ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
И Н С Т И Т У Т В О Д Н Ы Х П Р О Б Л Е М
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИВП РАН)

(на правах рукописи)

Направление подготовки: 05.06.01 – Науки о Земле
Направленность (профиль) подготовки: 25.00.36 – Геоэкология
Форма обучения: очная

НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
«Трансформация водных и пойменных экосистем Среднего Амура в результате регулирования стока»

Аспирант: Никитина Оксана Игоревна

(подпись аспиранта)

Научный руководитель:
Болгов Михаил Васильевич, д.т.н.

(подпись научного руководителя)

Соруководитель:
Дубинина Валентина Георгиевна, д.г.н.

(подпись научного руководителя)

Москва 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 4
Глава 1. Экологический сток как мера адаптации пресноводных экосистем к антропогенному воздействию 9
1.1. Естественный водный режим и его экологические функции 9
1.2. Концепция экологического стока 11
1.3. Методы оценки экологического стока (попусков) 14
1.3.1. Методы гидрологических обоснований 15
1.3.2. Методы выявления функциональных связей 17
1.3.3. Метод определения критического состояния водных экосистем…… ..... ……18
1.3.4. Метод повышения обеспеченности 19
1.4. Примеры успешной реализации экологического стока 20
1.4.1. Экологические запасы воды в Мексике 20
1.4.2. Водный рынок и экологический сток в бассейне рек Муррей и Дарлинг, Австралия 22
1.5. Экологические попуски как компенсационная мера при регулировании водного режима плотинами 24
1.6. Примеры успешной реализации экологических попусков в мире…… 26
1.6.1. Экологические попуски в бассейне реки Саванна, США 26
1.6.2. Экологические попуски в бассейне реки Янцзы, Китай .. 27
1.7. Экологические попуски в России 30
1.7.1. Экологические попуски в бассейне Нижней Волги 31
1.7.2. Эколого-рыбохозяйственные попуски для сохранения экосистем Дона 32
Выводы 34
Глава 2. Регулирование стока в бассейне Среднего Амура и его влияние на компоненты водных и околоводных экосистем 36
2.1. Физико-географическая характеристика района исследований 36
2.2. Социально-экономическая характеристика водопользования в бассейне Амура 40
2.3. Характеристика региона Среднего Амура 41
2.4. Плотины в бассейне Среднего Амура и их влияние на экосистемы 45
2.5. Анализ изменений водного режима реки Зея 50
Выводы 60
Глава 3. Применение дистанционных методов для оценки изменения экосистем 62
3.1. Оценка пространственно-временного изменения объектов пойменных территорий реки Зея 64

3.2. Анализ динамики изменения водных объектов 73
3.3. Оценка изменения биомассы участков поймы 77
Выводы 82
Глава 4. Ихтиофауна Среднего Амура и требования регулирования стока для поддержания водного биологического разнообразия 83
4.1. Особенности экологии ихтиофауны Амура 83
4.1.1. Видовой состав ихтиофауны Амура 83
4.1.2. Влияние водного режима, периодов и фаз разной водности на состояние ихтиофауны 85
4.2. Оценка влияния регулирования стока на состояние ихтиофауны и рыбопродуктивность 92
4.3. Состояние рыбного промысла в бассейне Среднего Амура 93
4.4. Рыбохозяйственная характеристика бассейна реки Зея 96
4.4.1. Бассейн Верхней Зеи 97
4.4.2. Бассейн Средней Зеи 99
4.4.3. Бассейн Нижней Зеи 101
4.4.4. Требования к режиму регулирования реки Зея 103
Выводы 105
Заключение 110
Литература 113
Приложения 124
Приложение 1. Внутригодовой ход вегетационного индекса NDVI в разные годы 124
Приложение 2. Динамика вегетационного индекса NDVI, осредненного по территории Благовещенского заказника, в разные месяцы теплого периода 126
Приложение 3. Изменение видового состава ихтиофауны Зейского водохранилища за период с 1975 по 2008 гг. 128
Приложение 4. Видовой состав ихтиофауны бассейна Средней Зеи (ниже от плотины) 129

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Определение природоохранных мер – значимая проблема при эксплуатации гидроузлов. При разработке режимов работы гидроузлов представители сферы водного хозяйства и гидроэнергетики в основном ориентируются на факторы, оказывающие положительный эффект. В частности, большое внимание уделяется таким факторам, как: снижение негативного воздействия вод при наводнениях, выработка электроэнергии, обеспечение устойчивого водоснабжения и благоприятных условий для водного транспорта, мелиорации, рекреации. При этом недостаточное внимание уделяется факторам неизбежного негативного воздействия гидроузлов на окружающую среду и мерам по их минимизации. Примеры негативного воздействия: нарушение естественного режима речного стока, разобщенность единой экосистемы речного бассейна, пресечение путей миграции и изменение мест обитания видов, выбросы парниковых газов с поверхности водохранилищ, изменение русловых процессов, затопление ценных территорий при образовании водохранилища, изменение микроклимата в зоне влияния гидроузла, трансформация теплового стока, изменение гидробиологических и гидрохимических свойств водного объекта. В действующей нормативной базе предусмотрены требования к регулированию стока, основанные на водохозяйственных критериях без учета экосистемных требований. При регулировании стока существует конфликт интересов по обеспечению требуемого водного режима между обеспечением незатопляемости территории, выработкой энергии и поддержанием биологического разнообразия. Чтобы обеспечить максимальные социально-экономические выгоды и при этом поддержать устойчивое состояние экосистемы, необходимо найти компромисс. Воздействие плотин на окружающую среду существенно зависит от того, какие компенсационные меры предприняты для его минимизации. Для смягчения негативного воздействия

регулирования стока должны быть разработаны режимы экологических попусков работы водохранилищ – некоторые объемы воды, подаваемые из водохранилища, приближающие условия в нижнем бьефе к естественному и поддерживающие стабильное состояние гидробионтов, ихтиофауны, пойменных экосистем. Реализация экологических попусков, основанных на гидроэкологических и биологических критериях, будет способствовать сохранности экосистем бассейна Среднего Амура. При разработке экологических попусков прежде всего следует определить степень изменения гидрологического режима и рассмотреть экологически значимые гидрологические характеристики.

