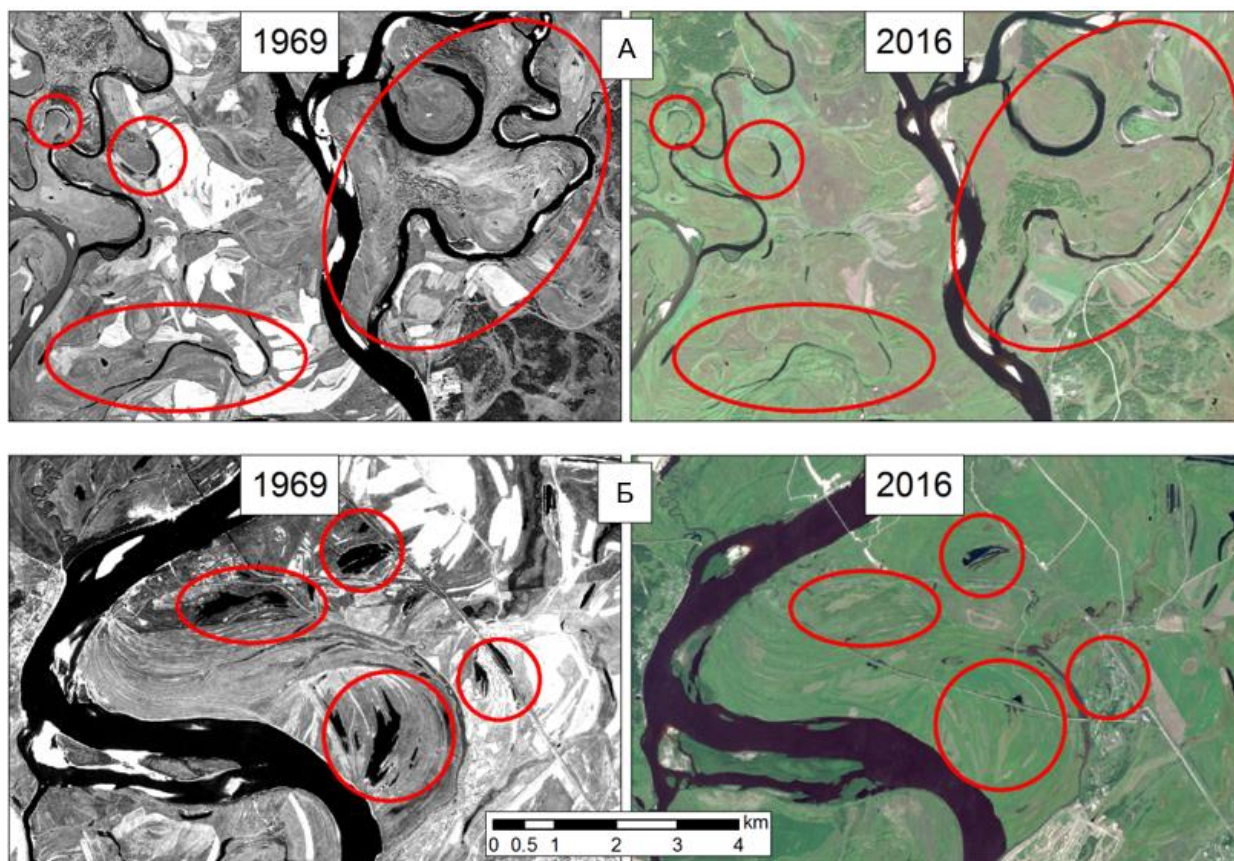


Рисунок 2.11. Примеры изменений: (А) на участке поймы №1 русло реки превратилось в цепочку старичных озер; площадь пойменных озер сократилась (Б) площадь озер на участке поймы №2 сократилась

2.4 Влияние регулирования стока на качество воды и биоту водных и пойменных экосистем рек Зея и Амур

До строительства Зейской ГЭС и образования водохранилища антропогенное преобразование качества вод Нижнего Амура проявлялось преимущественно за счет воды р. Сунгари, в бассейне которой широко развиты промышленность и сельское хозяйство. Так, в зимний период 1960–1970-х гг. для р. Амур в г. Хабаровске был характерен дефицит растворенного кислорода ($4,1 \text{ мг/дм}^3$), в бассейне Нижнего Амура отмечалась массовая гибель рыбы. Содержание кислорода в воде Амура у г. Благовещенска в эти годы составляло около $9,5 \text{ мг/дм}^3$ [Шестеркин и др., 2005]. С 1977 г. на гидрохимический режим и качество воды Среднего и Нижнего Амура начинает влиять Зейское водохранилище. Его воды характеризуются низкой

минерализацией (менее 100 мг/дм³) и повышенным содержанием биогенных и органических веществ. Зарегулирование Зеи привело к возрастанию ее доли в стоке Среднего Амура (до 55%), снижению величины минерализации Зеи и Амура. В водах Амура в зимнюю межень произошло увеличение содержания органического вещества (в 2,7 раза) и цветности (в 2,2 раза) [Шестеркин, 2007, 2010, 2012]. Среднемноголетняя концентрация растворенного кислорода в воде р. Зея у Благовещенска стала составлять 10,2 мг/дм³ и обусловила повышение содержания кислорода в Среднем и Нижнем Амуре. Поступление повышенного при регулировании зимнего стока Зеи в Амур снизило влияние сильно загрязненных вод р. Сунгари [Шестеркин и др., 2005]. Таким образом, Зейское водохранилище оказывает положительное воздействие на качество вод Амура в зимнюю межень, снижая нагрузку загрязняющих веществ, способствуя росту содержания растворенного кислорода и обеспечивая сокращение заморных явлений. Следует отметить, что увеличение зимнего стока воды предотвращает заморы рыб, но не способствует увеличению их численности, что подтверждают исследования [Семенченко, 2008], в которых указано, что воспроизводство пресноводных рыб определяется, прежде всего, площадью нерестилищ и местами нагула, состояние которых изменилось за счет сокращения стока в теплый период года.

Рыбы — конечное трофическое звено водных экосистем, поэтому их состояние в большинстве случаев служит интегральным показателем экологической ситуации водной экосистемы [Дубинина, 2001; Фашевский, 1989, 1996]. Плотина Зейской ГЭС стала барьером для миграций рыб. Видовой состав в верхнем течении Зеи, из современной акватории Зейского водохранилища сократился на треть: исчезли 12 из 38 видов рыб, в т. ч. такие краснокнижные виды, как калуга (*Huso dauricus*) и амурский осетр (*Asipenser schrenckii*), при этом появились два инвазивных вида (песядь *Coregonus peled*, байкальский омуль (*Coregonus migratorius*) [Коцюк, 2009]. Обеднение и смена видового состава делает водные экосистемы неустойчивыми к воздействию природных и антропогенных факторов [Дубинина, 2001]. Планировалось, что

Зейское водохранилище станет рыбохозяйственным водоемом; основным промысловым объектом должна была стать амурская щука (*Esox reichertii*). Однако промысловая рыбопродуктивность Зейского водохранилища оказалась низкой: современные уловы щуки составляют 5–7 т вместо ожидаемых 400 т/год. Рыбные запасы в озерах и реках Амурской области характеризуются низкими уловами. Так, в 1980-е гг. промысловая рыбопродуктивность Зеи составляла 20–25 кг/га, а озер в ее пойме — 30–40 кг/га, а к 2008 г. эти показатели снизились до 0,34 и 0,22 кг/га [Головко, 2008]. До регулирования стока основные виды промысла Зеи составляли рыбы, откладывающие икру в стоячих водах (фитофилы), достигая 70–80% от общих запасов пресноводных рыб: амурский сом (*Silurus asotus*), амурская щука (*Esox reichertii*), сазан (*Cyprinus carpio*), серебряный карась (*Carassius gibelio*). Перест фитофилов может начаться лишь при затоплении паводком наземной растительности [Вронский, 1965; Никольский, 1974]. Исследования [Вронский, 1965; Крыхтин, 1975; Семенченко, 2008] отмечают, что уловы рыб-фитофилов значительно возрастали после лет с высокими уровнями воды. В частности, по материалам исследований [Островская, 2017], улов амурской щуки наиболее тесно связан с уровнем воды в июне – сентябре предшествующего года (рис. 2.12).

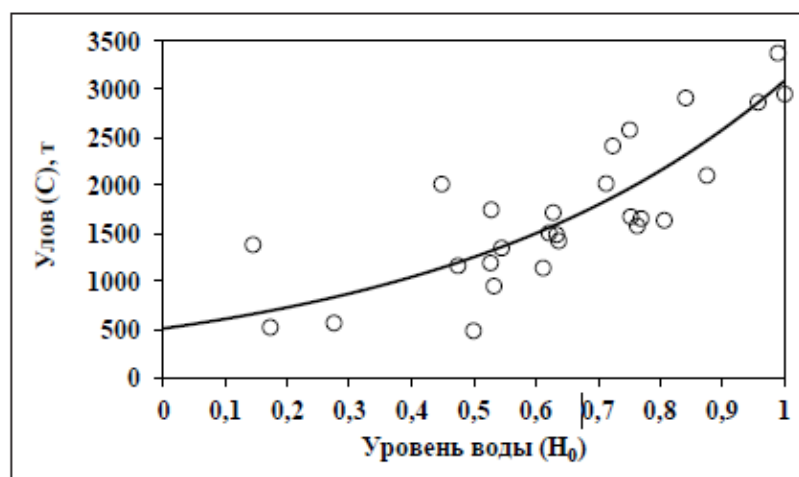


Рисунок 2.12. Зависимость уловов амурской щуки в данном году от среднего значения нормированных уровней воды в июле – сентябре предшествующего года [Островская, 2017]

Снижение летних уровней воды привело к сокращению нерестилищ и уменьшению кормовой базы рыб-фитофилов, что наряду с другими негативными факторами привело к сокращению их численности. Кроме того, на участке Зеи от плотины до впадения крупного свободно текущего притока р. Селемджи сказывается влияние холодной воды, обуславливающее смену видового состава в сторону литофильных рыб [Коцюк, 2009, 2010].

Обследование Зеи в 1 км ниже плотины Зейской ГЭС показало, что камни в русле реки покрыты водорослевыми обрастаниями, достигающими нетипично большой толщины 2 см. Эти обрастания представлены смешением нескольких нитчатых форм: синезеленые, нитчатые зеленые, диатомовые водоросли. Причины такого массового развития водорослей пока неясны и требуют дальнейшего выявления [Медведева, 2010].

Водно-болотные угодья поймы Амура ниже впадения Зеи — среда обитания таких редких и исчезающих видов птиц, как дальневосточный аист (*Ciconia boyciana*), даурский журавль (*Grus vipio*), японский журавль (*Grus japonensis*) и черный журавль (*Grus monacha*) [Heim, 2016]. Регулирование стока — один из ключевых факторов, влияющих на состояние водно-болотных угодий, наряду с воздействием пожаров и сельского хозяйства [Smirenski, Smirenski, 2009; Воропаева, 2016; Краснова и др., 2016]. Снижение максимальных расходов и уровней Зеи приводит к снижению уровней воды Амура, ухудшению водообмена пойменных водно-болотных угодий и постепенному зарастанию старичных озер органическими остатками и макрофитами [Smirenski, Smirenski, 2007; Соколова, 2015; Краснова и др., 2016; Никитина, 2016].

2.5 Экологический сток (попуск) для минимизации влияния регулирования стока на водные и пойменные экосистемы рек Зея и Амур

Для сокращения негативного влияния регулирования стока и сохранения водных и пойменных экосистем водный режим в теплое время года должен

быть максимально приближен к естественному путем реализации экологических попусков из водохранилищ. Экологические попуски должны промывать протоки и нерестилища и старичные озера, повышать плодородие пойменных территорий, обеспечивать воспроизводство рыб и поддерживать близкий к естественному водный режим водно-болотных угодий. Повышенные сбросы воды в теплое время года должно положительно сказаться на биоте рек, поскольку она адаптирована к муссонному режиму рек.

2.5.1 Материалы

Для р. Зеи расчеты проводились согласно методическим подходам определения безвозвратного изъятия стока и экологического стока (попуска) [Дубинина и др., 2008, 2009], которые являются основными в России при установлении этих характеристик. Обоснование расчетов и полученные результаты опубликованы в статье [Nikitina et al., 2020]. В работе использован ряд среднесуточных расходов воды гидрологического поста Белогорье, расположенного в нижнем течении Зеи (43 км от устья, 617 км от плотины) за период 1957–2017 гг. Условно-естественный водный режим проанализирован по данным 1957–1972 гг. Определены расходы воды р. Зея, соответствующие отметкам уровней выхода воды на пойму, а также величина расхода, обеспечивающего благоприятные условия обводнения поймы.

2.5.2 Методика допустимого изъятия стока поверхностных вод и определения экологического стока (попуска)

Метод базируется на принципе устойчивого функционирования водных и пойменных экосистем и сохранении условий естественного размножения организмов. Объем и режим речного стока выполняет экологические функции, такие как поддержание в реках определенных гидравлических и геоморфологических параметров (незаиляющая скорость течения, физические и химические характеристики воды и др.), поддержание величины площади, сроков и продолжительности обводнения поймы. Речной сток

участвует в формировании термического режима, мутности, почвенного и растительного покрова, что играет большую роль в жизни водных и околоводных экосистем и, прежде всего, в размножении рыб и других гидробионтов. Величина стока обуславливает интенсивность и характер захода производителей рыб в реки. Допустимая повторяемость экологически неблагоприятных гидрологических условий обитания и воспроизводства гидробионтов должна определяться особенностями водных экосистем и их инерционностью [Дубинина, 1972, 2001].

Методические подходы определения допустимого безвозвратного изъятия речного стока и установления экологического стока (попуска), изложенные ниже, базируются на опубликованных материалах [Дубинина, 2001; Дубинина и др., 1996, 2008, 2009]. Компоненты экосистем в бассейнах рек определяются в зависимости от экологически значимых элементов гидрологического режима, характеризующих состояние этих водных систем. Так, для русел рек экологически значимый элемент гидрологического режима — скорость воды в потоке, расход воды. Необходимо определить объем стока, характеризующий оптимальные и нормальные условия, а также критические условия, когда естественное воспроизводство минимально. При расходах и объемах воды, близких и ниже критических, происходит резкое ухудшение условий обитания организмов вплоть до отсутствия процессов естественного воспроизводства ценных, промысловых и других видов рыб, околоводных животных и растений, а также нарушается процесс руслоформирования.

Показатель обводнения поймы может быть использован как основной для установления критических условий [Дубинина, 2001; Дубинина и др., 2008, 2009]. Поймы рек имеют большое значение для условий обитания околоводной фауны, развития водных организмов, размножения и нагула молоди рыб, сохранения видового состава, структуры и высокой продуктивности растительности [Фашевский, 2007]. По гидрологическому ряду определяется критический среднесуточный расход воды, а также соответствующие отметки выхода воды на пойму, при которых не происходит

затопления поймы (или затапливается несущественно), и определяется соответствующая величина критического годового стока ($W_{кр}$).

Под допустимым безвозвратным изъятием речного стока понимается максимальный объем воды, изымаемый из речного бассейна, при котором сохраняются условия устойчивого и безопасного функционирования водных и пойменных экосистем или их отдельных компонентов. Величина допустимого безвозвратного изъятия речного стока должна обеспечить сохранение внутригодовых колебаний стока, максимально приближенных к естественным условиям и не выходящих за пределы естественных многолетних колебаний. Для оценки допустимого изъятия используются такие экологические критерии как условия естественного воспроизводства водных биологических ресурсов, структура сообщества рыб, видовое разнообразие организмов.

Экологический сток рассчитывается как разница между объемом стока и его допустимого безвозвратного изъятия. Таким образом, это сток при допустимом безвозвратном изъятии речного стока, обеспечивающий условия устойчивого и безопасного функционирования и восстановления водной экосистемы.

При нормировании безвозвратного изъятия речного стока и установлении экологического стока (попуска) принимается, что качество воды соответствует нормативным требованиям.

При определении допустимого безвозвратного изъятия речного стока расчет осуществляется вначале для всего бассейна в замыкающем створе реки, а затем по отдельным участкам выше по течению. Допустимое изъятие стока не должно превышать 20% среднемноголетнего объема стока [Дубинина, 2001; Дубинина, Никитина, 2020].

Полный алгоритм расчета безвозвратного изъятия стока и экологического стока приведен в приложении А.

2.5.3 Определение допустимого безвозвратного изъятия стока и экологического стока в бассейне реки Зея

На участке Зеи от плотины ГЭС до устья Селемджи русло реки относительно прямолинейное, с малым количеством притоков. Такое морфологическое строение определяет бедность видового состава рыб. Здесь прослеживается негативное влияние холодной воды на гидробионтов: учитывая, что термический фактор является значимым при воспроизводстве водных биоресурсов, низкие температуры являются дополнительным лимитирующим фактором. После впадения Селемджи Зея имеет достаточно прогретую воду, меандрирует, образует протоки, заводи и зимовальные ямы, благоприятные для воспроизводства рыб. На широкой пойме правого берега расположено большое количество проток и озер. Этот участок по температурному режиму комфортен для большинства обитающих в Зее пресноводных рыб. Таким образом, в бассейне р. Зея наиболее важным районом для обитания рыб является русло и пойма Зеи ниже впадения Селемджи, до самого нижнего течения, где русло Зеи становится неразветвленным и впадает в Амур. Это наиболее ценный с экологической точки зрения участок Зеи. Гидрологические условия этого участка могут быть охарактеризованы по данным поста Белогорье.

Сравнительный анализ затопления поймы Нижней Зеи при естественном водном режиме и регулировании стока показал следующее. Для обводнения поймы Зеи и обеспечения условий естественного воспроизводства фитофильных рыб, откладывающих икру в стоячих водах при затоплении наземной растительности, расходы г/п Белогорье должны превышать $6500 \text{ м}^3/\text{с}$, что соответствует отметке выхода воды на пойму. Согласно ряду наблюдений 1956–1972 гг., при естественном водном режиме затопление поймы в г/п Белогорье происходило ежегодно на протяжении всего теплого периода года. Продолжительность последовательных периодов (см. рис. 2.13, а–д) затопления поймы в сезон воспроизводства рыб, с начала мая по конец июля, составляла 15–20 дней, достигая в отдельные годы 30–37 дней. Вода

также ежегодно выходила на пойму в августе и сентябре, по окончании периода нереста (см. рис. 2.13, е–з) на протяжении 5–32 дней, обуславливая обводнение старичных озер, а при высоких уровнях и расходах воды – также их промывание от макрофитов.

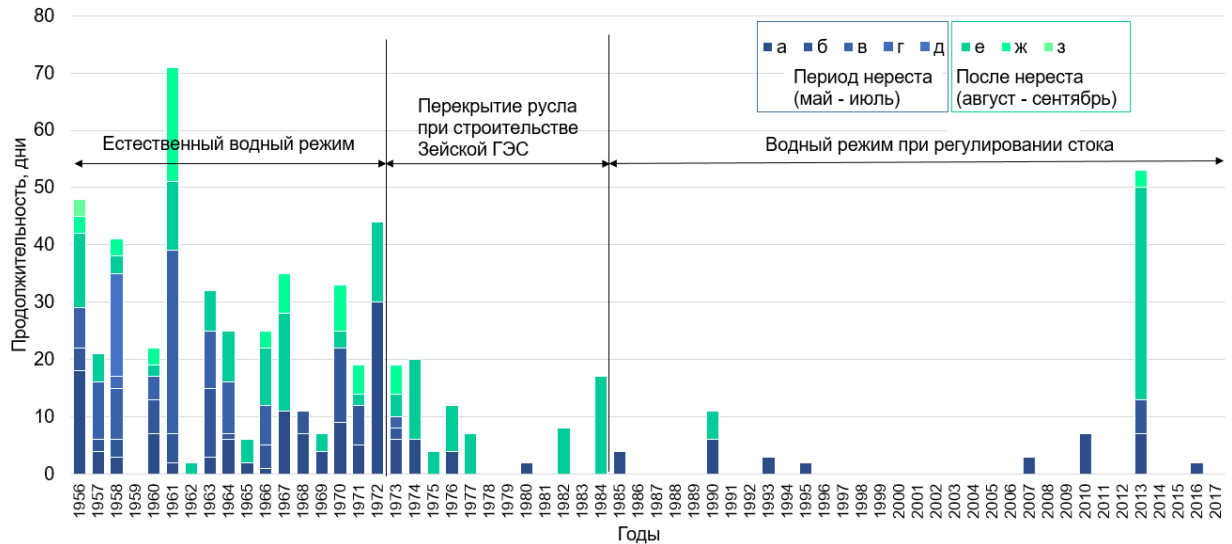


Рисунок 2.13. Частота и продолжительность выхода воды на пойму р. Зея – г/п Белогорье сократилась в условиях регулирования стока, что негативно сказывается на условиях воспроизводства фитофильных видов рыб

Для определения экологического стока по ряду условно-естественного водного режима р. Зея – г/п Белогорье определены критические для водной экосистемы условия — расход воды, при котором не происходит выход воды на пойму. Единственный относительно маловодный год в короткий период наблюдений 1957–1972 гг. был 1962 г. (обеспеченность стока 78%). Использование данных 1962 г. в качестве критического стока приводит из-за короткого ряда наблюдений к завышению объема допустимого безвозвратного изъятия и составляет более 20% от объема стока. Такая большая величина изъятия стока не может способствовать сохранению водных экосистем реки. Поэтому объем критического стока ($W_{кр}$) принят равным объему стока года 90%-ной обеспеченности по ряду условно-естественного водного режима и составляет 45 км³. Разница между объемом критического стока ($W_{кр}$) и

исторически минимального стока 99%-ной обеспеченности ($W_{уст}$) составляет среднюю величину допустимого безвозвратного изъятия стока ($W_{ду_{ср}}$):

$$W_{ду_{ср}} = W_{кр} - W_{уст} = 45 - 35 = 10 \text{ км}^3$$

Средняя величина допустимого безвозвратного изъятия стока равна км^3 , 17,5% от среднемноголетней величины стока Зеи 57 км^3 . По ряду условно-естественного водного режима определены объемы стока и допустимого безвозвратного изъятия многоводного ($P=25\%$), среднего ($P=50\%$), маловодного ($P=75\%$) и очень маловодного ($P=95\%$) лет (см. приложение Б). Фактическая величина изъятия водных ресурсов значительно ниже допустимой величины изъятия, в связи с чем проблема безвозвратного изъятия водных ресурсов для бассейна р. Зея в настоящее время и в обозримой перспективе не актуальна. Так, фактическое безвозвратное изъятие водных ресурсов составляет менее 1% от средней величины допустимого безвозвратного изъятия стока. Уточнение величин критического стока и допустимого изъятия важно для активно используемых для сельского хозяйства малых рек бассейна Среднего Амура [Бортин и др., 2013; Дубинина и др., 2015].

В годы разной водности экологический сток в замыкающем створе Зеи составляет: 55 км^3 (многоводный год 25%-ной обеспеченности стока), 48 км^3 (средний по водности год 50%-ной обеспеченности), 42 км^3 (маловодный год 75%-ной обеспеченности), 34 км^3 (очень маловодный год 95%-ной обеспеченности). Экологический сток распределяется между теплым и холодным сезонами в соотношении 85–90 и 10–15% (см. табл. 2.3).

Таблица 2.3. Распределение величин допустимого безвозвратного изъятия и экологического стока р. Зея в разные по водности годы и сезоны

Показатель	Год, км ³	Теплый период (май–сентябрь)		Холодный период (октябрь–апрель)	
		Объем, км ³	Доля от годовой величины стока, %	Объем, км ³	Доля от годовой величины стока, %
Критический сток ($W_{кр}$)	45	-	-	-	-
Исторически минимальный сток ($W_{ист}$)	35	-	-	-	-
Среднегодовое допустимое безвозвратное изъятие стока ($W_{ди}$)	10	-	-	-	-
Сток многоводного года ($W_{25\%}$)	67	59	88	8	12
Сток средневодного года ($W_{50\%}$)	58	52,5	91	5,5	9
Сток маловодного года ($W_{75\%}$)	51	45	88	6	12
Сток крайне маловодного года ($W_{95\%}$)	41	34,5	84	6,5	16
Допустимое безвозвратное изъятие стока в многоводный год ($W_{ди 25\%}$)	12	10,6	88	1,4	12
Допустимое безвозвратное изъятие стока в средневодный год ($W_{ди 50\%}$)	10	9,1	91	0,9	9
Допустимое безвозвратное изъятие стока в маловодный год ($W_{ди 75\%}$)	9	7,9	88	1,1	12
Допустимое безвозвратное изъятие стока в крайне маловодный год ($W_{ди 95\%}$)	7	5,9	84	1,1	16
Экологический сток многоводного года ($W_{эк25\%}$)	55	48,4	88	6,6	12
Экологический сток средневодного года ($W_{эк50\%}$)	48	43,4	90	4,6	10
Экологический сток маловодного года ($W_{эк75\%}$)	42	37,1	88	4,9	12
Экологический сток крайне маловодного года ($W_{эк95\%}$)	34	28,6	84	5,4	16

Внутригодовое перераспределение стока при его регулировании приводит к изъятию стока в теплый период года, важный для воспроизводства водных биоресурсов, а также обводнения поймы и промывания старичных озер и проток поймы. В естественных условиях сток Зеи в Белогорье за теплый период года (май – сентябрь) составлял 95% от годового объема; сток за холодный период года (октябрь – апрель) 5% [Ресурсы поверхностных вод, 1966; Никитина, 2016; Nikitina, 2017]. При зарегулировании доля стока в нижнем течении Зеи за теплый период составляет 65–75% от годового стока [Никитина, 2016; Nikitina, 2017], что на 15–20% ниже рассчитанного объема экологического стока (см. табл. 2.3) и указывает на высокую степень трансформации водных экосистем Зеи.

Для устойчивого функционирования водных и пойменных экосистем при определении режима обводнения поймы предлагается обеспечить неразрывность поколений массовых видов фитофильных рыб (амурской щуки, серебряного карася, амурского сазана), средняя продолжительность жизни составляет 3–12 лет. Для обеспечения неразрывности поколений фитофильных рыб и регулярного обводнения пойменных водно-болотных угодий вода должна выходить на пойму Нижней Зеи в многоводные годы (25%-ной и меньшей обеспеченности), не реже 1 раза в 4–5 лет. Так, средняя продолжительность жизни щуки амурской составляет 3–5 лет, карася серебряного 6–7 лет, сазана амурского более 12 лет [Антонов и др., 2019]. Объем экологического стока многоводных лет в период с мая по сентябрь должен достигать 48 км³ (см. табл. 2.3). Выход воды на пойму в Белогорье обеспечивается при расходах свыше 6500 м³/с и должен происходить на протяжении 15–20 дней в июне–июле, согласно естественному водному режиму. Индикаторами реализации экологических попусков на р. Зея могут быть запасы и уловы рыб при различных условиях обводнения и продуктивность луговой растительности поймы.

Однако после зарегулирования стока в 1984 г. обводнение поймы практически не происходит: расходы воды редко достигают 6500 м³/с. Вода выходит на пойму 1 раз в 5–10 лет на период менее 10 дней, которого недостаточно для обеспечения условий воспроизводства гидробионтов. На современном этапе роль поймы Нижней Зеи в воспроизводстве фитофильных видов минимальна [Коцюк, 2008, 2009]. По согласованию с уполномоченными органами в 2019 г., действующие Правила использования водных ресурсов Зейского водохранилища не предусматривают реализации рыбохозяйственных попусков и не предъявляют требований к условиям обводнения поймы в нижнем бьефе.

Экологические попуски на Зейской ГЭС невыполнимы по техническим причинам: открытие затворов водосбросов плотины может осуществляться только после наполнения водохранилища до отметки уровня верхнего бьефа

317,5 м БС. За зимний период водохранилище сбрасывается до отметок 309–310 м, за период паводков оно наполняется до отметок 313–315 м, редко достигая 317,5 м [Гидрограф Зейской ГЭС, 2020].

В условиях регулирования стока снизилась частота и величина паводков, обеспечивающих регулярное обводнение и промывание пойменных озер Муравьевского заказника, имеющего статус Рамсарского водно-болотного угодья международного значения, и Амурского заказника в пойме Амура ниже впадения Зеи. Однако масштабное наводнение 2013 г. продемонстрировало, что в условиях высоких уровней воды все же происходит затопление высокой поймы и промывание озер. Наводнение улучшило условия обитания редких птиц [Heim et al., 2017]: в 2013 г. в Муравьевском парке (на территории заказника) резко возросла численность гнездящихся пар даурского журавля (*Grus vipio*). В этот год число пар достигло 25, в то время как в 2000–2012 гг. эта величина составляла 3–17 пар. Также наводнение позитивно сказалось на популяции японского журавля (*Grus japonensis*). Другой крупный паводок произошел на Зее в 2007 г. Объем стока паводка в 2013 г. в более чем два раза превысил паводок 2007 г., но его пиковый расход (11700 м³/с) был меньше максимума стока 2007 г. (15200 м³/с). Высокая водность в ходе этих паводков во многом обусловлена поступлением стока незарегулированных притоков Зеи, в частности, рек Селемджа, Томь, Уркан, Деп. Средняя многолетняя величина боковой приточности Зеи на участке от Зейской ГЭС до устья примерно в два раза больше, чем приток в Зейское водохранилище.

Таким образом, своим естественным водным и термическим режимами притоки вносят вклад в сохранение водных экосистем бассейна Нижней Зеи, наиболее ценного с экологической точки зрения. Также они обеспечивают оптимизацию термического режима и выполняют другие экологические функции [Grill et al., 2019], улучшая условия воспроизводства гидробионтов в бассейне Нижней Зеи. Это указывает на важность их охраны от зарегулирования в будущем.

Следует отметить, что в связи с изменениями климата для Зеи в будущем вероятно прохождение паводков с максимальными расходами и объемами, превышающими наблюдавшиеся ранее [Мандыч, 2014]. В перспективе стоит решить проблему сбросов воды из Зейского водохранилища при отметках ниже 317,5 м для реализации экологических попусков, рассмотрев вариант строительства дополнительного берегового водосброса. К примеру, в 2011 г. введен в эксплуатацию дополнительный береговой водосброс Саяно-Шушенской ГЭС на р. Енисей — крупнейшей по установленной мощности ГЭС России [Клюев, 2020]. Водосброс был построен из-за необходимости повысить надежность и безопасность гидротехнических сооружений. Он позволит осуществить дополнительный пропуск расходов до 4000 м³/с в половодье и паводки и тем самым снизить нагрузку на тело плотины. Создание технических условий на Зейской ГЭС для реализации экологических попусков в июне–июле не только улучшит состояние водных экосистем в нижнем бьефе, но и увеличит аккумулирующую способность Зейского водохранилища при прохождении сильных и катастрофических паводков. В свою очередь, это позволит снизить социальные и экономические негативные последствия наводнений.

Выводы

Эксплуатация Зейского гидроузла привела к изменениям во внутригодовом распределении стока, снижению величины и продолжительность максимальных расходов, определяющих регулярное обводнение пойменных территорий, сохранение нерестилиц. Проведенный с помощью дистанционных данных анализ выявил сокращение площадей озер, превращение речных протоков в старичные озера, рост лесных площадей и жилых массивов на пойменных территориях. Зейское водохранилище оказывает положительное воздействие на качество вод Амура в зимнюю межень, способствуя росту содержания растворенного кислорода. Увеличение

зимнего стока воды предотвращает заморы рыб, но не способствует увеличению их численности, т. к. воспроизводство пресноводных рыб определяется, прежде всего, площадью нерестилищ и местами нагула, состояние которых изменилось за счет сокращения стока в теплый период года.

После строительства Зейской ГЭС в современной акватории Зейского водохранилища исчезли 12 из 38 видов рыб, в т. ч. два краснокнижных, и появились два инвазивных вида, что делает водные экосистемы неустойчивыми к воздействию природных и антропогенных факторов. Снижение уровня воды в летние и осенние месяцы в нижнем бьефе Зейской ГЭС привело к сокращению первичной продуктивности и уменьшению кормовой базы рыб, снижению их выживаемости и темпов роста. Для оптимизации воспроизводства рыб и поддержания водного режима водно-болотных угодий Муравьевского и Амурского заказников в пойме Амура ниже впадения Зеи необходима реализация экологических попусков.

Определение допустимого безвозвратного изъятия и экологического стока в замыкающем створе бассейна реки Зея в разные по водности годы и сезоны выявило сокращение доли стока в теплый период года на 10–15% в сравнении с рассчитанными значениями экологического стока, что негативно сказывается на состоянии водных и пойменных экосистем. При этом проблема безвозвратного изъятия водных ресурсов в бассейне Зеи не актуальна. Поэтому оценка экологического стока должна базироваться на определении допустимого сокращения максимального стока, который позволит обеспечить устойчивое функционирование водных и пойменных экосистем.

При реализации экологических попусков рекомендуется затопление поймы не реже одного раза в пять лет на протяжении 15–20 дней. Однако экологические попуски из Зейского водохранилища невыполнимы из-за технических особенностей плотины. В связи с этим важно не допустить зарегулирования свободно текущих притоков Зеи: своим естественным

водным и термическим режимом они вносят вклад в сохранение водных и пойменных экосистем в бассейне Нижней Зеи.

Предлагается в перспективе решить проблему сбросов воды из Зейского водохранилища при отметках ниже 317,5 м, рассмотрев вариант строительства дополнительного берегового водосброса, по аналогии с введенным в эксплуатацию водосбросом на Саяно-Шушенской ГЭС на р. Енисей для дополнительного пропуска высоких расходов. В связи с изменениями климата на Зее в будущем вероятно прохождение паводков с максимальными расходами и объемами, превышающими наблюдавшиеся ранее. Строительство и эксплуатация водосброса позволит реализовать экологические попуски и оптимизирует регулирование стока при прохождении сильных и катастрофических паводков.

ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА НА ЭКОСИСТЕМЫ БАСЕЙНА РЕКИ БУРЕЯ И РАЗРАБОТКА ПРИРОДООХРАННЫХ МЕР

3.1 Объект исследований

Река Бурей — один из крупнейших притоков Амура, впадающий на расстоянии 1666 км от его устья (см. рис. 3.1). Длина Буреи 739 км, общая площадь водосбора 70 700 км². Бассейн Буреи является наиболее увлажненной частью бассейна р. Амур, по водоносности Бурей занимает второе место среди его притоков.

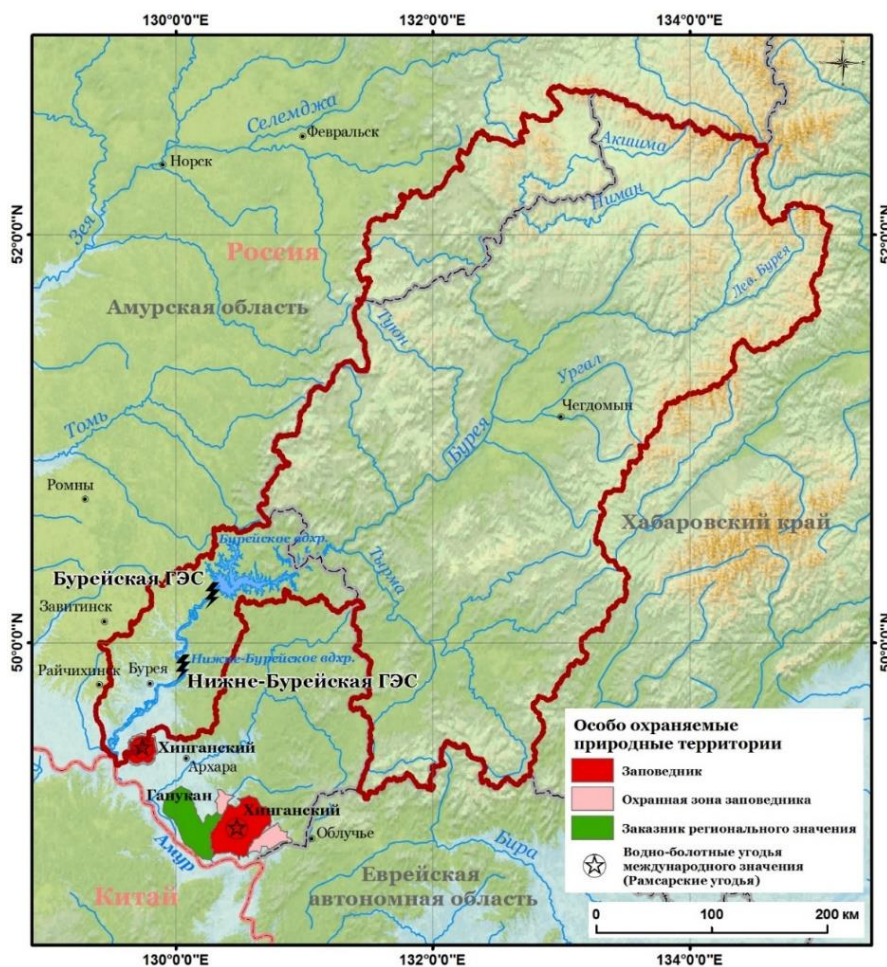


Рисунок 3.1. Бассейн р. Бурей

Местный климат носит черты как континентального, так муссонного характера. Зимой характерны весьма низкие температуры и влажность,

холодная, солнечная и сухая погода. Во второй половине лета Тихоокеанский муссон обуславливает поступление теплых и влажных масс тропического воздуха, что приводит к выпадению обильного количества осадков. Среднегодовая сумма осадков составляет 911 мм, что превышает количество осадков других районов бассейна Амура. С мая по сентябрь выпадает 80% всех осадков.

Дожди являются основным источником питания Буреи: их доля составляет 50–70% общего годового стока, доля снегового питания 10–20%, подземного 10–30%. Вследствие такого распределения важной чертой водного режима Буреи является неравномерность внутригодового распределения стока: весенне-летний сток составляет 88%, осенний 10,5%, зимний до 1,5%. Для летнего периода характерны паводки: за лето наблюдается 5–7 паводков. Подъемы уровня воды могут превышать 6–10 м, причем интенсивность подъема уровня может достигать 5–6 м/сутки. Горный рельеф и густая речная сеть способствуют быстрому добеганию стока в основное русло Буреи при паводках. Паводки начинаются в мае и заканчиваются в сентябре–октябре; наиболее значительные характерны для июля и августа. Сильные паводки вызывают катастрофические наводнения, во время которых происходит затопление населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий. Особенно высокие подъемы характерны для нижнего течения Буреи. Половодье на Бурее выражено слабо. С ноября по апрель Бурей маловодна; зимняя межень низкая и устойчивая [Ресурсы поверхностных вод, 1966; Проект нормативов..., 2012].

Большая часть бассейна расположена в горной местности, где широко распространена многолетняя мерзлота. Вследствие этого для вод Буреи характерны низкие температуры, а бассейн реки характеризуется высокой заболоченностью. Впадая в Амур, Бурей существенно изменяет его термический режим. Площадь болот и заболоченных земель в бассейне р. Бурей достигает 5540 км², около 8% территории водосбора [Проект нормативов..., 2012].

На реке Бурей построены две крупные плотины, которые привели к трансформации водного режима и, в частности, снижению максимального стока. Влияние регулирования стока на водный режим Буреи, а также водные и пойменные экосистемы Хингано-Архаринской низменности проанализировано в последующих разделах.

Для территории Хинганского заповедника, расположенной в юго-западной части Хингано-Архаринской низменности в долине р. Бурей (см. рис. 3.1), характерны следующие природные условия. Количество выпадающих осадков составляет 430–800 мм. Более 70% годовой нормы осадков приходится на теплый период года, преимущественно на вторую половину лета. Питание Буреи на 78% обеспечивается дождями; в этих условиях большое значение в увлажнении поймы имеют летние паводки. В левобережной части долины нижнего течения Буреи выделяется низкая, высокая поймы и три надпойменных террасы с абсолютными отметками местности от 97,9 м в прирусловой части до 127,4 м в тыловом шве долины. Низкая пойма развита слабо и возвышается до 2 м над меженным уровнем реки. Высокая пойма высотой 2–5 м на левобережной части занимает полосу шириной до 3 км. Бывшие меандры и протоки Буреи представляют собой старичные или заболоченные озера. Некоторые из них соединяются с Буреей в высокие паводки. Первая надпойменная терраса высотой 6–8 м занимает большую часть долины Буреи в ее низовьях. Здесь расположены долины малых рек (р. Ярчиха) и бывшие протоки Буреи, сохранились крупные старичные озера-меандры (оз. Кривое, Круглое) [Сапаев, Воронов, 1979].

3.2 Регулирование стока и его влияние на водные и пойменные экосистемы

В 2003 г. в 174 км от устья Буреи введена Бурейская ГЭС с установленной мощностью 2010 МВт. Бурейский гидроузел помимо выработки энергии должен удерживать сток наводнений в долинах рек Бурей

и Амур, а также обеспечивать судоходные и санитарные условия в нижнем бьефе гидроузла. Катастрофические паводки перестали быть столь опасными для местного населения: плотина Бурейской ГЭС снизила величину максимальных расходов (см. рис. 3.2).

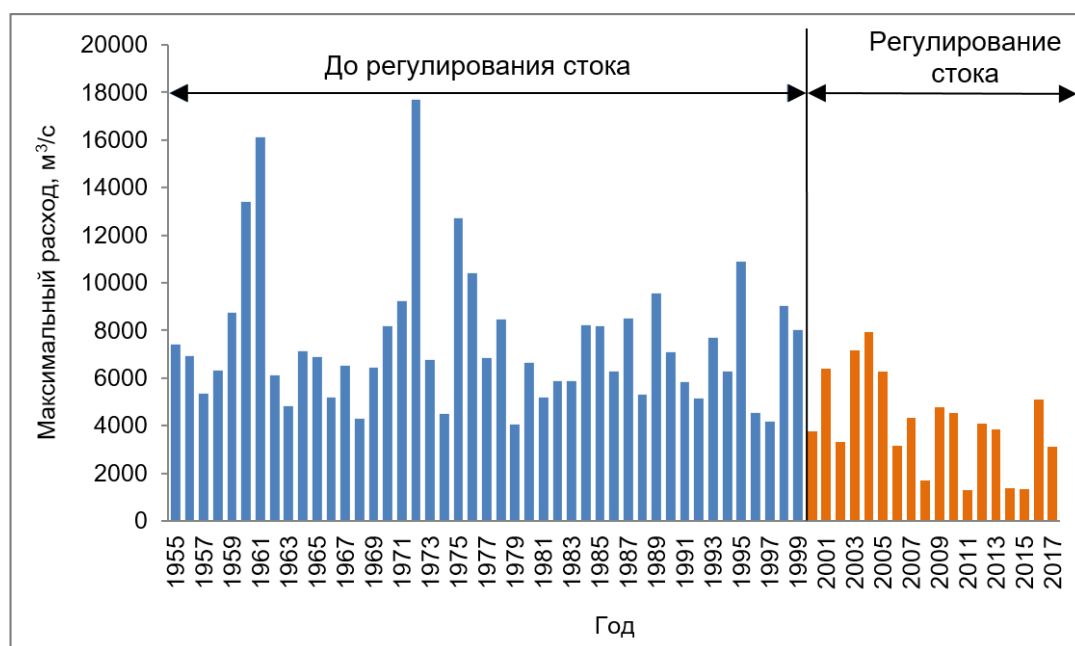


Рисунок 3.2. Снижение максимальных уровней р. Бурейя при регулировании стока

С выходом Бурейской ГЭС на эксплуатационный режим доля Зеи и Бурейи в зимнем стоке Амура возросла до 65%, сток органического вещества в Амуре вырос в 3,7 раза, достигнув максимальной величины за весь период наблюдений [Шестеркин, 2010]. О значительном росте в воде содержания органического вещества свидетельствует увеличение ее цветности в 1,34 раза. Поступление ультрапресных вод Бурейи в Амур привело к небольшому снижению в амурской воде содержания растворенных веществ. Так, в зимнюю межень 2003–2004 гг. по сравнению с зимней меженью предыдущих лет отмечалось снижение величины минерализации воды в 1,15 раза. Эксплуатация Бурейских гидроузлов совместно с регулированием Зеи способствует еще большему разбавлению загрязненных вод р. Сунгари, что благоприятно сказывается на качестве вод Среднего и Нижнего Амура в зимнюю межень и повышение содержания в них растворенного кислорода

[Шестеркин и др., 2005]. Следует отметить, что проблема трансграничного загрязнения водных экосистем Амура чрезвычайно актуальна: так, доля загрязнений вод Амура за счет влияния р. Сунгари по отдельным ингредиентам составляет 50–90% при доле стока 27–29% [Воронов, 2014]. Таким образом, регулирование стока Буреи и Зеи оказывает положительное воздействие на качество вод Амура в зимнюю межень, снижая нагрузку загрязняющих веществ, поступающих со стоком р. Сунгари. При этом зарегулированные Зея и Бурей являются основным источником поступления в Амур растворенного железа в зимнюю межень [Шестеркин, 2012, 2014].

В 2017 г. в 85 км от устья Буреи введена Нижне-Бурейская ГЭС с установленной мощностью 240 МВт, контррегулятор Бурейской ГЭС, образующий водохранилище недельного регулирования. Согласно наблюдениям общественной организации «Амурский социально-экологический союз», в период выхода на проектную мощность в 2019 г. Нижнебурейской ГЭС наблюдались процессы иссушения на модельных площадках в нижнем бьефе, в долинных переувлажненных лесах и ряде открытых биотопов; опросы местного населения указали на сокращение численности водных биологических ресурсов.

Хингано-Архаринская низменность, попадающая под влияние плотин на Бурее, внесена в список водно-болотных угодий международного значения, охраняемых положениями Рамсарской конвенции как место гнездования исчезающих видов мировой фауны: дальневосточного аиста (*Ciconia boyciana*), японского (*Grus japonensis*) и даурского (*Grus vipio*) журавлей (см. рис. 3.3), включенных в Красную книгу РФ, Красную книгу Азии, Список глобально угрожаемых видов Международного союза охраны природы. Здесь находится до 10% гнезд мировой популяции дальневосточного аиста, обитает крупная группировка японских журавлей [Андронов и др., 2001]. Участок имеет статус ключевой орнитологической территории России. В его старичных озерах обитают кормовые объекты птиц: вьюн, ротан, карась, сибирская лягушка, разнообразные моллюски [Антонов и др., 2005]. Наличие

вблизи гнезд слабопроточных водоемов с легкодоступными запасами мелкой рыбы — одно из основных условий гнездования птиц: мелкая рыба достигает 90% питания птенцов дальневосточного аиста [Winter, 1991] и 77% питания японского журавля [Парилов, 1996].



Рисунок 3.3. Редкие птицы, населяющие водно-болотные угодья в зоне влияния плотин, и их кормовая база: (А) дальневосточный аист; (В) японский журавль; (С) даурский журавль; (D) вьюны и ротаны – основа питания птиц
© WWF России

Процессы, способствующие снижению рыбопродуктивности пойменных озер, ухудшают условия обитания птиц и могут привести к потере гнездового участка [Игнатенко и др., 2005]. Регулирование стока р. Буря приводит к сокращению количества и объема стока паводков. Без периодического прохождения наводнений старичные озера заиливаются и зарастают. На дне водоемов накапливаются останки растений и животных, по берегам водоемов нарастает славина — плавающий на поверхности воды слой из живых водных растений и мертвой органики. Когда водоем

заполняется органическими останками, а сплавины смыкаются, озеро превращается в болото. Заболачивание старичных озер ведет к обеднению структуры, снижению биопродуктивности и обеднению биотопического разнообразия, что ухудшает среду обитания журавлей и аистов. Исследования [Рец, 2013] подтверждают, что регулирование стока р. Бурея приводит к уменьшению биоразнообразия в пойменных комплексах Хинганского заповедника, обуславливает зарастание старичных озер и сукцессионные смены обводненных болот необводненными, что может негативно сказаться на среде обитания редких птиц. В естественных условиях процесс заболачивания регулируется периодическими паводками: большая вода вымывает часть наилка, срывает и уносит сплавины. Чем ближе водоем находится к руслу большой реки, тем чаще он промывается [Сапаев, Воронов, 1979; Антонов и др., 2005].