Степень разработанности темы. С 1970-х гг. специалисты по охране окружающей среды начали обосновывать преимущества устойчивого использования водных ресурсов, при котором в реке с учетом изъятия воды или перераспределения стока остается необходимый для поддержания экосистемы объем водных ресурсов. С начала 1980-хх гг. научное направление экологического стока стало важным аспектом в управлении речными ресурсами во многих странах мира. В СССР проблема нормирования изъятия речного стока и необходимости определения экологического стока возникла в 1960–70-е годы в связи с развитием крупномасштабных работ по водной мелиорации. В мировой практике существует около 200 методов определения величины экологического стока. Как во всем мире, так и в России для большинства речных бассейнов до сих пор не проведена оценка экологического стока. Даже в случае проведенной оценки примеры успешной реализации экологического стока крайне малочисленны. В частности, к настоящему времени экологические попуски из водохранилищ на рр. Зея и Бурея не разработаны и не осуществляются.

Цели и задачи исследования.

Цель – оценить изменения водных и пойменных экосистем в бассейне Среднего Амура, обусловленные регулированием стока, и выявить

индикаторы, позволяющие в дальнейшем разработать режимы экологических попусков из водохранилищ.

Для достижения цели решались следующие **задачи:**

1. Охарактеризовать значимость разных фаз водного режима для поддержания устойчивого состояния пресноводных экосистем и их биологического разнообразия.
2. Проанализировать методологию и примеры успешной реализации экологического стока (попусков) в бассейнах разных стран мира.
3. Оценить изменения водного режима в бассейне р. Зея и проанализировать экологически значимые гидрологические характеристики.
4. Выявить и проанализировать направленность и интенсивность изменения объектов водных и околоводных (пойменных) экосистем ниже плотины Зейской ГЭС в связи с регулированием стока.
5. Изучить экологические особенности условий обитания ихтиофауны Среднего Амура и оценить влияние регулирования стока на рыбные сообщества.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

– Выявлены индикаторы устойчивого функционирования водных и пойменных экосистем при эксплуатации водных ресурсов водохранилищ Среднего Амура.

– Проведена оценка изменения водного режима и выявлены экологически значимые гидрологические характеристики, которые могут быть использованы при разработке экологических попусков.

– Проведена оценка изменения объектов широкой поймы р. Зея, составлены картографические материалы, иллюстрирующие эти изменения. Проанализированы способы оценки изменения пойменных экосистем при использовании разных инструментов ГИС-технологий.

Практическая значимость. Правила использования водных ресурсов водохранилищ (ПИВР) предписывают реализацию экологических

попусков, направленных на поддержание устойчивого состояния экосистем речных бассейнов. ПИВР водохранилищ Среднего Амура (Зейского, Бурейского. Нижне-Бурейского) нужно дополнить обоснованными экологическими требованиями к водному режиму. Результаты научно-исследовательской работы могут быть применены при обосновании экологических попусков из водохранилищ Среднего Амура.

Материалы и методы исследования. При описании экологической значимости гидрологического режима, методов оценки экологического стока и успешных примеров реализации экологического стока и попусков использованы материалы следующих исследователей: Дубининой В. Г., Фащевского Б. В., Симонова Е. А., Егидарева Е. Г., Махинова А. Н., Гусева М. Н., Сапаева В. М., Arthington A. H., Bunn S., Opperman J., Richter B., Poff N. L. и др. Для анализа водного режима использован ряд суточных наблюдений за расходами воды гидрологического поста Белогорье (р. Зея) продолжительностью 56 лет (1957–2013 гг.). Анализ проводился с помощью программного обеспечения Indicators of Hydrologic Alteration. При оценке изменения объектов поймы использовались архивные данные космофотосъемки военных разведывательных миссий CORONA, ARGON, LANYARD и современные космические снимки Landsat. При обработке и дешифрировании дистанционных данных и составлении карт применялось программное обеспечение ArcGIS 10.5. При обобщении информации об ихтиофауне рр. Амур и Зея использованы материалы исследователей: Никольского Г. В., Вронского Б. Б., Крыхтина М. Л., Семенченко Н. Н., Коцюка Д. В., Островской Е. В. и др. Методы исследования: аналитический, статистический, геоинформационный, картографический.

Защищаемые положения:

1. Пространственно-временная изменчивость режима стока важна для поддержания среды обитания водных и околоводных видов,

биологического разнообразия речной экосистемы и постоянства ее видового состава.

2. Эксплуатация гидроузлов в бассейне Среднего Амура оказывает влияние на водные и пойменные экосистемы и требует разработки и реализации экологических попусков.

3. Данные дистанционного зондирования являются эффективным средством для первичной оценки изменений объектов водных и околоводных экосистем на обширных территориях и выявления направленности изменения экосистем.

4. Текущая эксплуатация Зейского гидроузла приводит к изменению видового состава рыб и сокращению их численности. Для оптимизации воспроизводства рыб, восстановления и увеличения их численности необходима реализация эколого-рыбохозяйственных попусков.

Степень достоверности и апробация результатов. Основные результаты исследования докладывались, обсуждались и опубликованы в трудах следующих конференций: VIII Международная научно-практическая конференция «Реки Сибири и Дальнего Востока» (Иркутск, 2015); X Международная научная конференция молодых учёных 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).