В естественных условиях высокие паводки играли важную роль в восстановлении продуктивности пойменных водно-болотных угодий после засушливых периодов [Сапаев, Воронов, 1979]. Так, после засухи, пик которой пришелся на 1980–1981 гг., на Хингано-Архаринской низменности отмечалось постепенное восстановление числа размножающихся пар журавлей и аистов. Наводнение 1984 г. затронуло всю высокую пойму и способствовало повышению рыбопродуктивности водоемов. Последующие годы были максимальными по числу гнездящихся пар журавлей и аистов за все годы наблюдений. После пика обводнения большинство гнезд дальневосточного аиста и японского журавля находилось на увлажненной осадками надпойменной террасе. Последующий пик засухи пришелся на 2001–2003 гг. В это время число размножающихся журавлей и аистов снизилось до минимума [Игнатенко и др., 2005]. В засушливый период большинство гнезд и территориальных пар дальневосточного аиста, японского и даурского журавлей располагалось в поймах малых рек, в то время как обширные площади надпойменной террасы утратили значение как места гнездования. Соответственно, в засушливые периоды увеличивается значение долин

слабопроточных рек как наиболее обводненных и устойчивых гнездовых участков [Парилов и др., 2006].

Таким образом, редкие птицы Хинганского заповедника функционально связаны с водными и пойменными экосистемами в пойме Буреи. Ухудшение условий существования может привести к сокращению численности птиц. Исследователи отмечали, что отрицательный эффект от гидростроительства может усилиться в засушливые периоды [Сапаев, Воронов, 1979]; подобное воздействие может быть минимизировано реализацией экологических попусков. В частности, экологические попуски помогут сохранить экосистемы слабопроточных рек, имеющих важную роль для гнездования редких птиц в периоды засухи.

До строительства плотин в бассейне Буреи обитало 36 видов рыб. После зарегулирования состав ихтиофауны Бурейского водохранилища представлен 27 видами пресноводных рыб, в нижнем бьефе видовой состав сократился до 20 видов [Научный социально-экологический мониторинг, 2008]. В частности, из бассейна Буреи, как из бассейна Зеи, выше плотин ГЭС исчезли популяционные группировки кеты (*Oncorhynchus keta*). Формирование водохранилища Бурейской ГЭС привело к значительному снижению в зоне водохранилища популяции эндемика бассейна верхнего течения Буреи хариуса бурейского (*Th. burejensis*) [Антонов, 2014]. Водоохранилище Бурейской ГЭС и нижнее течение Буреи не имеют рыбохозяйственного значения, а естественные условия обитания рыб существенно нарушены при регулировании стока. Следует отметить, что интересы рыбного хозяйства при строительстве и эксплуатации Бурейского гидроузла обеспечиваются строительством Ануйского рыбоводного завода в Хабаровском крае, который направлен на компенсацию ущерба ихтиофауне в бассейне Буреи [Научный социально-экологический мониторинг, 2008]. В соответствии с согласованным рыбохозяйственными органами и утвержденным проектом Бурейского гидроузла, рыбохозяйственные попуски из водохранилища не предусмотрены [Ленгидропроект, 2009].

Для оценки и минимизации воздействия Бурейских гидроузлов на водные экосистемы Буреи и, в частности, экосистемы Хинганского заповедника следует применять такие меры, как реализация экологических попусков и проведение гидрологического мониторинга.

3.3 Определение экологических попусков из водохранилищ на реке Бурей

Для сокращения негативного влияния регулирования стока и сохранения водных и пойменных экосистем водный режим в теплое время года должен быть максимально приближен к естественному путем реализации экологических попусков из водохранилищ. Экологические попуски должны промывать протоки и нерестилища и старичные озера, повышать плодородие пойменных территорий и поддерживать близкий к естественному водный режим водно-болотных угодий.

Для оценки экологического попуска из водохранилищ на Бурее проанализированы наводнения при естественном водном режиме и регулировании стока и определены рекомендации по реализации экологических попусков. Обоснование и полученные результаты опубликованы в статье [Nikitina et al., 2020]. Использован ряд среднесуточных расходов воды гидрологического поста г/п Малиновка (80 км от устья Буреи, ниже Бурейской и Нижне-Бурейской ГЭС), за период 1957–2017 гг. Условно-естественный водный режим проанализирован по данным 1957–1999 гг. Для определения экологических попусков выявлены расходы воды р. Бурей, соответствующие отметкам уровней выхода воды на пойму, а также величина расхода, обеспечивающего благоприятные условия обводнения поймы. Проведен сравнительный анализ наводнений при естественном водном режиме и регулировании стока и определены рекомендации по реализации экологических попусков. При установлении экологического стока (попуска) качество воды не рассматривается, поскольку, в соответствии с

природоохранным законодательством, качество воды должно отвечать нормативным требованиям [Дубинина и др., 2009].

3.3.1 Анализ наводнений при естественном водном режиме

При естественном водном режиме река была многоводна в теплый период года и маловодна зимой, когда почти полностью перемерзала. Основное питание река получает в летний период от дождей. Для Буреи характерно чередование резко выраженных подъемов и спадов воды в течение теплого периода. В теплую часть года наблюдалось до 5–7 паводков, наиболее значительные проходят в июле или августе. Большие наводнения от паводков были характерны для нижнего течения Буреи. Подъемы уровня воды при больших паводках достигали 6–10 м и более над предпаводочными уровнями воды, вызывая затопление населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий [Ресурсы поверхностных вод, 1966]. Продолжительность затопления высокой поймы при естественном водном режиме составляла около 10 дней. Озера первой надпойменной террасы, лежащие на уровне высокой поймы (оз. Байкал, Перешеечное, Долгое), в условиях естественного режима стока заполнялись водами Буреи при паводках с обеспеченностью стока менее 20%. Во время высоких паводков воды Буреи текли к югу в направлении озера Байкал, Кривое, Круглое и р. Ярчиха и далее к озерам Яценково, Брусилowo и др., расположенных на первой надпойменной террасе (см. рис. 3.4). Водный режим других озер надпойменной террасы (Косое, Клешенское) определяется преимущественно выпадающими осадками [Сапаев, Воронов, 1979].

За 48-летний период наблюдений на момент 1966 года амплитуда колебания уровня воды в пункте Каменка (Малиновка) года 1%-ной обеспеченности составила 870 см, в год 50%-ной обеспеченности 530 см. Большие наводнения приурочены к определенным периодам, чередующимся в среднем через 10–11 лет [Ресурсы поверхностных вод, 1966]. Так, высокие паводки на Буреи проходили в 1961, 1971, 1972, 1975, 1976 и 1984 гг.

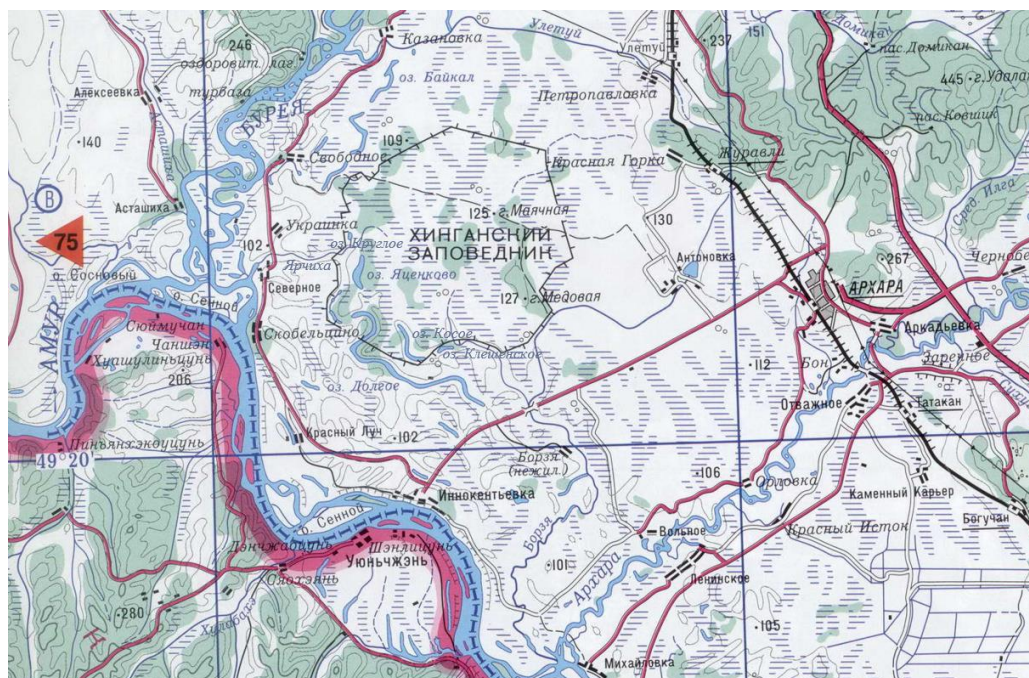


Рисунок 3.4. Схема расположения водных объектов в Антоновском лесничестве Хинганского заповедника

Промывной режим естественных условий препятствовал быстрому зарастанию пойменных озер. Воды Буреи поступали в старичные озера и текли к югу в Амур. Когда высокий уровень Амура создавал подпор высокому паводку на Бурею, происходило затопление низких уровней первой надпойменной террасы Буреи [Сапаев, Воронов, 1979].

При выдающемся паводке 1972 г. подъем уровня воды составил почти 9 м. Максимальные расходы достигли $17\,700\text{ м}^3/\text{с}$ в июле; высокие расходы величиной более $10\,000\text{ м}^3/\text{с}$ наблюдались на протяжении пяти дней.

В августе 1984 г. произошло последнее крупное наводнение при естественном водном режиме. Высокий уровень Амура создал подпор высокому паводку на Бурею. Поймы Амура, Буреи и Ярчихи были затоплены, уровень воды в пойменных озерах Круглом, Брусилковском, Долгом был очень высоким. Воды Буреи соединились с водами озера Долгое [Дарман, 1986]. Наводнение затронуло высокую пойму Буреи и способствовало повышению рыбопродуктивности ее водоемов после засухи, пик которой пришелся на 1980, 1981 гг. Максимальные расходы р. Бурея – г/п Каменка составили 5270–

7630 м³/с (Н=529–560 см) с 5 по 8 августа, 5100–5390 м³/с (Н=519–536 см) с 19 по 20 августа (см. рис. 3.5). Количество местных осадков составило 170 мм за август при норме 143 мм [Гидрометцентр России, 2020]. Годы после наводнения были максимальными по числу гнездящихся пар журавлей и аистов за весь период наблюдений [Игнатенко и др., 2005].

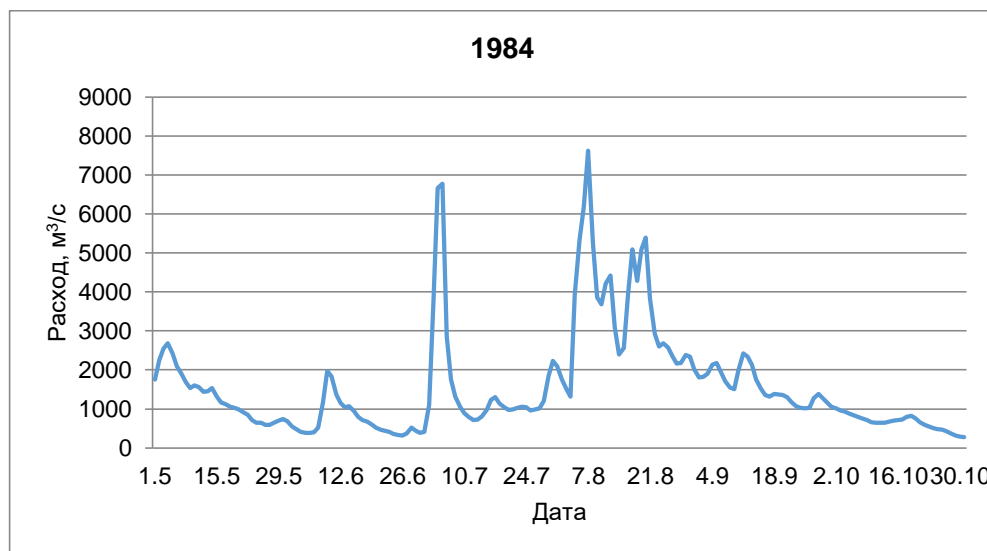


Рисунок 3.5. Гидрограф наводнения 1984 года

Анализируя условия естественного водного режима, можно сделать вывод, что обводнение озер и других водно-болотных угодий в пойме Буреи обеспечивает сочетание следующих условий:

1. Высокий уровень Амура
2. Высокие уровни Буреи
3. Продолжительное и обильное выпадение местных осадков.

При наводнении 1984 г. озера были промыты от макрофитов, из них на несколько лет исчез лотос Комарова. Можно предположить, что промывание озер обеспечило прохождение волны паводка с расходами более 7000 м³/с в сочетании с высоким уровнем Амура и выпадением сверхнормативного количества осадков. Таким образом, вероятная величина промывающего озера и малые реки расхода р. Бурей – г/п Малиновка при условии стояния высоких уровней на Амуре составляет 7000 м³/с.

3.3.2 Анализ наводнений при регулировании стока

После зарегулирования стока величина проходящих по Буреи наводнений снизилась.

В 2013 г. в бассейне Буреи отмечалась повышенная водность, однако летний паводок не был выдающимся: объем притока за июль – август составил $13,0 \text{ км}^3$. Водохранилище сдержало максимальные расходы, после чего сбросы воды были растянуты во времени и характеризовались сниженными значениями расходов (см. рис. 3.6). Обеспеченность максимального среднесуточного притока приближенно оценена в 80% [Шалыгин, Дугина, 2015]. Максимальный расход р. Бурей – г/п Малиновка (Каменка) составил $3800 \text{ м}^3/\text{с}$ 19–20 августа [Гидрограф Бурейской ГЭС, 2020].

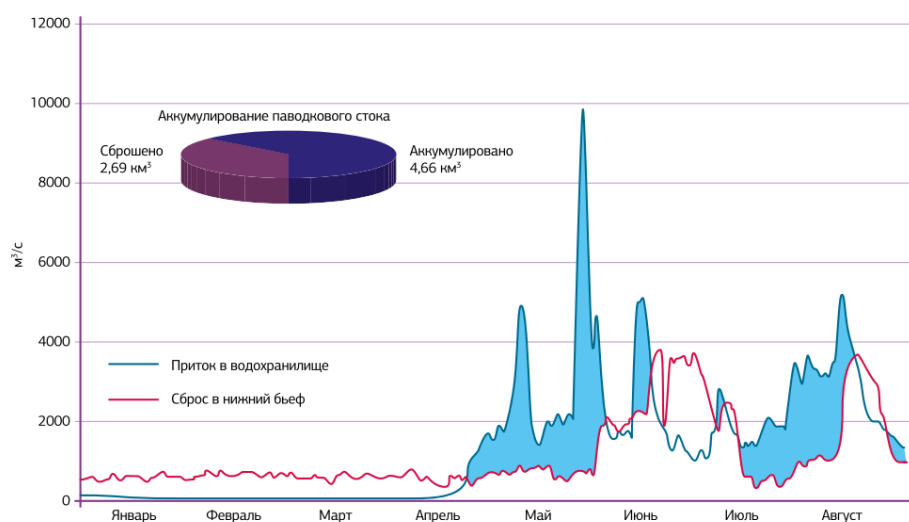


Рисунок 3.6. Приток и сброс воды из Бурейского водохранилища в 2013 г.

Натурные наблюдения сотрудников заповедника в сочетании с применением космического снимка высокого разрешения RapidEye Ortho позволило определить, что во второй половине августа воды Буреи соединились с оз. Долгое (см. рис. 3.7). Величина уровня р. Буреи в г/п Малиновка составила 395 см, расход — $3690 \text{ м}^3/\text{с}$, сброс воды из Бурейского водохранилища — $3668 \text{ м}^3/\text{с}$ [Гидрограф Бурейской ГЭС, 2020].

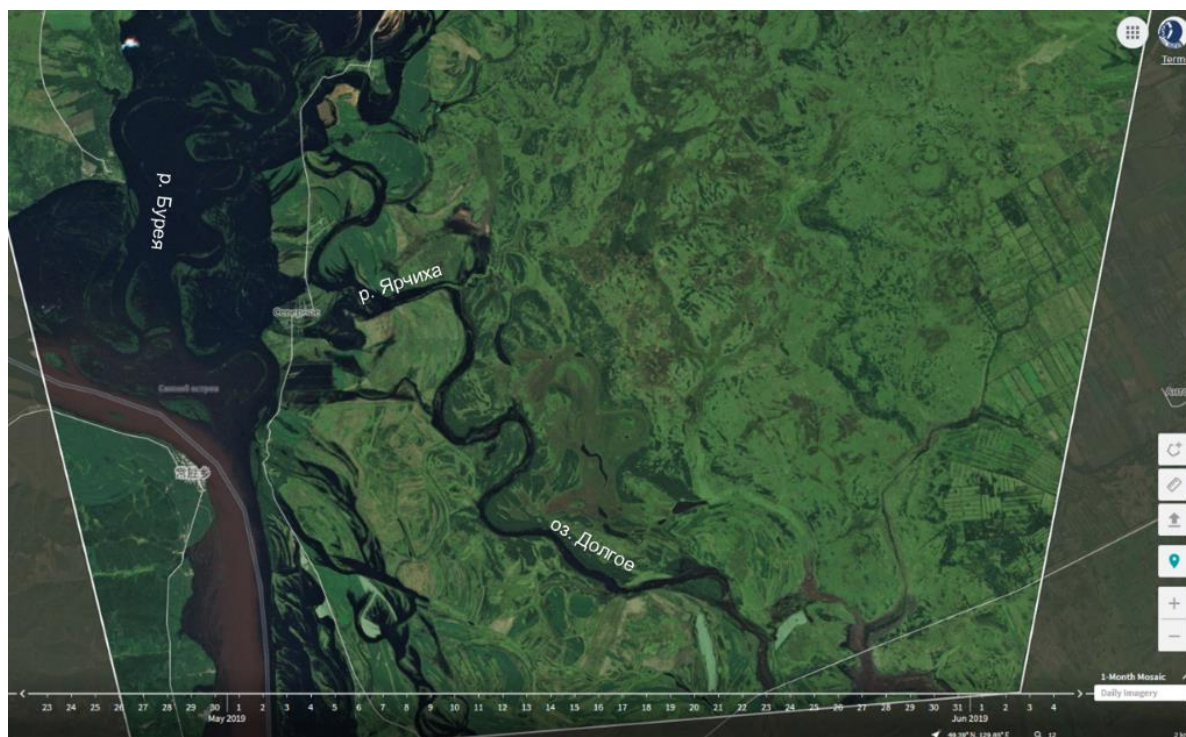


Рисунок 3.7. Согласно снимку RapidEye Ortho, 20 августа 2013 г. воды Буреи поступали в озеро Долгое через реку Ярчиха

Сочетание условий: (1) высокого уровня Амура (выше 800 см над нулем поста г/п Иннокентьевка) на протяжении всего августа, (2) сверхнормативного выпадения осадков (324 мм за август при норме 143 мм для м/ст Архара) и (3) сброса воды из Бурейского водохранилища величиной 3700 м³/с, обеспечившего уровни воды Буреи в г/п Малиновка около 400 см, привело к обводнению заповедных озер, но не их промыванию. В результате регулирования стока срезка максимального уровня воды у пункта Малиновка составила около 0,5 м [Шалыгин, Дугина, 2015].

В 2019 г. на Бурее наблюдались высокие уровни воды (выше 400 см в пункте Малиновка) и Амуре (выше 800 см в пункте Иннокентьевка). В сочетании со сверхнормативным количеством осадков (225 мм в июле в сравнении со 130 мм нормы) они обеспечили обводнение пойменных озер. Максимальные сбросы составили от 5157 м³/с (28 июля) до 5602 м³/с (9 августа) [Гидрограф Бурейской ГЭС, 2020], и промывание озер не произошло

за счет срезки максимальных уровней плотинами и растянутости пика паводка во времени (см. рис. 3.8).

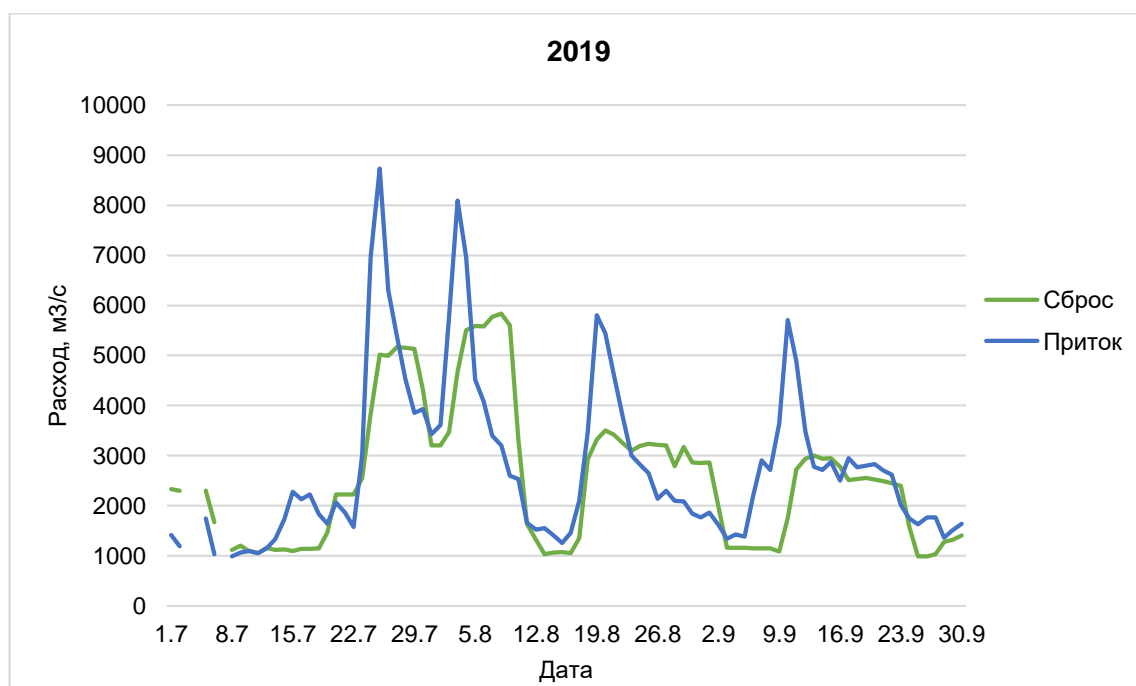


Рисунок 3.8. Приток и сброс воды из Бурейского водохранилища в многогодный период 2019 г.

Несмотря на большую величину расходов р. Бурейя – г/п Малиновка за счет сбросов из Бурейских водохранилищ в 2019 г. (см. рис. 3.9 А), наводнение 2013 г. оказалось сильнее. Это подтверждает роль высоких уровней Амура в формировании условий обводнения пойменных территорий в бассейне Нижней Буреи. Так, уровни воды р. Амур – г/п Иннокентьевка на протяжении продолжительного времени многогодного периода были выше в 2013 г. в сравнении с 2019 г., что обусловило значительное обводнение заповедных ВБУ в 2013 г.

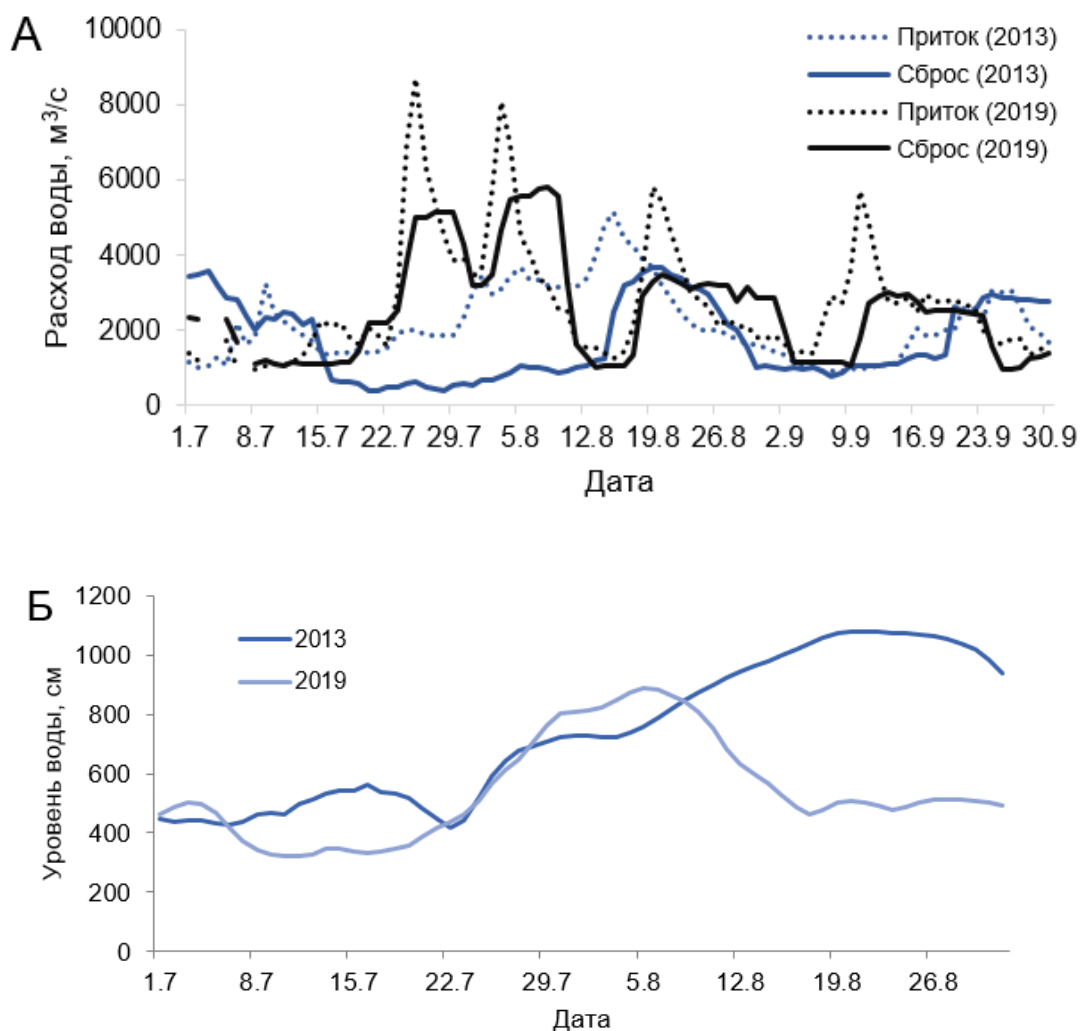


Рисунок 3.9. (А) Приток и сброс воды на Бурейской ГЭС в многоводный период 2013 и 2019 гг.; (Б) Уровни воды р. Амур – г/п Иннокентьевка в 2013 и 2019 гг.

3.3.3 Рекомендации по реализации экологических попусков

Во «Временных правилах использования водных ресурсов Бурейского водохранилища на р. Бурее» указано, что в целях обеспечения экологической безопасности территорий, расположенных в пойме реки Амур, могут вводиться экологические попуски [Ленгидропроект, 2009].

Экологический попуск Буреи должен быть направлен на периодическое обводнение поймы и находящихся в ее пределах пойменных озер и проток, поступление речных вод в озера и предотвращение их зарастания. При определении режима экологического попуска следует ориентироваться на периодичность крупных паводков при естественном водном режиме,

обеспечивавших обводнение заповедных водно-болотных угодий и промывание старичных озер.

В интересах охраны водных экосистем предложены следующие рекомендации по реализации экологических попусков из водохранилищ на Бурее:

1. Для обводнения водно-болотных угодий и промывания старичных озер и проток в пойме Буреи в периоды стояния высоких уровней Амура (выше 800 см над нулем поста г/п Иннокентьевка) в августе следует обеспечить сбросы воды величиной от 3700 до 7000 м³/с на протяжении 10–15 дней. Величина попуска должна определяться с учетом текущего уровня Амура.
2. Для промывания озер продолжительность максимальных сбросов 6000–7000 м³/с должна составлять 2–3 дня. Достаточная величина промывающего расхода может быть уточнена в ходе гидрологического мониторинга. Ограничение расхода величиной 7000 м³/с обусловлено необходимостью обеспечения условий незатопления населенных пунктов.
3. Экологические попуски должны быть реализованы не реже чем раз в 6–7 лет. Такая периодичность превышает частоту крупных наводнений при естественном водном режиме, которые происходили раз в 10–11 лет. С учетом снижения величины наводнений сокращение временного промежутка будет являться мерой возмещения, направленной на сохранение водно-болотных угодий в условиях регулирования стока.

Совместно с М. П. Париловым предложены индикаторы эффективности экологических попусков. Индикаторами могут служить площадь озер и скорость их зарастания, промывание русел и пойменных озер от органических остатков, кормовая база птиц, т. е. обилие рыб, населяющих водно-болотные угодья, численность аистов и журавлей. Эффективность экологических

попусков может быть оценена при гидрологическом мониторинге, который описан в следующем разделе.

Реализация попусков на Бурею поможет сохранить водно-болотные угодья Восточно-Азиатско-Австралийского пролетного пути, способствуя сохранению популяции редких и исчезающих видов птиц. В частности, экологические попуски помогут снизить отрицательный эффект от гидростроительства в засушливые периоды и сохранить гнездопригодные участки птиц. Также экологические попуски будут опосредованно способствовать улучшению условий естественного воспроизводства рыб в Амуре ниже впадения Буреи за счет обводнения поймы и нерестилищ.

В июле – августе наполнение Бурейского водохранилища ограничено отметкой 254,0 м для обеспечения неподтопления поселка Чекунда [Ленгидропроект, 2009], что является дополнительным стимулом для реализации экологического попуска для сохранения экосистем в нижнем бьефе Бурейских гидроузлов. Дополнительным эффектом реализации экологических попусков станет сохранение поймы Нижней Буреи и Амура ниже впадения Буреи от антропогенного освоения, в первую очередь, от развития сельского хозяйства и застройки. Наряду с минимизацией негативного влияния регулирования стока на пойменные экосистемы это поспособствует естественной адаптации бассейна Амура к климатическим изменениям и прохождению крупных наводнений.

Для повышения эффективности экологических попусков и улучшения водообмена Буреи со старичными озерами Антоновского лесничества следует расширить водопропускные трубы под дорогой, пересекающей реку Ярчиха. Это позволит увеличить пропускную способность Ярчихи, через которую вода Буреи заходит в систему заповедных старичных озер.

Разработанные предложения по реализации экологических попусков будут рекомендованы Росводресурсам для обсуждений, уточнений, включения в Правила использования водных ресурсов водохранилищ Буреи и дальнейшей реализации.

3.4 Организация гидрологического мониторинга в Хинганском заповеднике

Наводнения являются средообразующим фактором, оказывающим воздействие на экосистемы водно-болотных угодий Хинганского заповедника. Однако степень воздействия наводнений на экосистемы заповедника ранее носила оценочный характер. На водных объектах велись периодические наблюдения: сотрудница заповедника И. В. Балан с 1998 г. измеряла уровни воды с апреля по октябрь на оз. Клешенское, а также на р. Борзя, протекающей вблизи озера, и на болоте, расположенном рядом с озером.

В 2019 г. при инициативе и поддержке Всемирного фонда дикой природы (WWF России) организован и с 2020 г. реализуется мониторинг на озерах Хинганского заповедника. Мониторинг позволит узнать особенности водных объектов и количественно оценить воздействия паводков и наводнений на экосистемы заповедника, в первую очередь, на старичные озера, являющиеся местом обитания и рыб и амфибий и составляющих кормовую базу для журавлей и аистов. Данные мониторинга будут использованы для анализа изменений среды обитания редких видов птиц и позволят разработать предложения по сохранению их популяций.

Для мониторинга предложены следующие характеристики: уровень воды, температура воды, состояние береговой кромки, глубины озер (см. табл. 3.1). Для возможности оценить влияние регулирования стока оборудован уровенный пост на озере Долгое, имеющее периодическую связь с р. Бурей при прохождении крупных паводков. Для выявления климатических изменений и их влияния на озера оборудован уровенный пост на оз. Клешенское.

Таблица 3.1. Характеристики, предложенные для гидрологического мониторинга

Характеристика	Периодичность измерений
Уровень воды	Раз в сутки в теплый период года (май – октябрь)
Температура воды	
Состояние береговой кромки	Раз в пять лет (осень) и после крупных наводнений
Глубины озера (батиметрическая съемка)	

С помощью автоматических регистраторов (логгеров) НОВО U-20L на оборудованных на озерах Долгое и Клешенское гидрологических постах проводятся измерения уровня и температуры воды. Уровень воды позволит составить характеристику водного режима озер в теплое время года, выявить колебания уровня, обусловленные осадками, а в случае наводнений — поступлением стока Буреи. Температура воды оказывает влияние на протекающие в водоеме физические, химические, биохимические и биологические процессы, во многом определяет кислородный режим и интенсивность процессов самоочищения. Измерения уровня и температуры воды в теплое время года производятся раз в сутки (в 8 часов утра). Такая периодичность обусловлена медленной скоростью изменения уровня озер (в сравнении с реками).

В сентябре 2019 г. проведены полевые выезды для установки логгеров и автоматической регистрации уровня воды в озерах Долгое и Клешенское. Третий логгер был установлен в нежилом помещении на кордоне озера Клешенское для регистрации атмосферного давления, необходимого для дешифрирования показаний автоматических регистраторов, установленных в воде.

Для выявления динамики водных объектов проведена батиметрическая съемка: с помощью эхолота Lowrance Hook 5 выполнены промеры глубин вдоль серии поперечных профилей озера Долгое.

В качестве интегрального показателя состояния старичных озер может использоваться морфологическое описание береговой кромки. Оценку изменения береговой линии можно проводить при помощи съемки с квадрокоптера, что позволит быстро и эффективно измерить площади, занятые растительными объектами на акватории озера. В сентябре 2019 г. такая съемка была проведена. В связи с медленным изменением береговой кромки наблюдения следует проводить раз в пять лет. В случаях прохождения крупных наводнений после их окончания следует проводить уточняющую съемку.

В сентябре 2019 г. с помощью съемки озера Долгое с квадрокоптера были также собраны данные по распространению лотоса Комарова на озере (см. рис. 3.10). По мнению сотрудников заповедника, лотос является индикаторным видом, иллюстрирующим снижение проточности в результате зарастания озера (см. рис. 3.11). Изучение его многолетней динамики позволит оценить процессы, связанные с зарастанием озер заповедника.

Автор исследования участвовала в организации и проведении перечисленных выше работ.



Generated with [Agisoft Photos](#)

Рис. 3.10. Съемка колоний лотосов с помощью квадрокоптера

© М. Париллов / Хинганский заповедник



Рисунок 3.11. Зарастание озера Долгое лотосом

© О. Никитина

В октябре 2019 г. сотрудники заповедника также провели измерение глубин озера 3-е Лебединое Лебединского лесничества (см. рис. 3.12) при помощи эхолота Lowrance Hook 5 и картирование береговой линии озера с помощью квадрокоптера. Озеро 3-е Лебединое может служить модельным объектом для выявления влияния наводнений на состояние старичных озер. Так, наводнение 2013 г. «промыло» озеро и изменило его очертания, оторвав и унеся с собой края сплавин. Таким образом, регулирование стока на озерах Лебединского лесничества в пойме Амура при наводнении 2013 г. сказалось ниже, чем на озерах в пойме Буреи, в зоне влияния Бурейских плотин (см. рис. 3.12). Полученные данные батиметрической съемки позволят количественно оценить воздействие наводнения на озеро и станут основой для проведения дальнейших исследований зарастания и заиливания озер Хингано-Архаринской низменности.

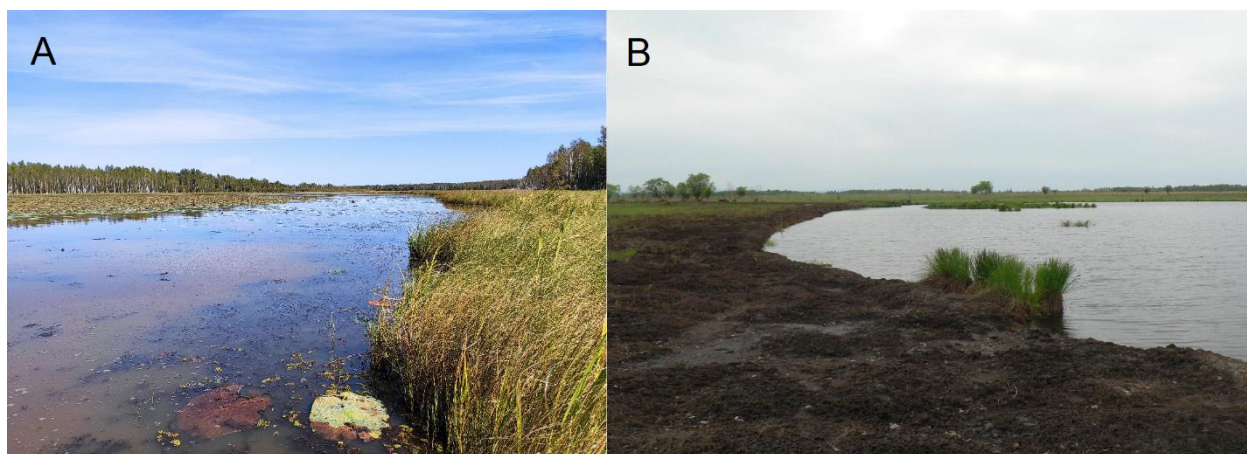


Рисунок 3.12. (А) Старичное озеро Антоновского лесничества в пойме Буреи, не промытое наводнением 2013 г. © О. Никитина; (В) старичное озеро Лебединского лесничества в пойме Амура, промытое наводнением 2013 г. © М. Париллов

В дальнейшем рекомендуется организовать дополнительный пункт наблюдений на р. Ярчиха, левого притока Буреи. Через реку Ярчиха при прохождении высоких паводков происходит поступление воды Буреи в цепь старичных озер, включая озеро Долгое. Гидрологические наблюдения в устьевом участке Ярчихи позволят определить, при каких уровнях воды начинается подпор со стороны Буреи и вода через реку Ярчиха поступает в озеро Долгое. Полевые гидрологические исследования могут быть дополнены материалами космических снимков или съемки местности с помощью беспилотных летательных аппаратов для выявления условий, при которых происходит обводнение старичных озер и их связь с Буреей. Вероятно, расход $7000 \text{ м}^3/\text{с}$ обеспечит водообмен Буреи со старичными озерами и протоками даже в условиях средних и низких уровней Амура, что может быть уточнено в ходе гидрологического мониторинга.

Для анализа изменений среды обитания редких аистов и журавлей и разработки предложений по сохранению их популяций данные гидрологического мониторинга следует сопоставлять с численностью птиц, распределением их гнезд по территории и биопродуктивностью озер.

Выводы

Регулирование стока ухудшает условия обитания птиц, попадающие под влияние плотин на Бурее. Прежде всего это относится к Рамсарскому угодью Хингано-Архаринской низменности, имеющее важное значение для гнездования редких видов птиц — дальневосточного аиста, японского и даурского журавлей. Для сокращения негативного влияния регулирования стока необходима реализация экологических попусков.

Составлены рекомендации по реализации экологических попусков из Бурейских водохранилищ. Для обводнения водно-болотных угодий, промывания старичных озер и проток в пойме Буреи рекомендуется обеспечить экологические попуски величиной 3700–7000 м³/с на протяжении 10–15 дней в августе с учетом текущего уровня Амура. Для промывания озер продолжительность попусков 6000–7000 м³/с должна составлять 2–3 дня. Экологические попуски должны быть реализованы не реже чем раз в 6–7 лет. Они помогут сохранить Рамсарские водно-болотные угодья Хингано-Архаринской низменности и обитающие в их пределах популяции редких видов птиц, при этом обеспечивая условия незатопления населенных пунктов. Также экологические попуски будут опосредованно способствовать улучшению условий естественного воспроизводства рыб за счет обводнения поймы и нерестилищ. Дополнительным эффектом реализации экологических попусков станет сохранение поймы Нижней Буреи и Амура от антропогенного освоения, что поспособствует адаптации бассейна Амура к климатическим изменениям и прохождению крупных наводнений.

Эффективность экологических попусков может быть оценена при гидрологическом мониторинге. В 2019 г. организован и с 2020 г. реализуется мониторинг на озерах Хинганского заповедника, что позволит оценить динамику водных объектов под влиянием регулирования стока и климатических изменений.

ГЛАВА 4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ БАССЕЙНА АМУРА

Эта заключительная глава обобщает изложенные материалы, предлагает стратегию сохранения водных экосистем Амура и определяет комплекс целенаправленных природоохранных мер. С этой позиции рассмотрена важность учета экологических особенностей речного бассейна, учет типа водного режима и его разных фаз, дополнительных критериев и показателей при оценке экологического стока. Рассматривается роль создания особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в сохранении водных экосистем и их биоразнообразия. Подчеркивается важность бассейновой оценки и учета кумулятивного влияния плотин на весь речной бассейн, а также роль экологического попуска при планировании и строительстве новых плотин.

4.1 Оценка значимости экологического стока и учет факторов состояния водных и пойменных экосистем в масштабе речного бассейна

4.1.1 Учет ценных экосистем бассейна при определении экологического стока

В связи с тем, что речной сток — интегральный фактор состояния водной и пойменных экосистем, определение и реализация экологического стока (попуска) является основой их сохранения [Дубинина, 2001]. Основным биологическим критерием пределов допустимости регулирования режима речного стока является сохранение биологического разнообразия и биологической продуктивности на всех уровнях организации экосистемы [Новикова и др., 2005].

Оценку водного биоразнообразия и необходимого для его поддержания водного режима и экологического стока следует проводить на раннем этапе водохозяйственного планирования в составе схем комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО), в т. ч. для трансграничных рек. Согласно [Дубинина и др., 2009], определение

экологического стока следует проводить сначала в целом для бассейна, а затем для отдельных участков выше по течению, т. е. от устья к истоку, в соответствии с гидрографическим и/или водохозяйственным районированием. Частные значения допустимого безвозвратного изъятия стока, определяющие величину экологического стока, не должны превышать его общую величину для бассейна.

Водный режим реки определяет не только ее экологическое состояние, но и состояние пойменных экосистем, в том числе расположенных в их пределах речных протоков, старичных и пойменных озер, водно-болотных угодий, а также подземных вод. Поэтому при определении экологического стока следует выявить особенности водных и пойменных экосистем и сформулировать задачи экологического стока (попуска) по обеспечению условий их устойчивого функционирования. При этом режим экологического стока должен быть направлен на интегральное сохранение водной экосистемы, а не только на сохранение видов, имеющих экономическое значение, например, промысловых видов рыб. Поэтому при определении роли экологического стока (попуска) для сохранения водных и пойменных экосистем важно учитывать такие факторы состояния водных и пойменных экосистем как:

- температурный режим, обеспечивающий нормальные условия воспроизводства гидробионтов;
- сток наносов, определяющий русловые процессы и формирование местообитаний водных и околоводных видов флоры и фауны;
- расположение в пойме реки особо охраняемых природных территорий и ценных водно-болотных угодий международного значения;
- расположение местообитаний редких и исчезающих видов флоры и фауны в водных и пойменных экосистемах реки.

Эти выводы подтверждают исследования [Новикова и др., 2005], согласно которым при обосновании нормирования режима речного стока

существенным биологическим ограничением является природоохранная ценность пойменных и прибрежных территорий, которая определяется наличием ООПТ, реликтовых, редких и исчезающих видов и сообществ, а также ценных для селекции видов флоры и фауны (генофонд).

Таким образом, при установлении экологического стока (попуска) следует выявить особо ценные водные и пойменные экосистемы речного бассейна, в частности, нерестилища ценных и промысловых видов рыб, особо охраняемые природные территории и ценные водно-болотные угодья в поймах рек, свободно текущие и малоосвоенные реки, имеющие высокую экологическую значимость и требующие охраны. Особое внимание следует уделить функциям малонарушенных и свободно текущих рек и перспективе их освоения.

4.1.2 Сохранение свободного течения рек для поддержания режима экологического стока

Водный режим свободно текущего Амура является важным фактором поддержания благоприятного водного режима его притоков. Так, уровень воды Амура определяет выход воды Буреи на пойму и, соответственно, определяет режим экологического стока и попусков Буреи. Сохранение экологического каркаса речной долины обеспечивает свободное сообщение между водными экосистемами Амура, сохранность его русловых и пойменных местообитаний, миграцию рыб и других гидробионтов.

Идея зарегулирования стока Амура в целях защиты от наводнений считалась актуальной, и во второй половине XX в. Россия и Китай предпринимали совместные шаги по реализации этих задач. В частности, была разработана «Схема комплексного использования водных ресурсов пограничных участков рек Аргунь и Амур» (1986–1994 гг.), предполагавшая зарегулирование стока основного русла Амура. Однако с 2000-х гг. стала расти обеспокоенность экологическим состоянием Амура, в частности,

загрязнением его вод и состоянием рыбных ресурсов, и возросло понимание положительной экологической роли летних паводков как фактора, формирующего эти ресурсы [Сапаев, 2006]. В настоящее время предложения по зарегулированию основного русла Амура более не актуальны [Схема..., 2013].

Другой пример, показывающий важность сохранения свободно текущих рек, рассмотрен для бассейна Зеи во второй главе. Так, свободно текущие притоки Зеи — рр. Селемджа, Томь и др. — способствуют оптимизации как водного, так и термического режимов для воспроизводства водных биоресурсов в нижнем течении Зеи при регулировании стока плотиной Зейской ГЭС. Это указывает на важность сохранения свободно текущих притоков от регулирования стока в будущем. Помимо этого, долины крупных водотоков являются важнейшими связующими элементами экологического каркаса территории Амурского бассейна. Таким образом, важной мерой защиты водного биоразнообразия в бассейне Амура должно быть сохранение основного русла Амура и его не зарегулированных притоков свободно текущими.

4.1.3 Роль особо охраняемых природных территорий в сохранении речных экосистем

Для охраны свободно текущих притоков Амура можно применять такую меру, как создание особо охраняемых природных территорий. В бассейне Амура применяются два метода охраны экосистем с помощью создания особо охраняемых природных территорий. Первый подход — создание ООПТ на территориях, которым угрожает потенциальное гидростроительство. Другой подход — создание ООПТ в качестве меры компенсации от гидростроительства.

В бассейне Амура есть примеры превентивной охраны рек и их бассейнов. Так, в 1998 г. в Амурской области для охраны рек Нора и Селемджа

был создан Норский заповедник — на участке, где в начале 1990-х годов было предложено создание Дагмарской (Селемджинской) ГЭС, в болотистой низине ниже слияния Селемджи и Норы. Кроме того, в 2015 г. вдоль рек Шилка, Аргунь и Амур создан Верхнеамурский заказник [Корсун, 2018]. Его территория охватывает те участки, где неоднократно предлагалось строительство Транссибирской плотины на р. Шилка (см. рис. 4.1). В результате создания Верхнеамурского заказника последующее планирование и развитие водохозяйственной инфраструктуры законодательно запрещено [Никитина и др., 2019].