ГЛАВА 1. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СТОК КАК МЕРА АДАПТАЦИИ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ К АНТРОПОГЕННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

1.1. Естественный водный режим и его экологические функции

Пресноводные экосистемы населены диспропорционально большим числом видов флоры и фауны в расчете на единицу площади в сравнении с морскими экосистемами и экосистемами суши. Несмотря на то, что 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). Здоровье пресноводных экосистем определяется качеством и количеством воды, связью водных объектов с другими частями экосистемы и ландшафтами, условиями среды обитания, а также разнообразием видов животных и растений (WWF Living Planet Report, 2018; Karr et al., 1981; Poff et al. 1997).

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, 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 др. гидробионтов (Дубинина, 2003). Режим стока формирует местообитания (русло реки, плесы и перекаты, пойменные территории, старичные озера), и его изменение приводит к их смене (см. рис. 1). 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 функционирования экосистем. 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 определенной 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).

Режим естественного стока влияет на прибрежное (околоводное, пойменное и приустьевое) биоразнообразие через несколько взаимосвязанных принципов (см. рис. 1.1). Принцип первый: взаимосвязь между биоразнообразием и физической природой околоводной среды обитания обусловлена в значительной мере большими наводнениями, которые формируют форму речного русла. Принцип второй: засухи и меженный сток также играют ключевую функциональную роль, лимитируя доступность среды обитания и вынуждая организмы адаптироваться к сложившимся неблагоприятным маловодным условиям. Многие особенности водного режима влияют на закономерности жизненных циклов организмов, и здесь особенно важна сезонность и предсказуемость водного режима. Принцип третий: некоторые водные потоки инициируют распространение организмов вдоль реки; максимальный сток способствует обводнению пойменных территорий, которые в случае отсутствия повышенного стока утратили бы связь с рекой. Принцип четвертый: локальная биота развивалась в соответствии с особенностями водного режима. Вселение инвазивных видов маловероятно при хорошей адаптации местных видов к естественным условиям местного водного режима и их изменениям (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, 2001).

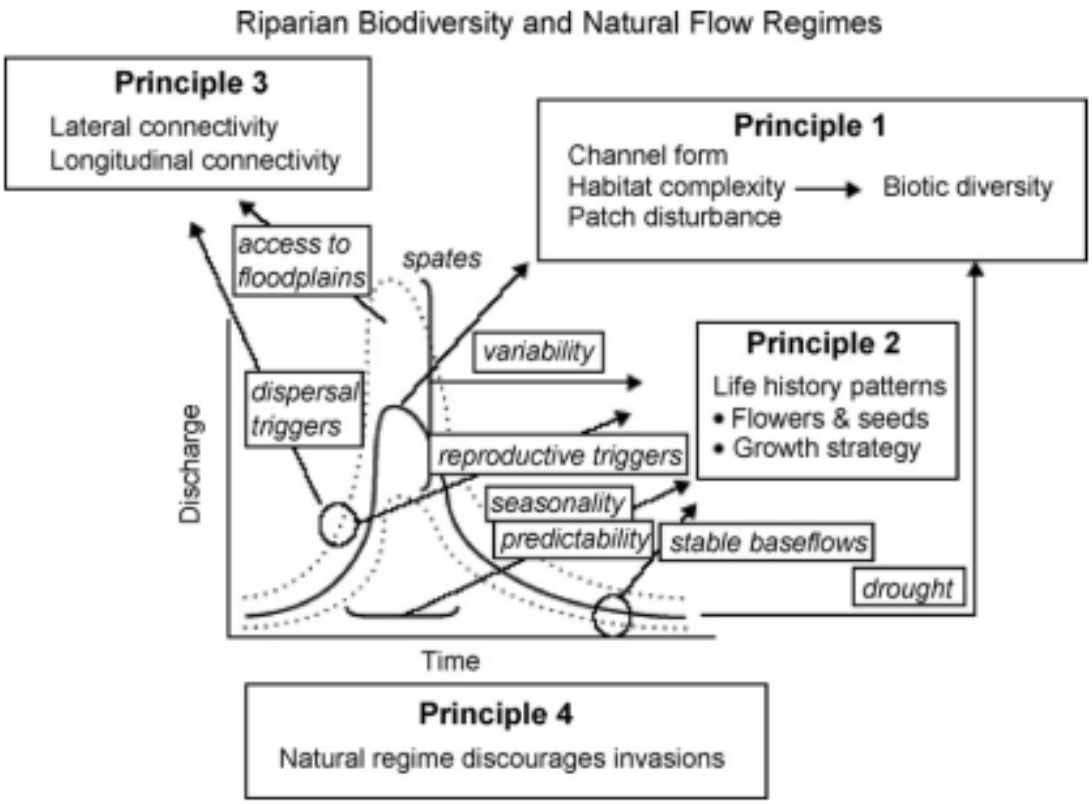


Рисунок 1.1. Четыре основных принципа функциональной роли естественного режима стока (Bunn et al., 2002)[1]

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 направления экологического стока. Его цель – оценить последствия изменения водного режима и доступный диапазон

[1] На русском языке принципы описаны выше по тексту

подобных изменений для водных экосистем. Оценка экологического стока предусматривает разные сценарии развития использования водных ресурсов и способствует прогнозированию возможных последствий.

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).

Ведущий российский исследователь в области экологического стока и допустимого безвозвратного изъятия водных ресурсов В. Г. Дубинина определяет экологический сток как 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 пресноводной экосистемы. Экологический сток должен базироваться на естественном состоянии речной экосистемы и быть приближенным к естественному режиму стока (Дубинина, 2001).

Существует ряд факторов, которые лежат в основе концепции экологического стока:

- 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 хищничество, конкуренция и заболевания (O'Keeffe, 2009).

Экологический сток базируется на определении приемлемой величины изменения водного режима реки, с тем чтобы река обладала возможностью дальше устойчиво функционировать. Для поддержания устойчивого состояния экосистемы нужен такой водный режим, который имитирует внутригодовое распределение естественного (малонарушенного) стока.