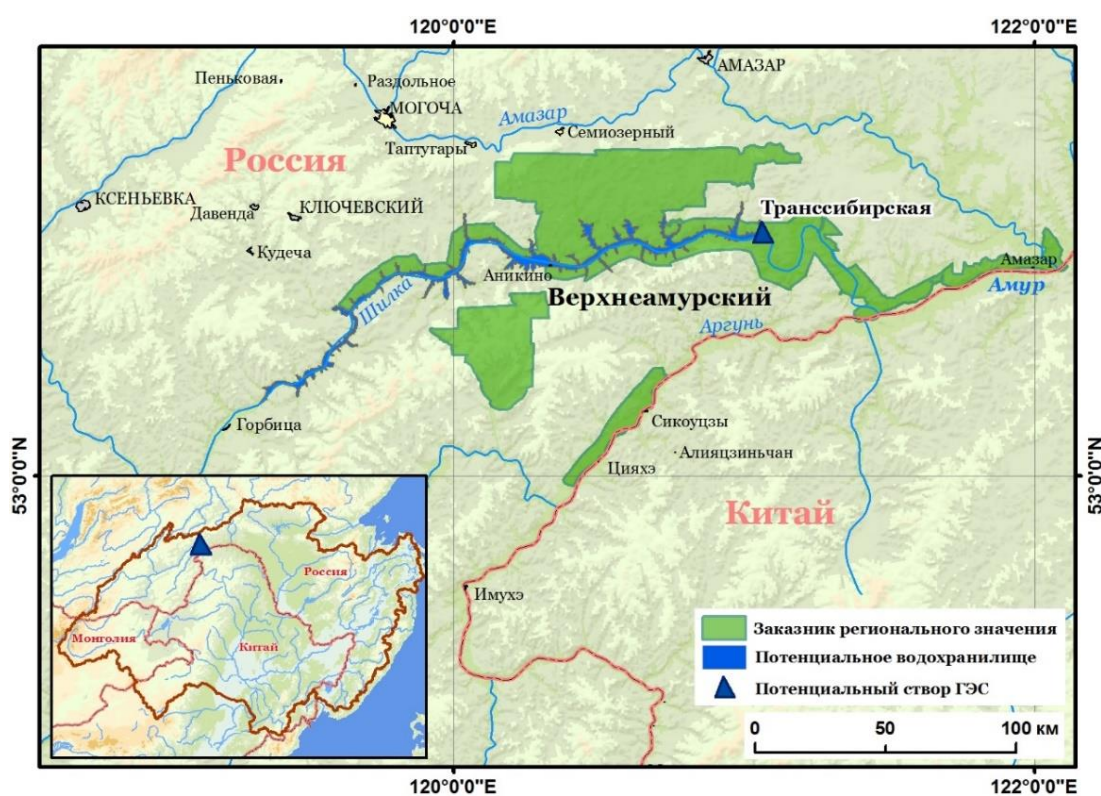


Рисунок 4.1. Создание Верхнеамурского заказника защищает бассейн р. Шилка от потенциального строительства Транссибирской ГЭС

Примером создания ООПТ в качестве меры компенсации может послужить созданный в 1963 г. Зейский заповедник, примыкающий к территории Зейского водохранилища. Основной задачей заповедника является сохранение эталонного участка южно-таежной подзоны хвойных лесов и изучение влияния Зейского водохранилища на экосистемы. На территории

заповедника есть стационарная площадка для наблюдения за влиянием водохранилища Зейской ГЭС на природные комплексы.

Другим примером может служить создание в бассейне р. Буря в качестве меры компенсации строительства Нижне-Бурейской ГЭС природного парка «Бурейский» площадью 132 тыс. га. В ходе реализации программы «Бурейский компромисс» при участии гидроэнергетической компании «РусГидро», правительства Амурской области, представителей проекта ПРООН-ГЭФ и экологов в парке были установлены подкормочные площадки для отвлечения животных из зоны затопления. При реализации программы были установлены искусственные гнезда для утки-мандаринки (*Aix galericulata*), что было направлено на компенсацию утраты мест обитания этого вида в результате затопления водохранилища. Также в нижнем бьефе Нижне-Бурейской ГЭС были установлены искусственные платформы для гнездования дальневосточного аиста (*Ciconia boyciana*). Редкие виды папоротников были перенесены из затапливаемых территорий в ботанический сад или соответствующие местообитания. Подобная программа была реализована впервые в России при строительстве крупной плотины [Бота, 2016]. Однако следует отметить, что программа не включила разработку мер, направленных на сохранение водных экосистем и населяющих их видов. Специальные исследования по определению режимов экологических попусков не проводились. Создание Бурейского парка нацелено, в первую очередь, на сохранение наземных экосистем, в основном не пострадавших от заполнения водохранилища и его последствий ниже по течению. В данном случае создание ООПТ не может считаться достаточной мерой для минимизации или возмещения негативных последствий эксплуатации плотин для водных экосистем.

Таким образом, создание ООПТ в качестве компенсационной меры имеет ограниченный эффект на сохранение водных экосистем. Этот тренд характерен и в мировом масштабе. Так, согласно Конвенции о биологическом разнообразии и заявленных целях в области биоразнообразия (так называемые

цели Аичи), к 2020 г. как минимум 17% водных экосистем суши должны быть сохранены путем эффективного управления связанных между собой ООПТ, обеспечивающих широкую репрезентативность экосистем. К настоящему времени количество водно-болотных угодий международного значения, охраняемых положениями Рамсарской конвенции, составляет более 2300 с площадью 2,42 млн км² [Aceman et al., 2020]. Для сравнения, в 1992 г. было выделено лишь 575 Рамсарских водно-болотных угодий. Однако сокращение водного биоразнообразия (см. главу 1) наряду с увеличением площади ООПТ заставляет усомниться в эффективности этой меры для сохранения водных экосистем и их биоразнообразия, что также отмечает [Pitcock et al., 2015].

К причинам, объясняющим низкую эффективность ООПТ в сохранении биоразнообразия водных экосистем, можно отнести:

- отсутствие интегрального бассейнового подхода к сохранению водных объектов при создании ООПТ;
- недостаточное сохранение мигрирующих водных и околоводных видов флоры и фауны в других местах их обитания за пределами ООПТ;
- недостаточный контроль за такими угрозами, как поступление загрязняющих веществ в водные объекты;
- недостаточно эффективное управление ООПТ, в т. ч. не нацеленное на сохранение водного биоразнообразия.

На эти причины указывают также работы [Abell et al. 2007; Bower, 2014]. Исследования населяющих озера Канады рыб [Chu et al., 2018] и растений водно-болотных угодий в Австралии [Adams et al., 2015] подтверждают, что особо охраняемая территория, нацеленная на сохранение водных экосистем, должна включать весь бассейн водного объекта (озера либо реки или ее притока), что, очевидно, может быть эффективным в случае их небольшой площади.

Для повышения эффективности особо охраняемых территорий в сохранении водного биоразнообразия следует предпринимать следующие меры:

1. Развивать мониторинг объектов водных и пойменных экосистем, с тем чтобы результаты наблюдений были использованы для оптимизации управления охраняемыми территориями и разработки программ по сохранению водного биоразнообразия.
2. Создавать охраняемые территории достаточного размера и конфигурации, с тем чтобы обеспечить связанность водных, пойменных и наземных экосистем.
3. Включать в программы управления ООПТ меры, направленные на сохранение водных местообитаний и их биоразнообразия, в т. ч. на поддержание естественного гидрологического режима, обеспечение хорошего качества воды, сохранение водной растительности.

4.2 Учет типа водного режима при определении экологического стока (попуска)

Режим экологического стока направлен на поддержание разных фаз водного режима, выполняющих экосистемные функции. При определении экологической значимости разных фаз водного режима можно опираться на классификации рек по типам водного режима. Например, по классификации рек Б. Д. Зайкова реки России и СНГ разделены на три группы:

1. С весенним половодьем
2. С летним половодьем и паводками
3. С паводочным режимом.

Внутри этих групп по характеру гидрографа выделяются реки с различными типами режима. Среди рек с летним половодьем выделяются

реки: дальневосточного типа (невысокое растянутое половодье с паводками муссонного генезиса, низкая зимняя межень); тянь-шаньского типа (невысокое растянутое половодье ледникового генезиса). Учет особенностей различных типов водного режима облегчит региональный подход к оценке экологического стока, в том числе малоизученных рек.

В предыдущих главах продемонстрировано, что для поддержания устойчивого функционирования рек дальневосточного типа в бассейне Амура важную экосистемную роль имеют максимальные расходы дождевых паводков, обеспечивающие процессы руслоформирования, обводнение поймы и повышение ее продуктивности, устойчивое функционирование ценных водно-болотных угодий — мест обитания редких видов фауны, промывание пойменных озер и протоков, компенсацию негативных последствий засух. Таким образом, минимальный и средний сток недостаточен для сохранения водных и пойменных экосистем в бассейне Амура и их экосистемных функций, а реализация санитарных попусков с малым объемом стока не в состоянии обеспечить устойчивое функционирование водных и пойменных экосистем в нижнем бьефе плотин.

В настоящее время для российской территории бассейна Амура в целом неактуальна проблема активного изъятия водных ресурсов, дефицита стока и превышения объемов его допустимого изъятия. При определении экологического стока и попуска следует сфокусировать внимание на допустимом сокращении величины максимального стока. Важными характеристиками максимального стока являются его объемы и расходы, время наступления и продолжительность максимальных расходов, а также их периодичность. Достаточная величина максимального стока должна, с одной стороны, обеспечивать экосистемные функции водных и пойменных экосистем, с другой — учитывать социально-экономические аспекты, в том числе защиту территорий от катастрофических наводнений.

При дальнейших оценках экологического стока следует принимать во внимание проблему дефицита водных ресурсов в Китае, увеличение объемов

переброски стока, водопользования и водопотребления в китайской части бассейна Амура. В частности, по оценкам [Мандыч, 2012], водопотребление в бассейне Сунгари к 2020 г. должно было возрасти на 46% в сравнении с 2005 г., достигнув 55% годового стока реки. В верховьях Амура современная водохозяйственная обстановка также характеризуется нарастающим дефицитом водных ресурсов [Болгов, Фролова, 2012; Болгов и др., 2012]. С 2009 г. на территории Китая осуществляется проект переброски части стока р. Аргунь (Хайлар) в оз. Далайнор, что приводит к изменению ее гидрологического режима р. Аргунь, в частности, снижению меженных расходов в 3–5 раз, сокращению повторяемости и продолжительности затопления поймы, и оказывает значительное влияние на экосистему поймы реки [Шаликовский и др., 2018; Никитина, 2015]. Ограниченность водных ресурсов в Китае будет стимулом для роста изъятия вод Амура [Воронов и др., 2011; Болгов и др., 2016; Горбатенко, 2018] и может стать ведущим фактором преобразования водных и пойменных экосистем в бассейне Нижнего Амура, превосходя влияние зарегулирования речного стока [Мандыч, 2012].

4.3 Экологические и социально-экономические аспекты наводнений в бассейне Амура и меры адаптации

Характерной чертой водного режима рек бассейна Амура является выраженное преобладание дождевого стока, достигающего 80% от годового стока [Шалыгин, Дугина, 2015]. Частые наводнения на Амуре и его притоках — типичные явления, обусловленные проявлением муссонности климата в восточной части Азии [Гарцман, 2008; Махинов и др., 2014]. В теплое время проходит 4–5 дождевых паводков, которые вызывают колебания уровней крупных рек до 6–8 м. Максимальные уровни характерны для июля – августа. По сравнению с другими регионами России на реках Дальнего Востока сезонные колебания стока особенно велики.

Наводнения на Амуре формируются на водосборах шести его притоков — рек Аргунь, Шилка, Зея, Бурея, Сунгари и Уссури. На экстремальность наводнений влияют не только максимальные расходы и уровни паводков на притоках, но и объем этих паводков [Махинов и др., 2014]. Паводки, сформированные в каждой отдельной области, могут привести к большому наводнению на Амуре. Значительные подъемы уровней воды случаются один раз в 2–3 года. При совпадении паводков на нескольких крупных притоках одновременно, что случается примерно один раз в 10–15 лет, происходит затопление не только поймы, но и прилегающей к ней равнинной территории [Ким, 1988]. При высоких паводках Амур разливается на десятки километров и образует взаимный подпор со своими притоками, обводняя их пойменные экосистемы и промывая старичные озера. Когда вода из Амура поступает в озера, на стыке речных и озерных вод образуются зоны высокой продуктивности [Сиротский, 1991; Богатов, 1994]. Паводки положительно влияют на воспроизводство рыбы, создают благоприятные условия для миграции проходных рыб, оставляют на пойме плодородный слой почвы [Фашевский, 2007]. Летние разливы на пойме и прогрев воды на ней создают высокий потенциал биологической продуктивности [Сапаев, 2006]. Поэтому паводки обеспечивают сохранение экосистем водных и пойменных экосистем Амура. При этом катастрофические наводнения могут приводить к смене луговых растительных сообществ, гибели растений и животных [Воронов, 2014]. Наводнения являются наиболее значительными из природных рисков и самым негативным фактором, влияющим на экономику Приамурья [Схема..., 2013; Готванский и др., 2014; Грек и др., 2015; Симонов и др., 2016]. Наибольшие ущербы характерны для сельского хозяйства, промышленности и коммунального хозяйства. Последнее катастрофическое наводнение в бассейне Амура случилось в 2013 г., став наиболее масштабным за последние сто лет [Данилов-Данильян и др., 2014; Шалыгин, Дугина, 2015]. Наводнение продолжалось более двух месяцев. Десятки тысяч людей были эвакуированы,

многие потеряли имущество и жилье. В Китае это наводнение также принесло большие бедствия, включая человеческие жертвы [Симонов и др., 2016].

За последнее столетие среднегодовая температура в бассейне Амура повысилась более чем на 1°C [Новороцкий, 2007], что обуславливает усиление сезонной климатической контрастности и повышает риски для устойчивого развития бассейна р. Амур [Воронов, 2014]. Повышение температуры наиболее существенно выражено в зимний период; для осадков направленные изменения за последнее десятилетие не выявлены [Болгов и др., 2015]. Согласно исследованиям [Кузьмина, Трешкин, 2018], для бассейна Амура характерна тенденция к увеличению выпадения осадков в холодные полугодия. В работах [Гарцман, 2008; Шапов и др., 2014] отмечается, в начале XXI века для бассейна Амура характерен рост амплитуды и частоты колебаний температуры и осадков. Эти факторы наряду с увеличением влагосодержания атмосферы могут привести к росту стока Амура и увеличению числа экстремальных гидрометеорологических явлений, в частности, катастрофических наводнений [Калугин, 2016]. Согласно исследованиям [Махинова, 2014; Гельфан и др., 2018; Махинов, Ким, 2020], глобальные климатические изменения оказывают влияние на гидрологический режим рек в бассейне реки Амур, вызывают повышение стока Амура и его притоков и увеличение частоты и мощности наводнений, обуславливая эрозию берегов, усиление эрозионной активности эрозионных процессов в пойме и другие негативные последствия. Со временем обусловленная климатом трансформация пресноводных экосистем может привести к изменению среды обитания флоры и фауны [World Bank Group, 2018; WWF, 2020]. Изменение климата и связанные с ним риски должны быть оценены для разработки соответствующих мер адаптации для речного бассейна.

По итогам прохождения катастрофического наводнения 2013 г. проведено множество исследований и предложены меры [Готванский, Сиротский, 2014; Данилов-Данильян и др., 2014; Motovilov et al., 2015; Болгов и др., 2015, 2016]. Рекомендации по управлению наводнениями

преимущественно включали такие сложные инженерные меры, как строительство крупных противопаводковых плотин и водохранилищ, возведение берегозащитных дамб, расширение и углубление русел рек.

В настоящее время основной мерой инженерной защиты поселений в бассейне Амура являются берегозащитные дамбы [Гусев, 2011; Бортин, 2015]. Строительство дамб было и должно оставаться основной структурной мерой по защите от затопления уже существующих населенных пунктов в бассейне реки Амур. При том, что эта мера является довольно эффективной для защиты населения от наводнений, строительство берегозащитных дамб предотвращает затопление пойм и приводит к деградации почв, сокращению площади нерестилищ, мест обитания водоплавающих и болотных птиц, околоводных млекопитающих, поэтому должно быть ограничено. Укрепление береговых откосов и защита пойменных массивов от затопления на правом берегу пограничных участков Амура, массовое возведение дамб в китайской части бассейна Амура приводит к «отрезанию» поймы от речной сети и отсутствию их гидрологической связи, что создает потенциальный риск роста максимальных уровней, приводит к трансформации поймы и русла реки. Также оно обуславливает изменение линии государственной границы [Гусев, 2011; Воронов, 2014].

Помимо этого, удержание максимального стока водохранилищами являлось традиционным подходом для снижения наводнений: крупные плотины регулируют сток трех основных притоков Амура — Зеи, Буреи и Сунгари в России и Китае, а также служат для выработки электроэнергии. Предложения различных ведомств по регулированию стока в бассейне реки Амур не рассматривали возможности создания одноцелевых противопаводковых плотин и водохранилищ (рис. 4.2), которые применяются в США и странах Европы [Авакян, 1987; Симонов и др., 2016]. Преимуществом таких водохранилищ является их экологичность — они не являются препятствием для миграции рыб: напор в них создается только в период паводков, в остальное же время водоток протекает в обычном режиме.

В качестве альтернативы строительству дамб в населенных пунктах на малых реках бассейна Амура возможно устройство одноцелевых противопаводковых водохранилищ.



Рисунок 4.2. Одноцелевая противопаводковая плотина, Швейцария

© Е. Симонов

Для лучшей адаптации бассейна Амура к наводнениям следует развивать и применять такие меры как оценка рисков наводнений и зонирование территории по степени их опасности, регламентация деятельности на регулярно затапливаемых участках речных долин, развитие системы страхования от стихийных бедствий. Любое строительство в зоне затопления, влияющее на состояние экосистемы, должно быть строго ограничено и подвергаться тщательной экспертизе, а на регулярно затапливаемых участках низких пойм запрещено. Это положение должно быть внесено в Водный кодекс.

Для адаптации бассейна к наводнениям и сохранения водного биоразнообразия следует развивать так называемые «природные» решения (nature-based solutions), которые включают сохранение водно-болотных угодий для аккумуляции паводковых вод и снижения максимального стока, оптимизацию управления земельными ресурсами периодически затапливаемых территорий. Подобные природные решения могут уменьшить

воздействие экстремальных наводнений, а также помочь сохранить водные и пойменные экосистемы Амура.

Обширные пойменные территории бассейна Амура способны аккумулировать значительный объем паводка: широкие поймы рек играют более заметную роль в трансформации гидрографов максимального стока, чем поймы других крупных рек России [Шаликовский, 2009]. При наводнении 2013 г. поймы оказали большое влияние на регулирование максимального стока при прохождении наводнения. Согласно проведенным исследованиям [Егидарев, 2012], площадь пойм вдоль притоков Зеи и Нижнего Амура с площадью водосбора свыше 10 тыс. км² составляет 80 340 км². Суммарное удержание максимального стока пойменными территориями в период паводка 2013 г. достигло 130 км³: объем воды, удержанный площадью пойм, имеет большую величину, чем регулируемый объем существующих и планируемых водохранилищ [Egidarev et al., 2019]. Исходя из этого, одной из основных задач противопаводковой политики в бассейне реки Амур должно являться сохранение речных пойм и их естественной способности аккумулировать максимальный сток и снижать его пиковые значения.

Развитие сети ООПТ в поймах рек играет важную роль в сохранении противопаводковой функции. На пойменных территориях Амура и его притоков создан «Зеленый пояс» Амура, состоящий из сети особо охраняемых территорий с наиболее биологически разнообразными природными комплексами пойменных водно-болотных местообитаний [Сапаев, 2006]. Пойменные ООПТ по своему статусу позволяют сохранить естественные противопаводковые емкости, защищенные от застройки и иных видов хозяйственной деятельности.

При развитии сети особо охраняемых природных территорий Россия могла бы ориентироваться на опыт китайской стороны, направленный на сохранение и восстановление ценных водно-болотных угодий в поймах рек и их экосистемных функций. Согласно проведенным в 2015 г. оценкам, в китайской части бассейна Амура, в провинции Хэйлунцзян из 55 619 км²

водно-болотных угодий около 40% территории охраняются в природных резерватах. Активно создаются водно-болотные парки, совмещающие природоохранные и рекреационные функции. Площади пойменно-русловых экосистем средних и больших рек примерно равны в двух странах, но в Китае охраняется около 1/3 территории пойм, тогда как в России только 1/10 их площади. Помимо этого, в Китае в бассейне Амура вдоль рек Нонни и Сунгари уже существуют экофункциональные зоны, которые выполняют задачи как удержания стока наводнений, так и сохранения биоразнообразия. Так, для регулирования паводков выделено восемь экофункциональных зон площадью 49 000 км². К их задачам относятся сохранение озер и болот, восстановление болот на месте пашни и предотвращение распашки водно-болотных угодий; восстановление и сохранение растительности на водосборах, защита территорий от эрозии; снижение загрязнения; регулирование противоречий между экономическим развитием и сохранением противопаводковых функций пойм.

Таким образом, задачу по снижению негативного воздействия следует решать совместно с задачей по сохранению биоразнообразия водных и пойменных экосистем. Подробная информация и предложения приведены в нашей совместной монографии [Симонов и др., 2016].

4.4 Меры по сохранению водных и пойменных экосистем при планировании и строительстве плотин

После выдающегося наводнения 2013 г. в России озвучивались планы по строительству от 4 до 10 новых плотин для дополнительного регулирования стока [Готванский, Сиротский, 2014; Motovilov et al., 2015]. Предполагалось, что строительство новых плотинных гидроэлектростанций в бассейне может способствовать защите местного населения от стихийных бедствий. Строительство плотин предлагалось на реках Шилка, Зeya, Бурей (см. табл. 4.1).

С помощью методики бассейновой оценки развития гидроэнергетики [Егидарев и др., 2013, Симонов и др., 2015, Simonov et al., 2019] рассмотрены показатели: изменение пойменных экосистем в нижнем бьефе (км², %); трансформация водных экосистем в верхнем бьефе / площадь водохранилища (км², %); блокирование части речного бассейна плотиной (%). Согласно методике, интегральное воздействие рассчитывается как среднегеометрическая величина перечисленных показателей воздействия. Результаты опубликованы нами в статье [Никитина и др., 2015].

В качестве дополнительного критерия в работе рассмотрено влияние ГЭС на ООПТ и ценные территории речной долины.

Таблица 4.1. Параметры потенциальных противопаводковых ГЭС в бассейне Амура

ГЭС	Река	Полезный объем водохранилища, км ³
Транссибирская	Шилка	8,8
Гилюйская	Гилюй	3,3
Нижне-Зейская	Зeya	1,0
Селемджинская	Селемджа	5,2
Русиновская	Селемджа	4,2
Нижне-Ниманская	Ниман	8,3
Нижне-Бурейская	Буряя	2,0

Согласно полученным результатам (см. табл. 4.2), наибольшее негативное влияние на водные и пойменные экосистемы из предложенных вариантов окажет Транссибирская ГЭС на р. Шилка, свободно текущем истоке Амур. Создание этой ГЭС вблизи от устья Шилки «отрежет» от бассейна Амура практически весь бассейн Шилки, заблокировав пути миграции водных и наземных видов животных и пресекая экологический коридор взаимообогащения видами флоры и фауны между Сибирью и Дальним Востоком.

Другим вариантом с крайне негативным влиянием на окружающую среду является плотина Селемджинской ГЭС в нижнем течении свободно текущей р. Селемджа. Следует учитывать, что создание Селемджинской ГЭС приведет к образованию большого мелководного водохранилища с характерными процессами цветения воды и затопит часть Норского заповедника, а также, согласно [Подольский, 2014], прервет миграцию крупнейшей в мире группировки сибирской косули (*Capreolus pygargus*). Проект Русиновской ГЭС в верхнем течении р. Селемджа характеризуется меньшей величиной негативного воздействия, однако его реализация нарушит гидрологический режим свободно текущей реки, который, помимо состояния водных и пойменных экосистем бассейна р. Селемджа, определяет оптимизацию условий в бассейне Нижней Зеи.

Плотины Гилюйской ГЭС и Нижне-Зейской ГЭС предлагается расположить на трансформированных участках бассейна Верхней и Средней Зеи. Несмотря на относительно небольшие величины интегрального воздействия Гилюйской ГЭС, ее возведение приведет к трансформации стока р. Гилюй, что негативно отразится на водных и прибрежных экосистемах Зейского заповедника, примыкающего к руслам рек Гилюй и Зея. Строительство Нижне-Зейской ГЭС приведет к затоплению долинных местообитаний и значительным потерям биоразнообразия. В частности, работа [Подольский и др., 2017] отмечает, что Нижне-Зейское водохранилище пресечет пути миграции сибирской косули, приведет к существенному снижению показателей численности околоводных и водоплавающих птиц.

Результаты исследований указывают, что наименьший ущерб водным экосистемам бассейна будет оказан при строительстве плотин на уже зарегулированной р. Бурее и ее притоках; они опубликованы нами в работах [Никитина и др., 2015; Simonov et al, 2019]. Так, строительство Верхне-Ниманской и уже построенной Нижне-Бурейской ГЭС характеризуется наименьшими величинами прироста интегрального воздействия из рассматриваемых вариантов противопаводковых ГЭС (см. табл. 4.2, рис. 4.3).