Несоблюдение режима экологического стока и превышение значений допустимого изъятия в разные фазы водности может привести к нарушению функционирования экосистем. Последствия понижения расходов рек включают следующие: 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 уменьшение расходов естественных источников воды, которые могут существенно повлиять на условия существования прилегающих территорий.

1.3. Методы оценки экологического стока (попусков)

С 1970-х гг. специалисты по охране окружающей среды, такие как Д. Л. Теннант (США) и др., 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-хх 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 (WWF, 2009). Однако важность обеспечения режима экологического стока не ограничивается географией рек засушливых регионов. В исследованиях Браумана и соавторов (2016) указано, что ввиду трансформации водного режима пострадали реки всех климатических зон, а режимы экологического стока были выявлены и для рек, протекающих в разных климатических условиях с целью поддержания надлежащим образом функционирующих экосистем. Экологический сток был реализован в засушливых регионах, таких как Южная Австралия и Южная Африка; но также и на реках многоводных регионов Мексики, на небольших реках юга Англии (Brauman et al., 2016).

В мировой практике существует около 200 методов определения величины экологического стока. Ряд методов экспресс-моделирования экологического стока основывается на имеющихся данных и не требует дополнительной работы. Другие методы требуют полевых исследований и участия специалистов разных дисциплин: гидрологов, гидробиологов, ихтиологов, экологов и т.д. Выбор метода определяется срочностью работы, доступными для анализа ресурсами, важностью речной системы для хозяйственной деятельности и сохранения биоразнообразия, трудностью определения и дальнейшего внедрения экологического стока на водном

объекте. При обобщении международных способов определения экологического стока их можно разделить на следующие группы методов:

- гидрологических обоснований;
- выявления функциональных связей;
- гидравлической оценки;
- моделирование среды обитания;
- комплексная методология (IUCN, 2003).

Вне зависимости от выбранного метода оценки экологического стока, очень важно дать характеристику водного режима и его внутри- и межгодовую изменчивость в естественных условиях, до начала оказываемого антропогенного влияния. Именно эти характеристики описывают водный режим, к которому была адаптирована экосистема.

Ниже приведены примеры методов оценки экологического стока.

1.3.1. Методы гидрологических обоснований

Эти методы подразумевают использование гидрологических показателей, основанных на статистических данных режима естественного стока, и наиболее распространены при определении экологического стока на малоизученных реках. Экологический сток рассчитывается как доля от среднегодового стока реки или среднемесячных расходов. Подход основан на допущении, что поддержание определенной доли естественного стока может удовлетворить экологические потребности. Показатели, основанные исключительно на гидрологических данных, могут быть не обоснованы с позиции сохранения экосистем (IUCN, 2003).

Основной принцип гидрологических методов – это поддержание сезонной изменчивости стока. Один из прикладных примеров использования таких методов – программа «Индикаторы гидрологических изменений» (*Indicators of Hydrologic Alteration*), разработанная в США

природоохранной организацией *The Nature Conservancy* в 1990-е гг. и усовершенствованная в 2000-е гг. Эта программа была создана для возможности быстро проанализировать ежедневные гидрологические данные и оценить изменения водного режима (Richter, 1996).

Программа *Indicators of Hydrologic Alteration* рассчитывает 67 статистических параметров, которые разделяются на две группы:

1. 33 гидрологических параметра (Hydrologic Parameters), характеризующие меж- и внутригодовые изменения водного режима, включая величину стока (см. рис. 1.2), повторяемость и продолжительность явлений (максимальных и минимальных расходов), время их наступления и скорость изменения расходов или уровней воды (Richter, 1996). Эти параметры рассчитываются для каждого года ряда наблюдений, что позволяет оценить внутригодовую изменчивость и изменения гидрологических параметров требуемых временных промежутков. В частности, такой анализ удобен для анализов рядов наблюдений до и после строительства плотины и вызванных этим изменений водного режима.

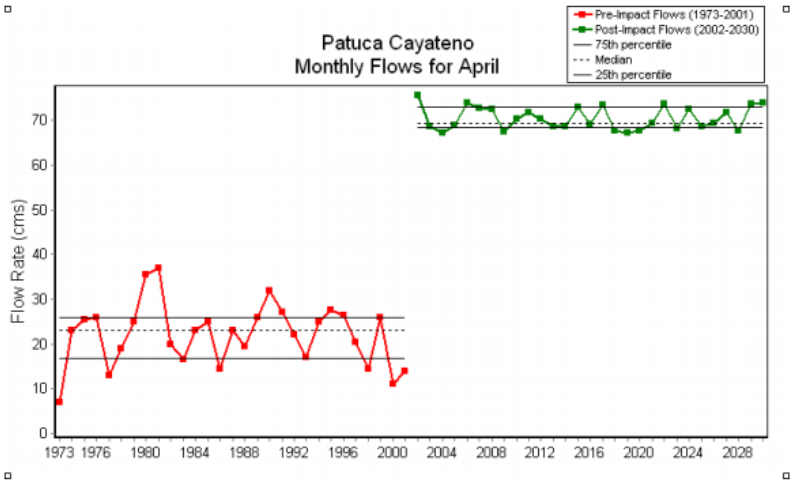


Рисунок 1.2. Среднемесячный сток за апрель, р. Патука, гидрологический пост Кайетано: красным цветом показаны значения естественного (малонарушенного) режима стока, зеленым – значения стока после строительства плотины (Oppermann, 2006)

2. 34 параметра компонентов экологического стока (Environmental Flow Component parameters), описывающие пять основных фаз водного режима, имеющих функциональную экологическую значимость: минимальный сток (extreme low flows), меженный сток (low flows), сток половодья/паводков (high flow pulses), малые наводнения (small floods), крупные наводнения (large floods) (см. рис. 1.3).

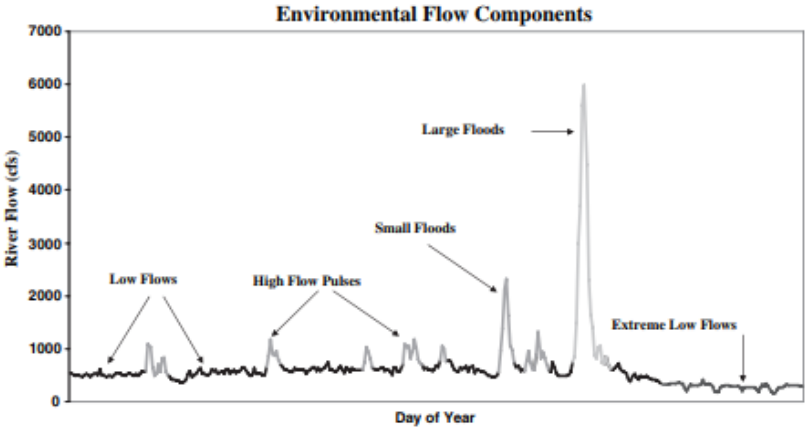


Рисунок 1.3. Программа Indicators of Hydrologic Alterations соотносит каждую величину стока к одной из пяти градаций компонентов экологического стока (Mathews et al., 2007)

Ценность программы возрастает в случае ее использования совместно с экологическими моделями, что позволяет предложить и протестировать эколого-гидрологические гипотезы, сформулировать цели сохранения водных экосистем и разработать программы исследований или мониторинга, важные для выявления режимов экологического стока (Mathews et al., 2007).

Анализ изменения водного режима в результате строительства плотины на р. Зея с использованием программы Indicators of Hydrologic Alteration приведен в главе 2.

1.3.2. Методы выявления функциональных связей

Основаны на определении связей между гидрологическими и экологическими факторами состояния речной экосистемы. Пример таких

методов – «методология построения блоков» (Building Block Methodology), разработанная в Южной Африке: в режиме стока выделяются некоторые основные элементы (блоки), включающие характеристики меженного и многоводного периодов, которые поддерживают динамику стока наносов и русловые процессы в бассейне (см. рис. 1.4). Допустимый режим стока для поддержания экосистем определяется с учетом этих блоков.

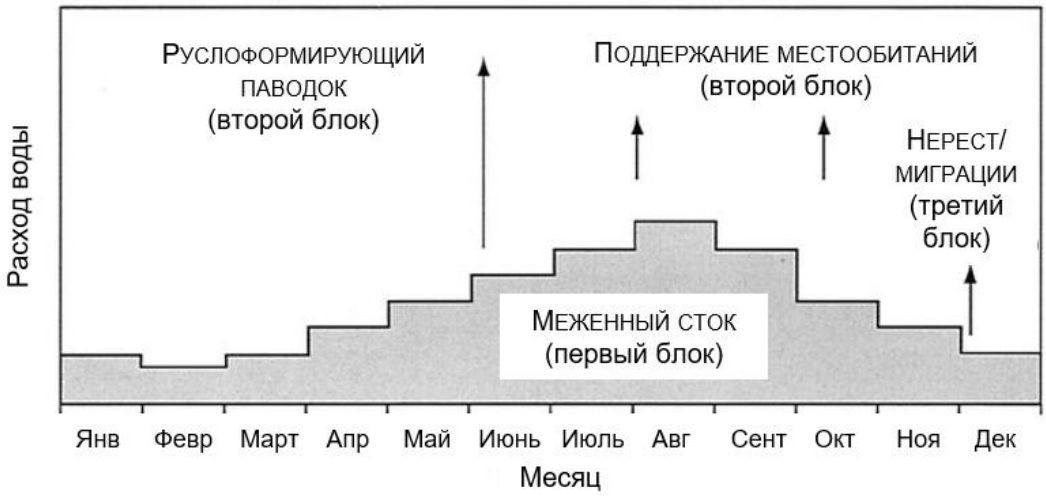


Рисунок 1.4. Пример требований к водному режиму при использовании методологии построения блоков (King et al., 1998)

1.3.3. Метод определения критического состояния водных экосистем

В СССР проблема нормирования изъятия речного стока и необходимости определения экологического стока возникла в 1960–70-е годы в связи с развитием крупномасштабных работ по водной мелиорации. В настоящее время в России методика расчета нормативов допустимого воздействия по изъятию водных ресурсов и расчета экологического стока В. Г. Дубининой является основной: она приведена в Приложении Г Методических указаний по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты (НДВ) (Методические указания, 2007).

Методический подход установления объема допустимого безвозвратного изъятия поверхностных вод базируется на сохранении

такого состояния водной экосистемы, при котором не нарушается ее восстановительный потенциал. Под допустимым безвозвратным изъятием речного стока понимается максимальный объем воды, изымаемый из речного бассейна, при котором сохраняются условия устойчивого и безопасного функционирования водных и околоводных 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. На основе связей естественных (восстановленных) гидрологических характеристик реки с показателями продуктивности водных экосистем определяются значения так называемого «критического» объема (или расхода) воды, который определяет устойчивое функционирование речной экосистемы. Далее определяется исторически минимальный объем стока. Среднемноголетний объем допустимого безвозвратного изъятия рассчитывается как разница критического объема и исторически минимального. Экологический сток рассчитывается по разнице значений годового стока и объема стока допустимого безвозвратного изъятия (Дубинина, 2009). Для рек с зарегулированным стоком устанавливается объем экологического попуска.

1.3.4. Метод повышения обеспеченности

Б. В. Фащевский определил экологический сток как часть естественного стока, оставляемого ниже створов регулирования и изъятия вод по условиям охраны речных экосистем во избежание изменений водных ресурсов и самих русловых образований при безвозвратном изъятии и

регулировании (стремлении и обваловании русел, изменении густоты гидрографической сети и т.д.) (Фащевский, 1989; Дубинина, 2001). В год заданной обеспеченности величина годового экологического стока принимается равной естественному объему стока воды в реке, не подверженной антропогенной деятельности, для года более высокой обеспеченности, т.е. для года меньшей водности.