При этом следует отметить, что предложенные к строительству водохранилища будут иметь меньшую возможность аккумуляции стока в сравнении с крупными Зейским и Бурейским водохранилищами и окажут малое влияние на прохождение катастрофических паводков. Эффект предотвращения наводнений по руслу реки Зея имело бы регулирование стока Селемджи, однако строительство водохранилищ в ее бассейне, особенно в нижнем течении, будет сопряжено со значительными негативными последствиями для окружающей среды. В то же время, реконструкция гидроузла Зейской ГЭС путем строительства дополнительного берегового водосброса и создание технических условий для возможности реализации холостых сбросов с отметки менее 317,5 м позволит создать дополнительную противопаводковую емкость, сопоставимую с предполагаемой форсированной емкостью потенциальных новых водохранилищ.

Таблица 4.2. Оценка негативного воздействия потенциальных противопаводковых ГЭС на окружающую среду

ГЭС	Река	Интегральное воздействие ГЭС, усл. ед.*	Потенциальное негативное воздействие с учетом влияния на ООПТ и ценные территории
Транссибирская	Шилка	2,9	Сильно выраженное
Селемджинская	Селемджа	2,4	Сильно выраженное
Русиновская	Селемджа	0,9	Выраженное
Нижне-Зейская	Зея	0,8	Выраженное
Гилюйская	Гилюй	0,5	Выраженное
Нижне-Ниманская	Ниман	0,9	Относительно небольшое
Нижне-Бурейская	Буряя	0,2	Относительно небольшое

* Базовым показателем для сравнения использована величина совокупного воздействия Зейской и Бурейской ГЭС в 2013 г., равная 7,1 усл. ед. [Симонов и др., 2015]



Рисунок 4.3. Потенциальное воздействие противопаводковых ГЭС на биоразнообразии бассейна Амура

Создание водохранилищ сопряжено с воздействием на экосистемы речного бассейна и является крайней мерой при острой потребности в защите территорий от наводнений и отсутствии альтернатив. При проектировании новых гидроузлов крайне важно учитывать неудачный опыт проектирования и эксплуатации уже существующих гидроузлов и оценивать альтернативы, в частности, способность пойменных территорий удерживать и снижать максимальный сток.

Меры адаптации к наводнениям должны включать оптимизацию землепользования в периодически затопляемых районах речных долин, адаптацию инфраструктуры к повторяющимся затоплениям, развитие системы страхования от стихийных бедствий.

Строительство любой новой высоконапорной ГЭС требует детальных проработок, что указано в опубликованных нами материалах [Алибеков и др.,

2014; Хазиахметов и др., 2014], и оценки воздействия на бассейн Амура, не ограничиваясь локальным участком месторасположения плотины [Никитина, 2013, 2015; Симонов и др., 2013, 2015; Simonov et al., 2019]. В исследованиях [Новикова и др., 2015] предложены биологические критерии допустимых масштабов изменения режима речного стока, обоснованы методики изучения и оценки воздействия крупных водохранилищ на компоненты природных комплексов побережий, которые следует учитывать при освоении гидроэнергетического потенциала.

При решении о строительстве следует определить и заложить режимы эколого-рыбохозяйственных попусков на этапе проектирования плотины, а также отобразить их в Правилах использования водных ресурсов водохранилищ. В противном случае последующая реализация эколого-рыбохозяйственных попусков может быть затруднена из-за массовой и зачастую незаконной застройки пойм.

Местоположение является основным фактором, определяющим совокупное воздействие плотин в масштабе всего бассейна. Поэтому лучшим вариантом сокращения негативных воздействий является изначальный выбор «правильных» участков с наименьшими издержками для окружающей среды, что подробно описано в нашей статье [Simonov et al., 2019]. Сравнение различных вариантов размещения можно проводить при разработке Схем комплексного использования и охраны водных объектов. При общекосейной оценке важно выделить участки, не допустимые к освоению ввиду значительного негативного воздействия на экосистемы всего речного бассейна.

Изначальный учет и сохранение экосистемных функций реки и ее водного биоразнообразия эффективнее последующих мер по минимизации ущерба. Учет мнения заинтересованных сторон на ранних стадиях реализации проекта увеличивает шансы на принятие оптимальных решений, что приводит к сокращению негативных последствий как для реализующих проект организаций, так и для местного населения и окружающей среды.

Выводы

Оценку водного биоразнообразия и необходимого для его поддержания водного режима и экологического стока следует проводить на раннем этапе водохозяйственного планирования в составе схем комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО), в т. ч. для трансграничных рек.

Сохранение основного русла Амура и его не зарегулированных притоков свободно текущими — значимая мера защиты водного биоразнообразия бассейна Амура. Для превентивной охраны свободно текущих притоков Амура можно применять такую меру, как создание особо охраняемых природных территорий. Если же ООПТ создаются в качестве меры компенсации строительства ГЭС, то она направлена на сохранение наземных и малоэффективна для сохранения водных и пойменных экосистем.

Паводки имеют ключевое значение для сохранения водных и пойменных экосистем бассейна Амура. Одновременно с этим, крупные наводнения являются негативным фактором для экономики региона. Поэтому при расчетах экологического стока для рек дальневосточного типа в бассейне Амура следует определять допустимое сокращение величины максимального стока, который должен обеспечивать экосистемные функции водных и пойменных экосистем и при этом учитывать защиту территорий от крупных наводнений.

После выдающегося наводнения 2013 г. озвучивались планы по строительству новых плотин для регулирования стока. Проведенная оценка показала, что при планировании гидроузлов в бассейне Амура предпочтительнее осваивать бассейн р. Бурея, в котором уже построены плотины, и нецелесообразно строить плотины на свободно текущих притоках, в особенности реках Шилка и Селемджа. Реконструкция Зейской ГЭС путем строительства дополнительного берегового водосброса позволит создать дополнительную противопаводковую емкость, сопоставимую с

предполагаемой форсированной емкостью потенциальных новых водохранилищ, поэтому является приоритетом вместо проектирования новых гидроузлов.

При проектировании гидроузлов важно учитывать неудачный опыт проектирования и эксплуатации уже существующих гидроузлов и оценивать альтернативы, в частности, способность пойменных территорий удерживать и снижать максимальный сток.

При решении о строительстве ГЭС следует определить и заложить режимы эколого-рыбохозяйственных попусков на этапе проектирования плотины, а также отобразить их в Правилах использования водных ресурсов водохранилищ, иначе последующая реализация эколого-рыбохозяйственных попусков может быть затруднена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Речной сток определяет водный и термический режим рек и сток наносов, состояние почвенного и растительного покрова пойменной экосистемы, что играет большую роль в функционировании водных и околоводных экосистем, прежде всего, в размножении рыб и других гидробионтов. Пространственно-временная изменчивость режима стока важна для поддержания среды обитания водных и околоводных видов флоры и фауны, биологического разнообразия экосистем речных бассейнов и постоянства их видового состава.

Биологическое разнообразие водных экосистем речных бассейнов подвержено нарастающему количеству угроз и сокращению, поэтому его сохранение и восстановление требует принятия мер. Так, возведение крупных плотин наряду с другими негативными факторами привело к трансформации гидрологического режима многих рек России и их водных и пойменных экосистем. Одним из основных элементов восстановления нарушенных водных экосистем должно стать поддержание гидрологического режима, обеспечивающего благоприятные условия существования гидробионтов, т. е. осуществление экологического стока, который на зарегулированных плотинами реках называется экологическим попуском.

Экосистемы бассейна Амура отличаются высоким видовым разнообразием и биологической продуктивностью. Пойма Амура и его притоков — крупное место сосредоточения водно-болотных угодий, где гнездятся редкие виды птиц. Паводки имеют важное значение для поддержания биоразнообразия этих водных и пойменных экосистем, при этом наводнения негативно влияют на экономику Амурского региона. В бассейнах рек Зея и Бурея в России построены три крупные плотины для выработки электроэнергии и защиты населения от наводнений. Регулирование стока — один из ключевых факторов, влияющих на состояние ценных водно-болотных угодий бассейна Амура.

Целью работы было оценить обусловленные регулированием стока состояние и изменение водных и пойменных экосистем в бассейне Амура и разработать меры по их сохранению и восстановлению.

Основные результаты диссертационной работы:

1. Регулирование стока рр. Зеи и Буреи привело к сокращению нерестилищ рыб, уменьшению их численности и видового состава, ухудшению условий обитания редких аистов и журавлей. Редкое обводнение поймы привело к зарастанию старичных озер и речных протоков, освоению и застройке пойменных территорий. Для сокращения негативного влияния регулирования стока на водные и пойменные экосистемы необходима реализация экологических попусков из водохранилищ на рр. Зее и Бурее.

2. Определены объемы экологического стока в разные по водности годы бассейна р. Зеи. Снижение доли стока за теплый период года с 95 до 75% приводит к нарушениям естественного функционирования водных и пойменных экосистем. Рекомендуемое обводнение поймы не реже одного раза в пять лет на протяжении 15–20 дней в июне и июле в настоящее время невозможно из-за технических особенностей плотины. В перспективе создание технических условий позволит реализовать экологические попуски, оптимизировать регулирование стока при прохождении выдающихся паводков.

3. Разработаны рекомендации по реализации экологических попусков из Бурейских водохранилищ, направленные на регулярное обводнение водно-болотных угодий и промывание старичных озер и протоков в пойме Буреи:

- (1) Рекомендуется в августе обеспечить сбросы воды $3700\text{--}7000\text{ м}^3/\text{с}$ на протяжении 10–15 дней; величина попуска должна определяться с учетом текущего уровня Амура.
- (2) Для промывания озер продолжительность сбросов воды $6000\text{--}7000\text{ м}^3/\text{с}$ из Бурейских водохранилищ должна составлять 2–3 дня.

(3) Экологические попуски должны быть реализованы не реже чем раз в 6–7 лет. Они помогут сохранить заповедные водно-болотные угодья, при этом обеспечивая условия защиты населенных пунктов от затопления.

4. Установление экологического стока в бассейне Амура должно базироваться прежде всего на оценке максимального стока и определении его допустимого сокращения. Режим экологического стока должен обеспечивать устойчивое функционирование водных и пойменных экосистем при прохождении максимального стока и при этом учитывать защиту населения от наводнений.

5. Сохранение основного русла Амура и его притоков от зарегулирования наряду с экологическими попусками из водохранилищ является приоритетом охраны водных экосистем его бассейна:

- (1) Водный режим Амура определяет условия обводнения поймы его притоков, в частности, его уровень определяет условия реализации экологических попусков на р. Бурее.
- (2) Естественный водный и термический режим свободно текущих притоков р. Зеи в нижнем бьефе Зейской ГЭС способствует сохранению водных и пойменных экосистем Зеи и Амура в условиях ограничений реализации экологических попусков.
- (3) При планировании гидроузлов предпочтительнее осваивать притоки, в бассейне которых уже построены плотины (р. Бурей), и нецелесообразно строить плотины на свободно текущих притоках (рр. Шилка, Селемджа).

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Экологический сток — часть естественного стока, которая должна оставаться в реке в результате безвозвратного изъятия водных ресурсов или регулирования водного режима ниже по течению от места воздействия на реку для обеспечения устойчивых условий развития и функционирования водной экосистемы. Экологический сток должен базироваться на естественном состоянии речной экосистемы и быть приближенным к естественному (малонарушенному) режиму стока.

Попуски — периодическая или эпизодическая подача воды из водохранилища для регулирования расхода или уровня воды на нижележащем участке водотока или уровня воды в самом водохранилище.

Экологические попуски — сбросы воды из водохранилищ для поддержания состояния водных объектов, соответствующего экологическим требованиям. Обеспечивают условия устойчивого и безопасного функционирования водных экосистем на участке реки ниже водохранилища, поддерживают стабильное состояние гидробионтов, ихтиофауны, околородных экосистем в нижних бьефах гидроузлов. Формируются с учетом рыбохозяйственного, руслоформирующего, санитарного, а также других видов попусков.

Экологические стоки (попуски) устанавливаются в разные по водности годы с внутригодовым распределением и в большинстве случаев обеспечивают качество поверхностных вод. Только в отдельные лимитирующие периоды в маловодные годы экологический сток бывает недостаточным для улучшения качества вод. В таких случаях в конкретном месяце используется санитарный расход (попуск), обеспечивающий нормативные концентрации загрязняющих веществ в заданном створе.

Санитарный расход воды — минимальный расход воды потока, обеспечивающий нормативные концентрации загрязняющих веществ и

поддержание биологических, гидравлических параметров реки (уровень, ширина, глубина, скорость течения).

Санитарный попуск — минимальный расход воды, обеспечивающий соблюдение нормативов качества воды и благоприятные условия водопользования в нижнем бьефе водохранилища.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища. – М.: Мысль, 1987. – 328 с.
2. Алибеков А.Б., Жданова А.П., Никитина О.И. Результаты апробации Методики оценки соответствия гидроэнергетических проектов критериям устойчивого развития в России // Материалы Международной конференции «Биоразнообразие и бизнес: подходы и решения»: Сб. тезисов. – 2014. – С. 137–141.
3. Алибеков А.Б., Жданова А.П., Никитина О.И., Хазиахметов Р.М., Яковлев Д.А. Устойчивое развитие в гидроэнергетической отрасли // На пути к устойчивому развитию России. – 2014. – № 68. – С. 59–64.
4. Андронов В.А., Андропова Р.С., Парилов М.П., Дарман Ю.А. Современное состояние охраны и изученности журавлей на Юге Дальнего Востока // Информационный бюллетень РГЖ Евразии. – 2001. – №2. – С. 13–14.
5. Антонов А.Л. Редкие и малоизученные лососеобразные рыбы горных водосборов бассейна Амура // Всероссийская конференция «Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата», 29 сентября-3 октября 2014 г., Хабаровск: Сб. докладов. – Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2014. – С. 26–29.
6. Антонов А.И., Парилов М.П., Игнатенко С.Ю., Колбин В.А., Подольский С.А., Кастрикин В.А. Оценка воздействия на птиц. Бурейская ГЭС: зона высокого напряжения. Под редакцией к.г.н. С.А. Подольского. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2005. – С. 47–55.
7. Антонов А.Л., Барабанщиков Е.И., Золотухин С.Ф., Михеев И.Е., Шаповалов М.Е. Рыбы Амура. – Владивосток: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2019. – 318 с.
8. Арефина Т.И., Бородицкая Г.В., Бульон В.В., Гаретова Л.А., Каретникова Е.А., Коцюк Д.В., Макаренченко Е.А., Макаренченко М.А.,

Медведева Л.А., Ри Г.Д., Сиротский С.Е., Таловская В.С., Тесленко В.А., Тиунов М.П., Тиунова Т.М., Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Гидроэкологический мониторинг зоны влияния Зейского гидроузла. – Хабаровск: ДВО РАН, 2010. – 354 с.

9. Богатов В.В. Экология речных сообществ российского Дальнего Востока. – Владивосток, 1994. – 218 с.

10. Болгов М.В., Алексеевский Н.И., Гарцман Б.И., Георгиевский В.Ю., Дугина И.О., Ким В.И., Махинов А.Н., Шалыгин А.Л. Экстремальное наводнение в бассейне Амура в 2013 году: анализ формирования, оценки и рекомендации // География и природные ресурсы. – 2015. – № 3. – С. 17–26.

11. Болгов М.В., Демин А.П., Шаталова К.Ю. Российско-Китайское сотрудничество в области использования и охраны трансграничных водных объектов: опыт и проблемы // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2016. – № 2. – С. 89–95.

12. Болгов М.В., Коробкина Е.А., Осипова Н.В., Филиппова И.А. Анализ многолетней изменчивости и оценка максимальных уровней воды в условиях увеличившейся антропогенной нагрузки на примере р. Амур // Метеорология и гидрология. – 2016. – № 8. – С. 80–89.

13. Болгов М.В., Попова Н.О., Филимонова М.К. Метод композиции распределений для оценки максимальных расходов воды р. Амур с учетом эффекта регулирования стока // Водные ресурсы. – 2016. – Т. 43. – № 3. – С. 265–276.

14. Болгов М.В., Фролова Н.Л. Водный режим реки Аргунь и озера Далайнор в условиях антропогенного воздействия // География и природные ресурсы. – 2012. – № 4. – С. 21–29.

15. Болгов М.В., Фролова Н.Л., Алексеевский Н.И. Оценка возможных последствий переброски стока реки Аргунь в озеро Далайнор (КНР) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2012. – № 4. – С. 103–118.

16. Бортин Н.Н. Реализация СКИОВО – решение ключевых проблем Амурского бассейна // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2015. – № 1. – С. 16–21.
17. Бортин Н.Н., Горчаков А.М., Милаев В.М. К вопросу о допустимом изъятии водных ресурсов из водных объектов бассейна реки Амура и экологическом стоке // Водное хозяйство России. – 2013. – № 3. – С. 4–15.
18. Бота М. Оценка мер по смягчению воздействия на биоразнообразие для Нижне-Бурейской гидроэлектростанции. Доклад I этапа по проекту ПРООН-ГЭФ «Задачи сохранения биоразнообразия в политике и программах развития энергетического сектора России». – М: ПРООН-ГЭФ, 2016. – 36 с.
19. Бронфман А.М., Дубинина В.Г., Макарова Г.Д. Гидрологические и гидрохимические основы продуктивности Азовского моря. – М: Пищевая промышленность, 1979. – 288 с.
20. Бузин В.А., Горошкова Н.И. Особенности формирования и методика прогноза максимальных заторных уровней воды реки Амур // Экстремальные паводки в бассейне Амура: гидрологические аспекты. – СПб: ФГБУ «ГГИ», ООО «ЭсПэХа», 2015. – С. 141–151.
21. Булгаков Н.Г., Дубинина В.Г., Левич А.П., Терехин А.Т. Метод поиска сопряженностей между гидробиологическими показателями и абиотическими факторами среды на примере уловов и урожайности промысловых рыб // Известия РАН. Серия биологическая – 1995. – №2. – С. 218–225.
22. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ. [Электронный ресурс]. – 2006. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901982862>.
23. Водный кодекс Российской Федерации от 16 ноября 1995 г. N 167-ФЗ (ВК РФ) (с изменениями и дополнениями) (утратил силу). [Электронный ресурс]. – 2006. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/10108700/>.
24. Воловик С.П., Чихачев А.С. Антропогенное преобразование ихтиофауны Азовского бассейна // Основные проблемы рыбного хозяйства и

охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна. Сб. науч. тр. (1996–1997 гг.). – Ростов-на-Дону: 1998. – С. 7–22.

25. Воронов Б.А. Преобразование экосистем Приамурья в условиях глобального изменения климата и антропогенных воздействий // Всероссийская конференция «Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата», 29 сентября–3 октября 2014 г., Хабаровск: сб. докладов. – Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2014. – С. 34–37.

26. Воронов Б.А., Мандыч А.Ф., Махинов А.Н, Современность и вероятное будущее Амура и связанных с ним экосистем // Сб. тр. конф. с междунар. участием «Регионы нового освоения: ресурсный потенциал и инновационные пути его использования», Хабаровск, 19- 22 сентября 2011 г. – Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2011. – С. 6–9.

27. Воропаева И.С. Строение и особенности формирования пойменных болот Муравьевского парка // Бассейн реки Гильчин: История. Водно-болотные угодья. Водные ресурсы. – Владивосток: Дальнаука, 2016. – С. 27-65.

28. Вронский Б.Б. Влияние гидрологических и метеорологических условий на нерест некоторых фитофильных рыб Амура и выживание их икры и молоди // Вопр. ихтиол. – 1965. – Т. 5. – №1(34). – С. 111–126.

29. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Основной том. Под ред. А.В. Фролова. – М.: Росгидромет, 2014. – 1018 с.

30. Гаргопа Ю.М. Гидрологические основы рыбохозяйственного исследования водных ресурсов Кубани и рек Восточного Приазовья. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Одесса, 1979. – 24 с.

31. Гарцман Б.И. Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов, прогнозов, оценок риска. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – 241 с.

32. Гельфан А.Н., Калугин А.С., Мотовилов Ю.Г. Оценка изменений водного режима реки Амур в XXI веке при двух способах задания климатических проекций в модели формирования речного стока // Водные ресурсы, – 2018. – Т. 45. – № 3. – С. 223–234.

33. Гидрограф Бурейской ГЭС. [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <http://hgraph.ru/burges>.

34. Гидрограф Зейской ГЭС. [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <http://hgraph.ru/zeuges>.

35. Гидрометцентр России. Климат городов мира: ежемесячные данные. Архара. [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <http://meteoinfo.ru/climatcities?p=1659>.

36. Головки В.И. Обоснование необходимости внесения рыбохозяйственных попусков в регламент эксплуатации ГЭС Амурской области // Приложение к письму в Мин-во сельского хоз-ва. – Благовещенск: Центр рыбохозяйственных исследований, 2008. – 2 с.

37. Горбатенко Л.В. Геоэкологический анализ водопользования в трансграничном бассейне реки Амур: дис. ... канд. геогр. наук. – Владивосток, 2018. – 176 с.

38. Готванский В.И., Сиротский С.Е. Управлять наводнениями, а не бороться [Электронный ресурс] // Природа России. – 2014. – Режим доступа: <http://www.priroda.ru/reviews/detail.php?ID=10808>.

39. Грек Е.А., Иванов В.А., Молчанова Т.Г. Катастрофические паводки в бассейне реки Амур в XIX–XX столетиях // Экстремальные паводки в бассейне Амура: гидрологические аспекты. – СПб: ФГБУ «ГГИ», ООО «ЭсПэХа», 2015. – С. 4–20.

40. Гусев М.Н. Геоморфологический аспект проблемы закрепления государственной границы на р. Амур // Материалы XIV Совещания географов Сибири и ДВ (Владивосток, 14-16 сентября 2011). – Владивосток, 2011. – С. 149–152.

41. Гусев М.Н. К проблеме сохранения реки Амур // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Реки Сибири и Дальнего Востока». – М.: WWF России, 2011. – С. 120–123.
42. Гусев М.Н., Завадский А.С., Иванов В.В., Махинов А.Н., Чалов Р.С. Современные антропогенные трансформации руслового режима Амура и рек его бассейна // Эрозионные и русловые процессы: сб. трудов под ред. Р.С. Чалова. – Вып. 5. – М., 2010. – С. 179–195.
43. Гусев М.Н., Помигуев Ю.В. Русловая деятельность магистральных рек Амурской области в условиях современного хозяйствования // География и природные ресурсы. – 2008. – № 2. – С. 45–50.
44. Данилов-Данильян В.И., Гельфан А.Н., Мотовилов Ю.Г., Калугин А.С. Катастрофическое наводнение 2013 года в бассейне реки Амур: условия формирования, оценка повторяемости, результаты моделирования // Водные ресурсы. – 2014. – Т. 41. – № 2. – С. 111–122.
45. Дарман Г.Ф. Воды. Летопись природы Хинганского заповедника за 1985 год. – Т. 10. – Архара, 1986. – С. 24.
46. Дарман Ю.А., Колобаев Н.Н. Влияние Зейского водохранилища на копытных животных // Явления и процессы в природном комплексе Зейского заповедника (Сборник научных трудов) – М., 1993. – С. 63–85.
47. Дубинина В.Г. Гидрологический режим поймы Нижнего Дона и проблемы рыбохозяйственного использования водных ресурсов реки. Автореф. дисс. канд. геогр. наук. – Ростов-на-Дону, 1969. – 31 с.
48. Дубинина В.Г. Гидрологические основы увеличения масштабов естественного воспроизводства рыб в Азовско-Донском районе. Рыбохозяйственные исследования Азовского моря // Тр. АзНИИРХ. Вып. 10. – Ростов-на-Дону, 1972. – С. 41–51.
49. Дубинина В.Г. Гидрологический режим пойменных нерестилищ Нижнего Дона и некоторые перспективы их рыбохозяйственного использования // Изв. СКНЦВШ. Сер. ест. наук. Вып. 1. – 1973. – С. 84–88.

50. Дубинина В.Г. Методические основы экологического нормирования безвозвратного изъятия речного стока и установления экологического стока (попуска). – М.: Экономика и информатика, 2001. – 118 с.

51. Дубинина В.Г., Гаргопа Ю.М., Чебанов М.С., Катунин Д.Н., Филь С.А. Методические подходы к экологическому нормированию антропогенного сокращения речного стока. // Водные ресурсы. – 1996. – № 1. – С. 78–85.