Согласно международной классификации, метод Б. В. Фащевского относится к методам гидрологических обоснований. Такой метод желательно использовать в качестве экспертной оценки для малоизученных рек и участков рек с низкой биологической продуктивностью, при отсутствии материалов фактических наблюдений за экосистемой и надежных и гидролого-биологических зависимостей.

1.4. Примеры успешной реализации экологического стока

Как во всем мире, так и в России для большинства речных бассейнов до сих пор не проведена оценка экологического стока. Даже в случае проведенной оценки примеры успешной реализации экологического стока крайне малочисленны (Moore, 2004; Le Quesne et al., 2010; Harwood et al., 2017). В их число входит внедрение экологического стока на реках Мексики и Австралии.

1.4.1. Экологические запасы воды в Мексике

Один из ключевых факторов внедрения экологического стока в Мексике – принятие Национального закона о воде в 1992 году. Этот закон признал окружающую среду законным водопользователем. Между принятием закона и сохранением воды для окружающей среды прошло много лет, и активный процесс интеграции экологического стока начался лишь в 2010 году.

Стандарт Мексиканского экологического стока был опубликован в 2012 году и ратифицирован в 2017 году (Opperman et al., 2018). Национальное руководство по экологическому стоку было создано при сотрудничестве заинтересованных сторон (включая Всемирный фонд дикой природы, Национальную комиссию по водным ресурсам, Национальную комиссию по охраняемым природным территориям, другие федеральные и региональные стороны и академические институты). Были установлены режимы экологического стока для защиты рек от чрезмерного водозабора, в том числе для рек засушливых регионов, что опровергло устоявшееся мнение о том, что в условиях аридного климата воды недостаточно для одновременного удовлетворения нужд окружающей среды и других водопользователей. Стандарт закрепил понятие *«экологический запас воды» (водный резерв)*, который определяется как объем воды, который должен оставаться в реке для поддержания условий окружающей среды и не может быть изъят для других целей.

В результате пробных экспериментальных исследований в трех бассейнах был предложен стандарт для определения экологического стока. Вместо определения конкретного метода для определения режима экологического стока, в этом стандарте обозначен набор научных принципов, предназначенных для поддержания баланса между сохранением экологического стока и другими видами водопользования (Barrios et al., 2015).

В сентябре 2014 года первый экологический запас воды был официально определен для бассейна реки Сан-Педро-Мецкиталь – свободно текущей реки длиной 540 км, впадающей в Тихий океан. Водохозяйственный комплекс в бассейне реки мало развит (Moir et al., 2016). Сток реки обводняет 200 000 га мангровых лесов, относящихся к биосферному заповеднику Марисмас Насионалес, признанному Рамсарским угодьем международного значения.

Режим экологического стока реки Сан-Педро-Мецкиталь был определен с помощью гидрологических и комплексных методов. Цель экологического стока заключалась в сохранении наибольшего количества воды в реке для обводнения водно-болотных угодий. Так, около 80 % объема среднегодового стока должно оставаться в реке для обеспечения должного состояния биоты в заповеднике Марисмас Насионалес. При мониторинге режима экологического стока используются гидролого-геоморфологические, биологические и физико-химические показатели. Биологический мониторинг сосредоточен на состоянии мангровых лесов, растущих на заболоченных территориях бассейна.

В июне 2018 года президент Мексики подписал ряд постановлений о создании резервов экологической воды в 300 речных бассейнах страны. Опыт Мексики демонстрирует, что режим экологического стока может защитить также многоводные реки, не подверженные дефициту водных ресурсов (Opperman et al., 2018).

1.4.2. Водный рынок и экологический сток в бассейне рек Муррей и Дарлинг, Австралия

Бассейн реки Муррей и ее притока Дарлинг занимает более 1 млн км^2; в нем протекают тысячи ручьев и рек, находится более 30 000 водно-болотных угодий и обширная сеть подземных водоносных горизонтов. В 2001 по 2009 год в Австралии стояла так называемая «засуха тысячелетия». Составленный в 2012 г. план управления бассейном Муррей-Дарлинг обеспечил основу для устойчивого управления и использования воды. Три основные цели Плана: (1) защита и восстановление зависящих от воды экосистем; (2) защита и восстановление экосистемных услуг; (3) повышение устойчивости зависящих от воды экосистем к рискам, включая изменения климата. План установил предельно допустимые объемы изъятия воды – максимальное количество воды, которое может быть использовано, с тем

чтобы достаточное количество воды оставалось в экосистеме. В общебассейновой стратегии приведена ожидаемая оценка реакции четырех важных компонентов (водотоки и их связанность, местная растительность, водоплавающие птицы и местная рыба) в течение следующего десятилетия (MDBA, 2015). Для достижения этих целей предусмотрено оставлять в экосистеме бассейна не менее 2,75 км^3/год (Papps, 2017; Harwood et al., 2017).

Планы управления водопользованием утверждаются каждый год, после чего вода распределяется по рекам, поймам и водно-болотным угодьям. В любой конкретный год вода предоставляется пользователям на основании прав, выданных правительствами штатов. Распределение воды варьируется каждый год, учитывая изменения количества осадков и объемов водохранилищ (MDBA, 2015). Водохозяйственный год начинается 1 июля, когда каждый штат бассейна объявляет о планах распределения воды на основе ее доступности. В случаях регулирования рек плотинами и водохранилищами распределение ресурсов пересматривается и корректируется в течение года в зависимости от объема воды. В нерегулируемых речных системах сезонный стока является основой для распределения воды; после достижения заданных Планом условий оставшийся объем воды может быть изъят из реки. Объем изъятия ограничен максимальным ежедневным объемом и временем года (MDBA, 2015). Подобный метод распределения водных ресурсов позволяет гарантировать объем доступной для использования воды. Для корректирования водопользования используется долгосрочная программа мониторинга окружающей среды (Harwood et al., 2017).

Система торговли водными ресурсами хорошо зарекомендовала себя в бассейне Муррей-Дарлинг: она позволяет пользователям гибко реагировать на изменения объемов доступной воды. Развитие водного рынка бассейна реки Муррей-Дарлинг обусловлено не только переменным стоком бассейна, но и переменным спросом на воду для покрытия нужд

сельского хозяйства. Пользователь может купить или продать воду практически в любое время. Цена воды является отражением спроса и предложения, поэтому цена отличается во времени, пространстве и типу прав на воду (MDBA, 2015). Польза для окружающей среды, создаваемая посредством реализации экологического стока, может быть расположена за тысячи километров от места, где была куплена вода (Harwood et al., 2017).

1.5. Экологические попуски как компенсационная мера при регулировании водного режима плотинами

Для реализации экосистемных функций в реках должны протекать разнообразные естественные процессы, сохраняющие естественные параметры пресноводных экосистем. Если река сохраняет свой естественный водный режим и не изолирована от окружающей местности, ее называют свободно текущей. Появление разнообразных объектов водохозяйственной инфраструктуры – в частности, строительство плотин – привело к резкому уменьшению количества свободно текущих, не зарегулированных плотинами рек. На сегодняшний день в мире построено более 50 000 крупных плотин (ICOLD, 2017). 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 настоящее время мир переживает новый период активного гидростроительства. Многие свободно текущие реки находятся под угрозой, ведь по всему миру запланировано строительство еще 3600 плотин для выработки энергии (Zarfl et al., 2015). Многие плотины запланированы в бассейнах высокой экологической значимости (Winemiller et al., 2016). 48%

общего объема стока в мире подвержено воздействию либо регулированию стока, либо фрагментации бассейна (либо обоим этим факторам) со степенью влияния от средней до значимой (Arthington et al., 2018).

Плотины изменяют функционирование речных экосистем за счет следующих факторов:

1. Трансформация местообитаний в зоне водохранилища;
2. Изменение гидрологического режима в нижнем бьефе (изменение времени наступления, продолжительности и частоты характерных фаз водности, трансформация термического режима, гидрохимических и гидробиологических свойств стока),
3. Изменение хода и направленности русловых процессов (усиление эрозионных процессов, «осветление» потока за счет уменьшения стока наносов),
4. Уменьшение площади и периода затопления пойменных территорий, утраты гидравлической связи между рекой и ее поймой;
5. Фрагментация речного бассейна, в т.ч. пресечение миграционных путей биологических видов (Сапаев, 2006; Richter, 2007; Комплексная эколого-экономическая оценка, 2015).

При эксплуатации плотин и образуемых ими водохранилищ изменение характеристик гидрологического режима в нижнем бьефе оказывает негативное влияние на экосистему реки и состояние гидробионтов. Как правило, перераспределяется сезонный сток, ранее обеспечивавший затопление поймы в нижнем бьефе гидроузла в определенные сроки, важные, в частности, для нереста рыб. Резкие изменения уровня воды приводят к негативным последствиям для экосистемы.

Одна из мер компенсации негативного воздействия плотин – реализация экологического стока, который на зарегулированных реках называется экологическим попуском. Это некоторый объем воды, подаваемый из водохранилища, приближающего условия в нижнем бьефе к

естественному (Hirji et al., 2009). Экологические попуски обеспечивают условия устойчивого и безопасного функционирования водных экосистем на участке реки ниже водохранилища, поддерживают стабильное состояние гидробионтов, ихтиофауны, околоводных экосистем в нижних бьефах гидроузлов (см. рис. 1.5). Такие попуски формируются с учетом рыбохозяйственного, руслоформирующего, санитарного, а также других видов попусков (Дубинина, 2001).

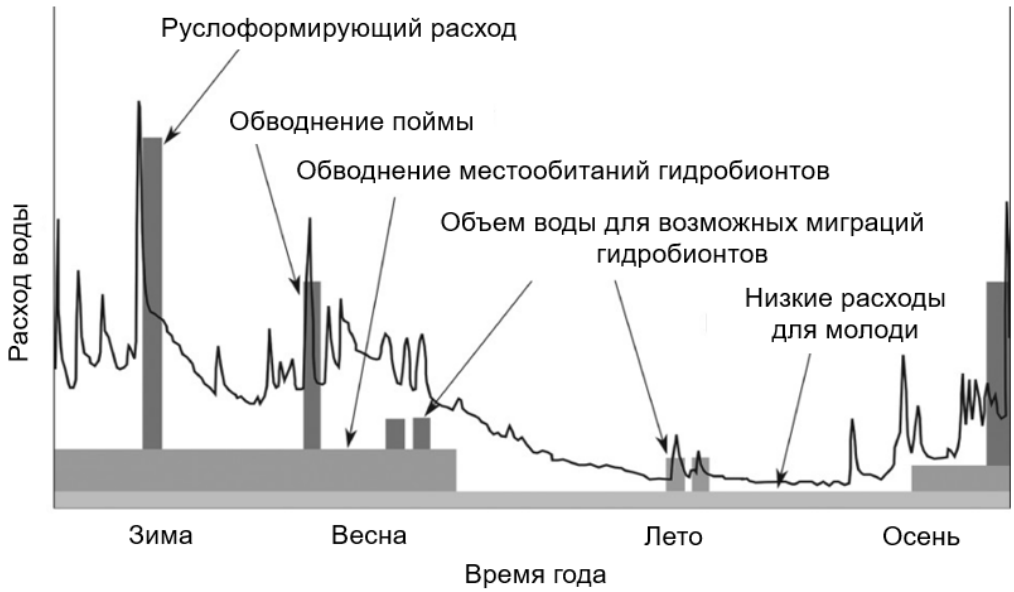


Рисунок 1.5. Пример режима экологического попуска для реализации ряда экологических функций (Acreman, 2016)