52. Дубинина В.Г., Жукова С.В. Оценка возможных последствий строительства Багаевского гидроузла для экосистемы Нижнего Дона // Рыбное хозяйство. – 2016. – № 4. – С. 20–30.

53. Дубинина В.Г., Косолапов А.Е., Коронкевич Н.И., Чебанов М.С. Методические указания по нормированию допустимого безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока (попуска) по Государственному контракту № М-08-18 от 16 мая 2008 г. Федеральное государственное учреждение «Межведомственная ихтиологическая комиссия». Москва, 2008. – 40 с.

54. Дубинина В.Г., Косолапов А.Е., Коронкевич Н.И., Чебанов М.С., Скачедуб Е.А. Методические подходы к экологическому нормированию безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока (попуска) // Водное хозяйство России. – 2009. – № 3. – С. 26–61.

55. Дубинина В.Г., Никитина О.И., Марков М.Л. Методические подходы к определению объемов допустимого безвозвратного изъятия стока из слабоизученных, неизученных и малых рек // Водное хозяйство России. – 2015. – № 4. – С. 80–97.

56. Дубинина В.Г., Никитина О.И. Об учете экологического фактора при управлении водными ресурсами водохранилищ. Водохранилища Российской Федерации: современные экологические проблемы, состояние, управление: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, г. Сочи, 23–29 сентября 2019 г. – Новочеркасск: Лик, 2019. – С. 80–86.

57. Дубинина В.Г., Никитина О.И. Распределение трансграничных водных ресурсов. Экологический сток – основа сохранения водных экосистем

(Российская Федерация). Региональный отчет № 70/19-КАРЕ. [Электронный ресурс]. – Москва, 2020. – 37 с. – Режим доступа: DOI: 10.13140/RG.2.2.20154.00969.

58. Егидарев Е.Г. Картографирование и оценка пойменных комплексов в долине реки Амур. // Вестник ДВО РАН. – 2012. – № 2. – С. 9–16.

59. Егидарев Е.Г. Геоэкологические оценки проблем освоения гидроэнергетических ресурсов бассейна реки Амур. Автореферат дис. ... канд. геогр. наук. – Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 2013. – 26 с.

60. Елсаков В.В., Щанов В.М. Спутниковые методы в анализе изменений экосистем бассейна р. Вычегда // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т. 13. – № 4. – С. 135–145.

61. Залетаев В.С., Дикарева Т.В., Подольский С.А. Мега-экосистема речного бассейна и исследования внутрибассейновых процессов // Экватэк-98. Третий Международный конгресс «Вода: экология и технология». – М.: СИБИКО Интернэшнл, 1998. – С. 49–50.

62. Заусаев В.К., Халиуллина З.А., Горяинов В.А., Сиротский С.Е., Горбунов Н.М. Социально-экономический мониторинг зоны влияния Бурейского гидроузла. – Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2009. – 159 с.

63. Иванов В.П., Мажник А.Ю. Рыбное хозяйство Каспийского бассейна (Белая книга). – М.: ТОО Рыбное хозяйство, 1997. – 40 с.

64. Игнатенко С.Ю., Парилов М.П., Кастрикин В.А., Гусев М.Н. Влияние Бурейского и Зейского гидроузлов на гнездящиеся группировки журавлей и аистов в пределах Архаринской низменности // VII Дальневосточная конференция по заповедному делу. Материалы конференции. Биробиджан, 18-21 октября 2005 г. – Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН, 2005. – С.123–126.

65. Калугин А.С. Модель формирования стока реки Амур и ее применение для оценки возможных изменений водного режима: дис. ... канд. геогр. наук. – М., 2016. – 185 с.

66. Кастрикин В.А., Подольский С.А. Оценка воздействия на ихтиофауну Бурейская ГЭС: зона высокого напряжения. Под редакцией к.г.н.

С.А. Подольского. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF) – Россия, 2005. – С. 36–38.

67. Катунин Д.Н., Бесчетнова Т.С., Дубинина В.Г. К вопросу об экономической оценке ущерба рыбным запасам Волго-Каспия при различной водообеспеченности нерестового цикла рыб. // Рыбное хозяйство. – 2013. – № 2. – С. 47–52.

68. Ким В.И. Особенности затопления пойменных островов Нижнего Амура (на примере острова Славянский). Формирование вод суши юга Дальнего Востока. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1988. – С. 21–30.

69. Кириллов В.В., Коцюк Д.В., Визер А.М., Попов П.А. Оценка влияния на водные и биологические ресурсы и среду их обитания построенных ГЭС в Сибири и на Дальнем Востоке // Рыбохозяйственные проблемы строительства и эксплуатации плотин и пути их решения. Материалы зас. темат. сообщ-ва по пробл. больших плотин и науч. конс. совета Межведомст. ихтиолог. комиссии. – М., WWF России, 2010. – С. 19–32.

70. Ключев С.С. Экономическая эффективность восстановления Саяно-Шушенской ГЭС // Пятнадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Экономические и социальные аспекты развития энергетики. Энергия-2020»: материалы конференции. – ИГЭУ, 2020. – С. 85.

71. Козлитина С.В., Воловик С.П., Дубинина В.Г., Нечепуренко И.Г., Воловик Г.С. Моделирование требований рыбного хозяйства к водному режиму р. Дон // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна. Сб. науч. работ (1996-1997 гг.). – Ростов-на-Дону, 1998. – С. 357–370.

72. Корсун О.В. Верхнеамурский заказник — жемчужина Могочинского района. – Новосибирск: Дом Мира, 2018. – 53 с.

73. Коцюк Д.В. Обоснование искусственного регулирования уровня режима различных участков бассейна Амура: отчет для WWF. – Хабаровск, 2008. – 42 с.

74. Коцюк Д.В. Формирование ихтиофауны Зейского водохранилища: ретроспективный анализ и современное состояние: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Владивосток, 2009. – 24 с.
75. Коцюк Д.В. Ихтиологические исследования в бассейне реки Зeya // Гидроэкологический мониторинг зоны влияния Зейского гидроузла. – Хабаровск: ДВО РАН, 2010. – С. 260–320.
76. Краснова Е.Д., Герасимова О.В., Беляев Б.М. Отчет об экспедиции по изучению озер Муравьевского парка устойчивого природопользования. – М., 2016. – 42 с.
77. Крыхтин М.Л. О периодических колебаниях численности жилых рыб Амура и их причинах // Вопросы ихтиологии. – 1975. – Т. 15. – № 5(94). – С. 919–922.
78. Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. Климатические изменения в бассейне Амура и их влияние на экосистемы // Экосистемы: экология и динамика. – 2018. – Т. 2. – № 4. – С. 5–60.
79. Левич А.П., Терехин А.Т. Метод расчета экологически допустимых уровней воздействия на пресноводные экосистемы. // Водные ресурсы. – 1997. – № 3. – С.328–335.
80. Ленгидропроект. Временные правила использования водных ресурсов Бурейского водохранилища на р. Бурее на период май 2009 г. – апрель 2010 г. (вариант с ограничением 1% сбросного расхода до 7 тыс. м³/с). СПб: Ленгидропроект, 2009. – 61 с.
81. Мандыч А.Ф. Современные предпосылки будущего реки Амур // Электроэнергетическое сотрудничество Российской Федерации и Китайской Народной Республики: плюсы и минусы. Сб. статей. – Владивосток: WWF, 2012. – С. 8–12.
82. Мандыч А.Ф. Еще раз о паводках на реке Зeya // Всероссийская конференция «Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата», 29 сентября-3 октября 2014 г., Хабаровск: сб. докладов. – Хабаровск, ИВЭП ДВО РАН, 2014. – С. 119–123.

83. Мартынов А.В. Структура почвенного покрова поймы крупных рек Амурской области (на примере рр. Зея и Селемджа) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2013. – № 2. – С. 108–116.

84. Махинов А.Н. Изменение гидрологического режима реки Амур и его экологические последствия // Материалы конференции «Состояние и перспективы российско-китайского сотрудничества в области охраны окружающей среды и управления водными ресурсами». – М.: Мин-во природных ресурсов, 2007. – С. 56–62.

85. Махинов А.Н., Ким В.И. Влияние изменений климата на гидрологический режим реки Амур // Тихоокеанская география. – 2020. – №1. – С. 30–39.

86. Махинов А.Н., Ким В.И., Воронов Б.А. Наводнение в бассейне Амура 2013 года: причины и последствия // Вестник ДВО РАН. – 2014. – № 2. – С. 5–14.

87. Махинова А.Ф. Землепользование в долине Амура и ее преобразование в условиях меняющегося климата // Всероссийская конференция «Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата», 29 сентября-3 октября 2014 г., Хабаровск: сб. докладов. – Хабаровск, ИВЭП ДВО РАН, 2014. – С. 315–317.

88. Медведева Л.А. Альгологические исследования водотоков бассейна реки Зея и Зейского водохранилища // Гидроэкологический мониторинг зоны влияния Зейского гидроузла. – Хабаровск: ДВО РАН, 2010. – С. 45–91.

89. Методические указания по разработке правил использования водохранилищ (утверждены приказом Минприроды России от 26 января 2011 г. № 17). [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902260669>.

90. Мищенко Н.В. Почвенно-продукционный потенциал экосистем речных бассейнов на основе наземных и дистанционных данных: автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Владимир, 2011. – 50 с.

91. Научный социально-экологический мониторинг и базы данных зоны влияния Бурейского гидроузла. Ихтиологический мониторинг водохранилища БГЭС и р. Буря в нижнем бьефе. Отчет (I этап – 2003–2007). – Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2008. – 122 с.

92. Никитина О.И. Экологический сток и его значение для пресноводных экосистем. Экологический сток в бассейне Амура. Пилотный проект по экологическим проблемам речных бассейнов Даурии и Амура «Высыхающая Даурия» [Электронный ресурс]. – Москва, 2015. – 97 с. – Режим доступа: <https://ehlm.unesco.org> › Nikitina_EFlows_final_august.

93. Никитина О.И. Влияние зарегулирования на водный режим и пресноводные экосистемы в бассейне Среднего Амура // Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность: сборник трудов X международной научной конференции молодых ученых и талантливых студентов «Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность», ИВП РАН, 6-8 декабря 2016 г. – М.: ИВП РАН, 2016. – С. 193–196.

94. Никитина О.И. Гидролого-гидрохимические характеристики озер Муравьевского парка // Бассейн реки Гильчин: История. Водно-болотные угодья. Водные ресурсы. – Владивосток: Дальнаука, 2016. – С. 66–79.

95. Никитина О.И. Развитие гидроэнергетики в Амурском бассейне: возможные перспективы и аспекты воздействия на окружающую среду // Пятое Всероссийское совещание гидроэнергетиков. Сильной России – мощную обновленную гидроэнергетику! Расширенные тезисы докладов. – М., 2013. – С. 88–91.

96. Никитина О.И. Экологические попуски для устойчивого функционирования пресноводных экосистем на зарегулированных реках бассейна Амура // Материалы IX Международной научно-практической конференции «Реки Сибири и Дальнего Востока». – Иркутск, 2015. – С. 159–162.

97. Никитина О.И., Базаров К.Ю., Егидарев Е.Г., Канзепарова А.Н. Изменение водных и околотоводных экосистем в нижнем бьефе Зейской ГЭС в

условиях регулирования стока реки Зея // Международная научно-практическая конференция «Третьи Виноградовские Чтения. Грани гидрологии» памяти выдающегося русского ученого Ю.Б. Виноградова (28-31 марта 2018 г.): сборник докладов. – СПб.: СПбГУ, 2018. – С. 426–430.

98. Никитина О.И., Симонов Е.А., Егидарев Е.Г. Адаптация к наводнениям на Амуре и охрана природы // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2015. – №3. – С. 15–24.

99. Никитина О.И., Симонов Е.А., Егидарев Е.Г. Оценивая издержки гидроэнергетики: методы и эффективность сохранения водных экосистем в бассейне Амура // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: Сборник трудов VII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Пермь, 30 мая - 2 июня 2019 г.): в 3 т. Т.3: Управление водными ресурсами. Гидробиология и ихтиология. Вопросы гидрологии и геоэкологии (секция молодых ученых) – Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2019. – С. 28–32.

100. Никольский Г.В. Экология рыб. – М.: Высшая школа, 1974. – 357 с.

101. Новикова Н.М., Волкова Н.А., Назаренко О.Г. К методике изучения и оценки воздействия водохранилищ на природные комплексы побережий // Аридные экосистемы. – 2015. – Т. 21. – №4 (65). – С. 84–94.

102. Новикова Н.М., Кузьмина Ж.В., Подольский С.А., Балюк Т.В. Критерии, ограничивающие регулирование режима речного стока по экологическим показателям. // Аридные экосистемы. – 2005. – Т. 11. – №28. – С. 26–38.

103. Новомодный Г.В., Золотухин С.Ф., Шаров П.О. Рыбы Амура: богатство и кризис. – Владивосток: АВК «Апельсин», 2005. – 63 с.

104. Новороцкий П.В. Климатические изменения в бассейне Амура за последние 115 лет // Метеорология и гидрология. №2. 2007. С. 43–53.

105. Островская Е.В. Причины изменения запасов амурской щуки *Esox reicherti* // Известия ТИНРО. – 2017. – Т. 189. – С. 67–73.

106. Павлов Д.С., Катунин Д.Н., Алехина Р.П., Власенко А.Д., Дубинина В.Г., Сидорова М.А. Требования рыбного хозяйства к объему весенних попуском в дельту Волги // Рыбное хозяйство. – 1989. – № 9. – С. 29-32.

107. Павлов Д.С., Савvaitова К.А., Соколов Л.И., Алексеев С.С. Редкие и исчезающие животные. Рыбы. – М.: Высшая школа. 1994. – 334 с.
108. Парилов М.П. К экологии японского журавля в Хинганском заповеднике. На правах рукописи. Дипломная работа. – Иркутск: ИГУ, 1996. – 130 с.
109. Парилов М.П., Игнатенко С.Ю., Кастрикин В.А. Гипотеза влияния многолетних гидрологических циклов и глобального изменения климата на динамику численности японского, даурского журавлей и дальневосточного аиста в бассейне реки Амур // Влияние изменения климата на экосистемы бассейна реки Амур. – М.: WWF России, 2006. – С. 95–109.
110. Петенков А.В., Ершова Л.М. Экологизация использования водных ресурсов малых рек // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 3. – С. 5-7.
111. Подольский С.А. Экологические и социально-экологические аспекты различных вариантов гидростроительства в Приамурье // Материалы Московского городского отделения Русского географического общества. Биogeография. Вып. 18. – М.: Издательский дом Типография РАСХХ, 2014. – С. 85–101.
112. Подольский С.А., Коцюк Д.К., Антонов А.И., Парилов М.П. Оценка возможных угроз позвоночным животным при гидростроительстве в Дальневосточном регионе // Экосистемы: экология и динамика. – 2017. – Т.1. – № 2. – С. 103–131.
113. Правила использования водных ресурсов Зейского водохранилища на р. Зее (утверждены приказом Федерального агентства водных ресурсов от 18 июля 2018 г. N 151) [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71931776/>.
114. Проект нормативов допустимого воздействия (НДВ) по бассейну р. Амур: Зей. Федеральное агентство водных ресурсов РФ. Амурское бассейновое водное управление. – Хабаровск, 2012. – 119 с.

115. Проект нормативов допустимого воздействия (НДВ) по бассейну р. Амур: Буря. Федеральное агентство водных ресурсов РФ. Амурское бассейновое водное управление. – Хабаровск, 2012. – 97 с.

116. Ресурсы поверхностных вод СССР, Том 18. Дальний Восток. Выпуск 1. Верхний и Средний Амур (от истоков до с. Помпеевка) – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 781 с.

117. Рец Е.П. Биоразнообразие долинных комплексов Среднего Приамурья: на примере сосудистых растений Хинганского заповедника: дисс. ... канд. биол. наук. – Архара, 2013. – 168 с.

118. Сапаев В.М. Зарегулирование Амура. Возможна ли оптимизация условий? – Наука и природа Дальнего Востока. – 2006. – №2. – С. 86–95.

119. Сапаев В.М., Воронов Б.А. Состояние и прогноз изменения среды обитания редких птиц в связи с созданием Бурейского гидроузла (нижний бьеф). Заключительный отчет по договору о творческом содружестве между ХабКНИИ и Ленгидропроектом на 1977–1978 гг. – Хабаровск, 1979. – 117 с.

120. Семенченко Н.Н. Гидрологический режим р. Амур и численность промысловых пресноводных рыб // Современное состояние водных биоресурсов: материалы науч. конф., посвящ. 70-летию С.М. Коновалова. – Владивосток: ТИНРО-центр, 2008. – С. 246–250.

121. Симонов Е.А., Егидарев Е.Г., Меньшиков Д.А., Халяпин Л.Е., Королев Г.С. Комплексная эколого-экономическая оценка развития гидроэнергетики бассейна реки Амур – М.: WWF России, En+ Group, 2015. – 279 с.

122. Симонов Е.А., Егидарев Е.Г., Никитина О.И., Книжников А.Ю., Зенькова А.С. Комплексная эколого-экономическая оценка развития гидроэнергетики Амурского бассейна // Материалы VIII международной научно-практической конференции «Реки Сибири и Дальнего Востока». – Иркутск: ИРОО «Байкальская Экологическая Волна», 2013. – С. 231–233.

123. Симонов Е.А., Никитина О.И., Осипов П.Е., Егидарев Е.Г., Шаликовский А.В. Мы и амурские наводнения: невыученный урок? – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2016. – 216 с.

124. Сиротский С.Е. Первичная продукция и деструкция органического вещества бассейна Нижнего Амура: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Киев, 1991. – 26 с.

125. Соколова Г.В. Анализ водного режима Амура за период до катастрофического наводнения в 2013 г. // Метеорология и гидрология. – 2015. – № 7. – С. 66-69.

126. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Амур (в 55 книгах). – Екатеринбург: ФГУП РосНИИВХ, 2013.

127. Трифонова Т.А., Мищенко Н.В., Репкин Р.В. Оценка продукционного потенциала растительного покрова бассейна реки Оки с использованием материалов космической съемки // Проблемы региональной экологии. – 2009. – № 2. – С. 94–98.

128. Фащевский Б.В. Методика определения остаточного экологического стока по принципу сохранения биопродуктивности // Охрана природы при проектировании мелиоративных и водохозяйственных систем. – М., 1984. – С. 74–81.

129. Фащевский Б.В. Экологическое обоснование допустимой степени регулирования речного стока. – Минск: БелНИИНТИ, 1989. – 51 с.

130. Фащевский Б.В. Основы экологической гидрологии. – Минск: Экоивест. 1996. – 240 с.

131. Фащевский Б.В. Экологическое значение поймы в речных экосистемах // Ученые записки РГГМУ. – 2007. – № 5. – С. 118–119.

132. Хазиахметов Р.М., Яковлев Д.А., Книжников А.Ю., Никитина О.И. Методика оценки соответствия гидроэнергетических проектов критериям устойчивого развития // Экологический ежегодник. – 2013. – № 1. – С. 30–34.

133. Черенкова Е.А., Золотокрылин А.Н., Мандыч А.Ф. Увлажнение водосбора реки Зeya по метеорологическим и спутниковым данным //

Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14. – № 3. – С. 305–314.

134. Шаликовский А.В. Предупреждение и снижение негативных последствий наводнений в верхней части бассейна реки Амур. – Чита: ЧитГУ, 2009. – 226 с.

135. Шаликовский А.В., Заслоновский В.Н., Курганович К.А., Босов М.А., Солодухин А.А., Шаликовский Д.А. Современная ситуация на пограничном участке реки Аргунь // Водное хозяйство России. – 2018. – №2. – С. 4–18.

136. Шалыгин А.Л., Дугина И.О. Катастрофическое наводнение 2013 года в бассейне Амура: причины, особенности, последствия // Экстремальные паводки в бассейне Амура: гидрологические аспекты. – СПб: ФГБУ «ГГИ», ООО «ЭсПэХа», 2015. – С. 21–34.

137. Шамов В.В, Гарцман Б.И., Губарева Т.С., Макагонова М.А. Исследования гидрологических последствий современных изменений климата в дальневосточном регионе России // Вестник ДВО РАН. – 2014. – № 2. – С. 15–23.

138. Шахов И.С. Методика расчета экологических попусков по рекам Урала. // Охрана природных вод Урала, Вып. 11. – Свердловск: Средне-Уральское книжное изд-во, 1980. – С.112–120.

139. Шестеркин В.П. Зимний гидрохимический режим Амура // Вестник ДВО РАН. – 2007. – № 4. – С. 35–43.

140. Шестеркин В.П. Изменение химического состава речных вод в Хабаровском водном узле за столетие // Тихоокеанская геология. – 2010. – Т. 29. – № 2. – С. 112–118.

141. Шестеркин В.П. О загрязнении вод Амура железом // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Реки Сибири и Дальнего Востока» – Владивосток: WWF России, 2011. – С. 141–144.

142. Шестеркин В.П. Изменение содержания органического вещества в воде Амура у Хабаровска в зимнюю межень // География и природные ресурсы. – 2012. – № 3. – С. 100–104.

143. Шестеркин В.П. К проблеме аномальной динамике содержания железа в воде Амура // Всероссийская конференция «Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата», 29 сентября-3 октября 2014 г., Хабаровск: сб. докладов – Хабаровск, ИВЭП ДВО РАН, 2014. – С. 182–185.

144. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Влияние Зейского и Бурейского водохранилищ на зимний гидрохимический режим Среднего Амура // Научные основы экологического мониторинга водохранилищ: Материалы Всерос. науч.-практ. конф., Хабаровск, 28 февр.-3 марта 2005 г. – Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2005. – С. 63–65.

145. Abell, R., Allan, J. D., Lehner, B. Unlocking the potential of protected areas for freshwater // *Biological Conservation*. – 2007. – V. 16. – Pp. 1435–1437.

146. Acreman, M, Hughes, K.A., Arthington, A.H., Tickner, D., Dueñas, M.-A. Protected areas and freshwater biodiversity: A novel systematic review distils eight lessons for effective conservation // *Conservation Letters*. – 2020. – V. 13(1). – 14 p. <https://doi.org/10.1111/conl.12684>.

147. Adams, V.M., Setterfield, S.A., Douglas, M.M., Kennard, M. J., Ferdinands, K. Measuring benefits of protected area management: Trends across realms and research gaps for freshwater systems // *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. – 2015. – V. 370(1681). – 12 p. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0274>.

148. Arthington, A.H., Bhaduri, A., Stuart E. Bunn, S.E., Jackson, S.E., Rebecca E. Tharme, R.E., Tickner, D., Young, B., Acreman, M., Baker, N., Capon, S., Horne, A.C., Kendy, E., McClain, M.E., Poff, N.L R., Richter, B.D., Ward S. The Brisbane Declaration and Global Action Agenda on Environmental Flows // *Frontiers in Environmental Science*. – 2018. – V. 6. – 15 p. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00045>.

149. Balian, E.V., Segers, H., Lévêque, C., Martens, K. The Freshwater Animal Diversity Assessment: an overview of the results // *Hydrobiologia*. – 2008. – V. 595. – Pp. 627–637. doi:10.1007/s10750-007-9246-3 (2008).

150. Bower, S.D., Lennox, R.J., Cooke, S.J. Is there a role for freshwater protected areas in the conservation of migratory fish? // *Inland Waters*. – 2014. – V. 5. – Pp. 1–6. <https://doi.org/10.5268/IW-5.1.779>.
151. Brauman, K.A., B.D. Richter, S. Postel, M. Malsy, and M. Flörke. 2016. Water depletion: An improved metric for incorporating seasonal and dry-year water scarcity into water risk assessments // *Elementa: Science of the Anthropocene*. – 2016. – V. 4: 000083. – 12 p. doi: 10.12952/journal.elementa.000083.
152. Bunn, S., Arthington, A. Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity // *Environmental Management*. – 2002. – V. 30(4). Pp. 492–507.
153. Chen, J., Li, Q. Assessment of eco-operation effect of Three Gorges Reservoir during trial run period // *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*. – 2015. – V. 32(4). – Pp. 1–6.
154. Chu, C., Ellis, L., de Kerckhove, D.T. Effectiveness of terrestrial protected areas for conservation of lake fish communities // *Conservation Biology*. – 2018. – V. 32(3). Pp. 607–618. <https://doi.org/10.1111/cobi>.
155. Dyson, M., Bergkamp, G. and Scanlon, J. *Flow: the essentials of environmental flows*. Gland, Switzerland: IUCN – the World Conservation Union, 2003. 118 p.
156. Egidarev, E.G., Simonov, E.A., Nikitina, O.I., Osipov, P.E., Shalikovskiy, A.V. Wild Floods in the Amur River Basin // *Heritage Dammed: Water Infrastructure Impacts on World Heritage Sites and Free Flowing Rivers*. Civil Society Report to the UNESCO World Heritage Committee and Parties of the World Heritage Convention. Moscow: Rivers without Boundaries, World Heritage Watch, 2019. Pp. 89–92.
157. Giglio L., Schroeder, W., Justice, C.O. The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products // *Remote Sensing of Environment*. 2016. – V. 178. – Pp. 31–41.
158. Grill, G., Lehner, B., Thieme, M., Geenen, B., Tickner, D., Antonelli, F., Babu, S., Borrelli, P., Cheng, L., Crochetiere, H., Ehalt Macedo, H., Filgueiras, R.,

Goichot, M., Higgins, J., Hogan, Z., Lip B., McClain, M. E., Meng J., Mulligan, M., Nilsson, C., Olden J. D., Opperman J. J., Petry, P., Liermann, C. R., Sáenz, L., Salinas-Rodríguez, S., Schelle, P., Schmitt, R. J. P., Snider, J., Tan, F., Tockner, K., Valdujo, P. H., A. van Soesbergen & Zarfl, C. Mapping the world's free-flowing rivers // *Nature*. – 2019. – V. 569. – Pp. 215–221. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1111-9>.

159. Harwood, A., Johnson, S., Richter, B., Locke, A., Yu, X. and Tickner, D. Listen to the river: Lessons from a global review of environmental flow success stories. – Woking, UK: WWF-UK, 2017. – 114 p.

160. Heim, W. A survey of breeding waterbird communities on lakes and other waterbodies on the middle reaches of the Amur river valley near Blagoveshensk, Amur province, Far East Russia // *BirdingASIA*. –2016. V. 26. Pp. 98–103.

161. Heim, W., Trense, D., Sokolova, G.V., Kitagawa, T. Increased Populations of Endangered Cranes After Amur River Flood // *Waterbirds*. – 2017. – V. 40(3). – Pp. 282–288.

162. ICOLD. ICOLD World Register of Dams [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: https://www.icold-cigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp.

163. Karr, J.R., Dudley, D.R. Ecological perspective on water quality goals // *Environmental Management*. – 1981. – V. 5. – Pp. 55–68.

164. King, J.M., Tharme, R.E., De Villiers, M., eds. Environmental flow assessments for rivers: manual for the building block methodology. Technology transfer report TT131/00. – Pretoria: Water Research Commission, 2000. – 340 p.

165. Le Quesne, T., Pegram, G., Von Der Heyden, C. Allocating Scarce Water. A primer on water allocation, water rights and water markets. WWF Water Security Series 1. – WWF, 2007. – 44 p.

166. Lu, C., Duan, J., Junaid, M., Cao, T., Ding, S., Pei, D. Recent status of fishes in the Yangtze River and its ecological health assessment // *American Journal of Environmental Sciences*. – 2016. – V. 12 (2). – Pp. 86–93.

167. Mathews, R., Richter, B.D. Application of the indicators of hydrologic alteration software in environmental flow setting // *Journal of the American Water Resources Association*. – 2007. – V. 43(6). – Pp. 1400–1413.
168. Moir, K., Thieme, M., Opperman, J. *Securing a Future that Flows: Case Studies of Protection Mechanisms for Rivers*. – Washington D.C.: World Wildlife Fund and The Nature Conservancy, 2016. – 24 p.
169. Motovilov, Y.G., Danilov-Danilyan, V.I., Dod, E.V., Kalugin, A.S. Assessing the flood control effect of the existing and projected reservoirs in the Middle Amur basin by physically-based hydrological models // *Water Resour.* – 2015. – V. 42. – Pp. 580–593. doi:10.1134/S0097807815030124.
170. Nikitina, O. Impacts of dams on freshwater ecosystems and flow regimes in the Middle Amur River basin // *Uniting Europe for Clean Water: Cross-Border Cooperation of Old, New and Candidate Countries of EU for identifying problems, finding causes and solutions. Book of Abstracts*. Budapest, 2017. – Pp. 103–104.
171. Nikitina, O.I., Bazarov, K.Y., Egidarev, E.G. Application of remote sensing data for measuring freshwater ecosystems changes below the Zeya dam in the Russian Far East // *Proc. IAHS*. – 2018. – V. 379. Pp. 49–53. doi.org/10.5194/piahs-379-49-2018.
172. Nikitina, O.I., Dubinina, V.G., Bolgov, M.V., Parilov, M.P., Parilova, T.A. Environmental Flow Releases for Wetland Biodiversity Conservation in the Amur River Basin // *Water*. – 2020. – V. 12. – 2812. doi.org/10.3390/w12102812.
173. O’Keeffe, J., Le Quesne, T. *Keeping rivers alive. A primer on environmental flows and their assessment*. WWF Water Security Series 2. – WWF, 2009. – 39 p.
174. Opperman, J. J., Orr, S., Baleta, H., Dailey, M., Garrick, D., Goichot, M., McCoy, A., Morgan, A., Turley, L., Vermeulen, A. *Valuing Rivers: How the diverse benefits of healthy rivers underpin economies*. – WWF, 2018. – 35 p.
175. Pittock, J., Finlayson, M., Arthington, A. H., Roux, D., Matthews, J. H., Bigs, H., ... Viers, J. *Managing freshwater, river, wetland and estuarine protected areas // Protected area governance and management*. ANU Press: Canberra, Australia, 2015. – 966 p.

176. Poff, N.D.; Bain, M.B., Karr, J.R.; Prestegard, K.L.; Richter, B.D.; Sparks, R.E., Stromberg, J. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration // *Bioscience*. – 1997. – V. 47. – Pp. 769–784.
177. Richter, B.D., Baumgartner, J., Wigington, R., Braun, D. How much water does a river need? // *Freshwater Biology*. – 1997. – V. 37(1). – Pp. 231–249.
178. Richter, B.D., Thomas G.A. Restoring environmental flows by modifying dam operations // *Ecology and Society*. – 2007. – V. 12(1):12. – 26 p.
179. Simonov, E., Dahmer, T. Amur-Heilong River Basin Reader. – Hongkong: Ecosystems LTD, 2008. – 426 p.
180. Simonov, E.A., Nikitina, O.I., Egidarev, E.G. Freshwater Ecosystems versus Hydropower Development: Environmental Assessments and Conservation Measures in the Transboundary Amur River Basin // *Water*. – 2019. – V. 11(8). – 1570. doi.org/10.3390/w11081570.
181. Smakhtin, V. Environmental flows: a call for hydrology // *Hydrological Processes*. – 2007. – V. 21(5). – P. 701–703.
182. Smirenski, S.M., Smirenski, E.M. Drought and current status of cranes of the Amur Region // *Abstracts 2007*. – Suncheon International Crane Symposium, 2007. – Pp. 36–39.
183. Smirenski, S.M., Smirenski, E.M. Protection status of the Red-crowned Crane in the Amur Region of Russia – practical measures to offset the threats // *Kushiro Initiative for the Conservation of the Red-crowned Crane*, 2009. – Pp. 21–31.
184. Volovik, S.P., Dubinina, V.G., Semenov, A.D. Hydrobiology and dynamics of fisheries in the Azov Sea // *General Fisheries Council for the Mediterranean. Studies and Reviews*. N 64. Rome: FAO, 1993. – P. 1–58.
185. Winter S.W. Diet of the Oriental White Stork (*Ciconia boyciana* Swinhoe) in the Middle Amur region, USSR // *Biology and conservation of the Oriental White Stork *Ciconia boyciana**. Savannah River Ecology Laboratory, Aiken, South Carolina, U.S.A, 1991. – Pp. 31–45.

186. World Bank Group. Environmental Flows for Hydropower Projects: Guidance for the Private Sector in Emerging Markets. Washington, DC: International Finance Corporation, 2018. – 154 p.

187. WWF. Living Planet Report 2018: Aiming Higher. Grooten, M. and Almond, R.E.A.(Eds). – Gland, Switzerland: WWF, 2018. – 144 p.

188. WWF. Living Planet Report 2020: Bending the Curve of Biodiversity Loss: A Deep Dive into Freshwater [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: https://www.wwf.org.uk/sites/default/files/2020-09/LPR2020_freshwater.pdf.

189. Zarfl, C., Lumsdon, A. E., Berlekamp, J., Tydecks, L., Tockner, K. A global boom in hydropower dam construction // Aquatic Sciences. – 2015 – V. 77. – Pp. 161–170.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А. Алгоритм расчета безвозвратного изъятия стока и экологического стока

1. На основе анализа связей естественных (восстановленных) гидрологических характеристик реки с продуктивностью водных экосистем или с характеризующими ее косвенными показателями находятся переломные точки (критический расход и объем воды, $Q_{кр}$ и $W_{кр}$), соответствующие критическому состоянию водных экосистем.

2. Определяется исторически минимальный объем стока ($W_{ист}$), в качестве которого принимается восстановленный минимальный сток в год 99% обеспеченности.

3. Сопоставлением критического объема стока с исторически минимальным определяется та часть стока, которая, в среднемноголетнем аспекте, может быть изъята из водного объекта с минимальным ущербом для экосистемы. Среднемноголетний объем допустимого безвозвратного изъятия $W_{ди\ ср.}$ определяется по формуле:

$$W_{ди\ ср.} = W_{кр} - W_{ист} \quad (1)$$

Внутригодовое распределение $W_{ди\ ср.}$, $W_{кр}$ и $W_{ист}$ осуществляется в соответствии со среднемноголетними величинами естественного (восстановленного) стока.

4. Определяется допустимое безвозвратное изъятие речного стока для замыкающего створа бассейна реки в годы различной водности j ($W_{ди\ j}$) по формуле (с учетом лимитирующих и нелимитирующих периодов и сезонов водохозяйственного года):

$$W_{ди\ j} = W_{ди\ ср.} \cdot \frac{W_j}{W_{ср}} \quad (2)$$

где: W_j и $W_{ср}$ — соответственно, естественный (восстановленный) сток в j -ый год и среднемноголетний естественный (восстановленный) сток в

замыкающем створе бассейна реки (определяемые с учетом лимитирующих и нелимитирующих периодов и сезонов водохозяйственного года).

5. Расчет величины допустимого безвозвратного изъятия стока в бассейне реки к вышерасположенным (относительно замыкающего створа бассейна реки) замыкающим створам расчетных водохозяйственных участков по стволу главной реки в различные по водности годы производится по формуле:

$$W^i \delta u_j = K_j^i \cdot W \delta u_j \quad (3)$$

где $W \delta u_j$ — допустимое безвозвратное изъятие речного стока установленное в целом по бассейну года j ;

$K_j^i = W_j^i / W_{зам.j}$ — коэффициент пропорциональности, где

W_j^i - сток в j -ый год в замыкающем створе i -го водохозяйственного участка по стволу реки,

$W_{зам.j}$ — сток в замыкающем створе бассейна реки.

Использование формулы (3) при определении $W^i \delta u_j$ связано с тем, что обеспеченности годового стока в каком-либо замыкающем створе водохозяйственного участка в значительной мере отличаются от обеспеченностей годового стока с частных водосборов в каждом конкретном году.

6. В маловодные годы со стоком ниже $W_{кр}$ допускается изъятие воды только для обеспечения приоритетных водопотребителей (питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения), при этом объем изъятия должен быть менее $W \delta u$.

7. Исходя из установленной величины $W^i \delta u_j$, рассчитывается экологический сток ($W^i \varepsilon_j$) для j -того года:

$$W^i \varepsilon_j = W_j^i - W^i \delta u_j \quad (4)$$

8. Экологический попуск ($W \varepsilon_j$), осуществляемый из водохранилища, формируется с учетом рыбохозяйственного, руслоформирующего, санитарного, а также других видов попусков (расходов). При отсутствии боковой приточности на участке ниже плотины в

замыкающем створе бассейна (водохозяйственного участка) $W_{эпj} = W_{экj}$. При наличии боковой приточности экологический попуск из водохранилища (с учетом приточности) должен обеспечивать соблюдение экологического стока в замыкающем створе.

При установлении $W_{эпj}$ за основу может быть принят рыбохозяйственный попуск, обеспечивающий условия естественного размножения ценных промысловых и других видов рыб, а также других водных животных и растений в нижних бьефах гидроузлов и нагула их в водных объектах, замыкающих гидрографическую сеть.

9. Внутригодое распределение $W_{диj}$, $W_{эсj}$, $W_{эпj}$ осуществляется в соответствии с внутригодовым распределением стока конкретного года.

**Приложение Б. Распределение стока в годы разной водности, используемое при расчетах экологического стока р.
Зeya – г/п Белогорье**

Таблица Б1. Среднемесячные расходы и распределение стока в 1963 г. (год 25%-ной обеспеченности стока)

Период водности	Осенне-зимний период				Весенне-летний период					Осенне-зимний период			Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Расход, м ³ /с	121	92,5	94,8	602	4200	5890	5691	4450	1870	1210	554	255	25030
Доля стока от годовой величины, %	0,5	0,4	0,4	2,4	17	24	23	18	7,5	4,8	2,2	1,0	100
Продолжительность затопления поймы, дни					2	12	10	7					

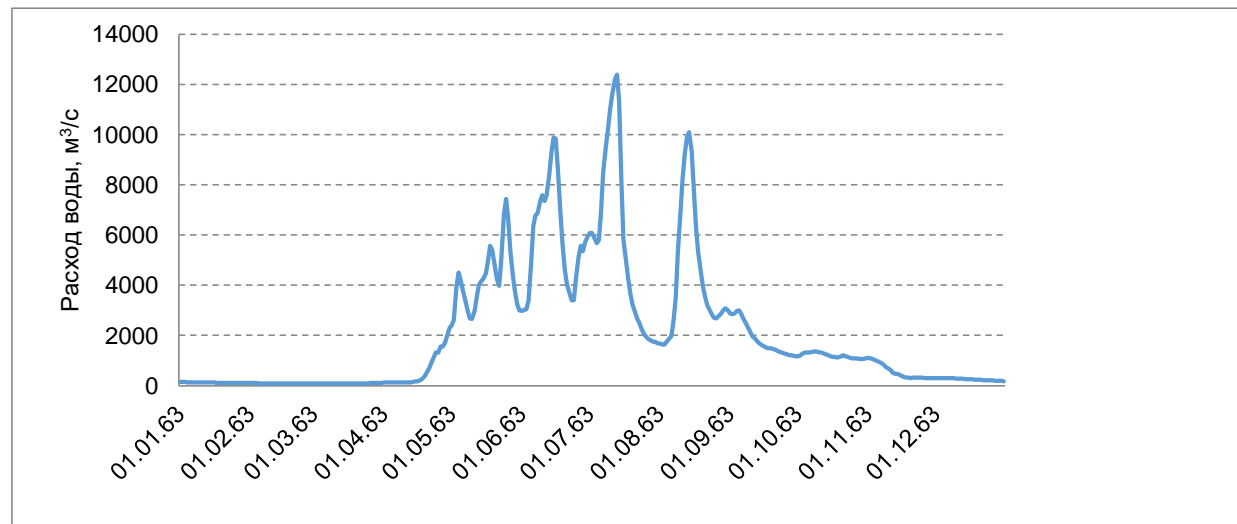


Рисунок Б1. Гидрограф стока 1963 г.

Таблица Б2. Среднемесячные расходы и распределение стока в 1966 г. (год 50%-ной обеспеченности стока)

Период водности	Осенне-зимний период				Весенне-летний период					Осенне-зимний период			Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Месяц													
Расход, м ³ /с	104	82,6	69,7	165	2700	4640	3790	6530	2380	1130	333	163	22087
Доля стока от годовой величины, %	0,5	0,4	0,3	0,7	12	21	17	30	11	5,1	1,5	0,7	100
Продолжительность затопления поймы, дни						1+3*	7	11+3					

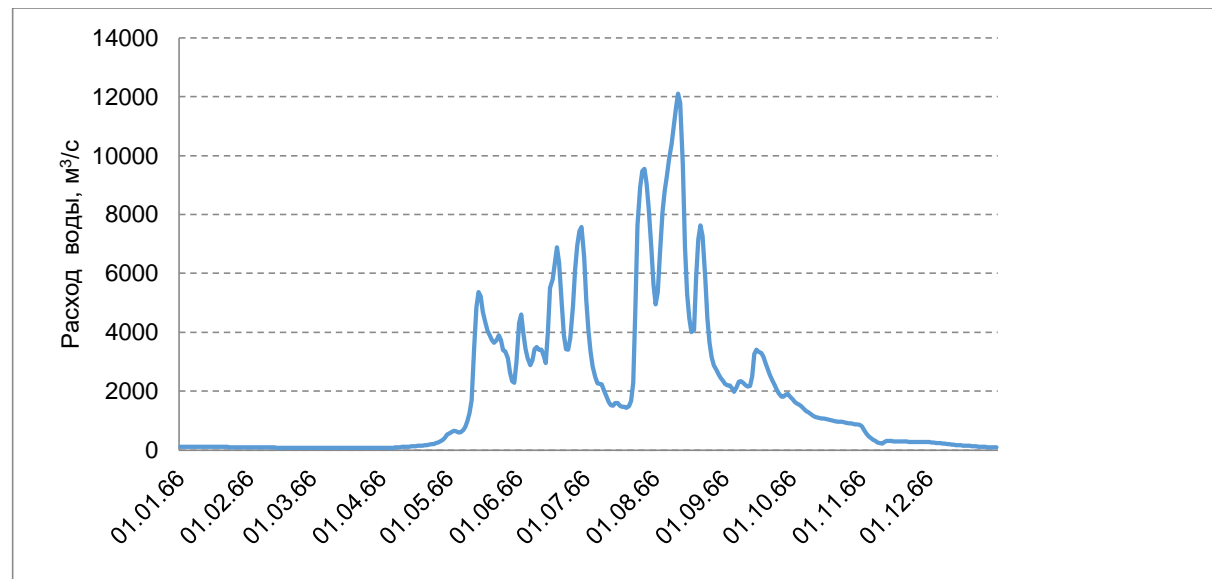


Рисунок Б2. Гидрограф стока 1966 г.

*Примечание: «+» в таблице означает, что затопление поймы шло с разрывом во времени

Таблица Б3. Среднемесячные расходы и распределение стока в 1971 г. (год 75%-ной обеспеченности стока)

Период водности	Осенне-зимний период				Весенне-летний период					Осенне-зимний период			Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Месяц													
Расход, м ³ /с	98,5	81,8	69,9	214	4060	2200	3930	3330	4280	1230	418	173	20085
Доля стока от годовой величины, %	0,5	0,4	0,3	1,1	20	11	20	17	21	6,1	2,1	0,9	100
Продолжительность затопления поймы, дни					4		6	2	4				

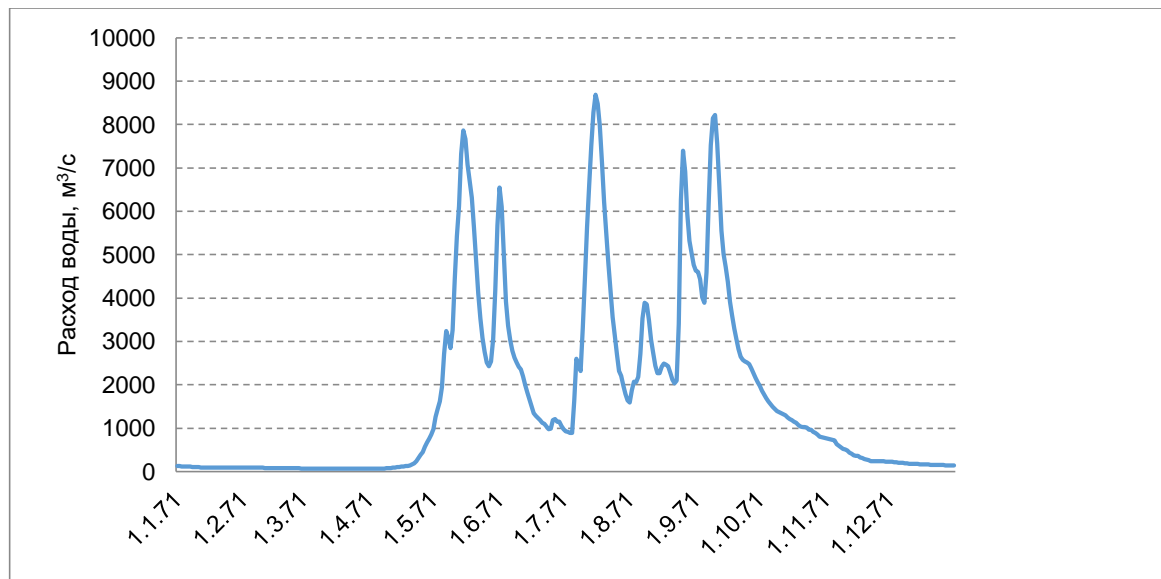


Рисунок Б3. Гидрограф стока 1971 г.

Таблица Б4. Среднемесячные расходы и распределение стока в 1968 г. (год 95%-ной обеспеченности стока)

Период водности	Осенне-зимний период				Весенне-летний период					Осенне-зимний период			Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Месяц													
Расход, м ³ /с	78,6	68,4	65	548	4300	2530	3310	1300	1790	1220	305	141	15656
Доля стока от годовой величины, %	0,5	0,4	0,4	3,5	27	16	21	8,3	11	7,8	1,9	0,9	100
Продолжительность затопления поймы, дни					7		3						

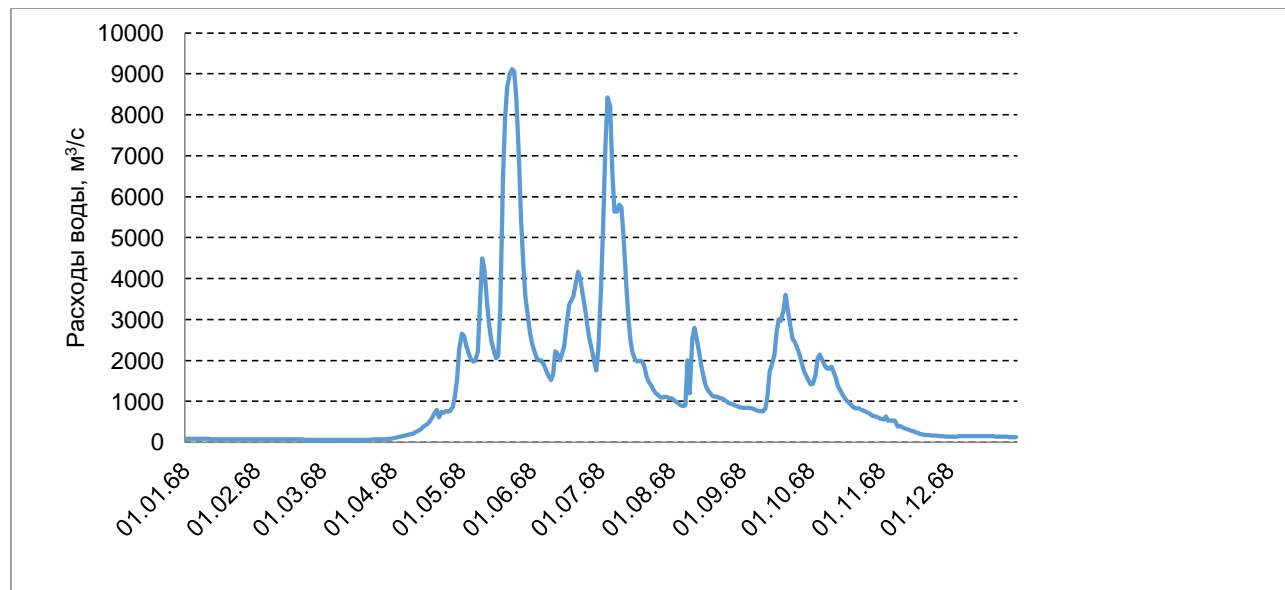


Рисунок Б4. Гидрограф стока 1968 г.