1.6. Примеры успешной реализации экологических попусков в мире

1.6.1. Экологические попуски в бассейне реки Саванна, США

Река Саванна длиной более 500 км течет на юго-востоке США и впадает в Атлантический океан. В бассейне р. Саванна обитает около 100 видов рыб, в том числе два вида находятся под угрозой исчезновения: короткорылый осетр (*Acipenser brevirostrum)* и атлантический осетр (*Acipenser oxyrhynchus oxyrhinchus*). На реке расположены три плотины:

Хартвелл (построена в 1950-е гг.), Рассел (построена в начале 1980-х гг.) и Тармонд (построена в 1960-х гг.). Образуемые плотинами водохранилища имеют многоцелевое назначение: они используются для выработки энергии, управления наводнениями, рекреации, водоснабжения, а также как местообитания рыб и других представителей фауны (Richter et al., 2006). Водохранилища имеют рыбохозяйственное значение для разведения большеротого окуня (*Micropterus salmonids*) и полосатого окуня (*Morone saxatilis*) (Richter et al., 2007; Harwood et al., 2017).

Основным фактором оценки и реализации экологических попусков послужила необходимость улучшения условий окружающей среды ниже по течению от плотин, а также восстановление экосистемных функций речного бассейна: в частности, улучшение качества воды в устьевом участке реки, а также поддержание местообитаний осетровых видов рыб. Рекомендации разработаны для разных условий водности: для мало, средне- и многоводных лет. Изначальные оценки базировались на требованиях оптимизации условий нереста анадромных видов рыб (в частности, короткорылого осетра). После дальнейшего мониторинга и исследований режимы экологических попусков были уточнены. В частности, выяснилось, что определяющий фактор нереста короткорылого осетра – температура воды, а не объем стока (Harwood et al., 2017).

1.6.2. Экологические попуски в бассейне реки Янцзы, Китай

Река Янцзы – третья по длине река в мире протяженностью 6300 км. В бассейне Янцзы обитает 36 % всех речных видов рыб Китая, из которых 177 – виды-эндемики. Плотина «Три ущелья» расположена в верховьях реки Янцзы и имеет самую большую в мире установленную мощность (22 500 МВт); это последняя плотина на основном русле реки Янцзы. В верховьях Янцзы и ее притоков действует более 30 крупных плотин. Работа

этих плотин оказывает влияние на режим стока и термический режим ниже по течению от плотин. В результате трансформации водного и термического режимов были нарушены экологические условия размножения промысловых карповых рыб. В результате в 2003–2005 годах их ежегодные уловы ниже по течению от плотин оказались на 50–70 % ниже в сравнении с уловами 2002 г., до введения плотины в эксплуатацию (Harwood et al., 2017).

В 2011 году впервые имитировался естественный паводок, способствующий нересту карповых рыб. По состоянию на май 2017 года экологические попуски были реализованы в течение семи последовательных лет. Экологические попуски обычно даются в начале многоводного периода (с конца мая до начала июня); порой они также реализуются в засушливый период (с января по апрель). Попуски во время нереста карпа длятся от 3 до 10 дней, расход попуска составляет 600–3000 $м^3/с$ в день. В засушливый период с января по апрель попуск из водохранилища составляет 6000 $м^3/с$, что на 1500 $м^3/с$ (25 %) выше, чем средний приток к водохранилищу. Изменение водного режима при реализации экологических попусков не должно ограничивать способность водохранилища регулировать сток наводнений и не должно отрицательно влиять на навигацию и устойчивость речных берегов (Harwood et al., 2017).

Исследователи определили критические гидрологические показатели (температура воды, расход до начала повышения уровня воды, суточный темп роста уровня воды и продолжительность его роста) и их диапазоны для естественного нереста карпов. Результаты мониторинга показывают, что экологические попуски способствуют распространению китайского карпа. Так, среднее количество икры карпа, отобранных на станции Цианли, составляло около 140 миллионов в 2006–2009 годах до начала реализации экологических попусков и выросло до 350 миллионов в 2011–2014 годах по итогам реализации экологических попусков (Chinese Sturgeon Research Institute, 2015). С 4 по 6 июня 2014 года средняя плотность распространения

икры и молоди в зоне мониторинга оказалась втрое выше, чем до реализации экологических попусков (Chen et al., 2015).

Поскольку карп – промысловый вид, реализация экологических попусков несет социально-экономические выгоды. В бассейне Янцзы реализуется крупнейший в Китае рыбный промысел, на который приходится 56 % всех пресноводных уловов (Harwood et al., 2017). Реализация экологических попусков полезна также для других видов рыб бассейна Янцзы.

С 2003 по 2016 год были даны дополнительные сбросы воды объемом 199,7 млрд $м^3$ за 1601 день. В феврале 2014 года в результате малого количества осадков и пониженного стока в среднем и нижнем течении произошла интрузия соленых вод в устье реки Янцзы. Это отрицательно сказалось на городском водоснабжении около двух миллионов человек, проживающих в Шанхае. Сбросы из водохранилища «Три ущелья» увеличили на 1020 $м^3/с$ и достигли 1,73 млрд $м^3$ дополнительного объема стока, эффективно смягчив водный кризис в устье реки Янцзы (Harwood et al., 2017).

В настоящее время внедрение экологических попусков в бассейне Янцзы находится на стадии испытания. Несмотря на успех реализации экологических попусков в бассейне Янцзы, количество икры и молоди карпов пока намного ниже базовых значений до начала эксплуатации плотины «Три ущелья» (см. рис. 1.6) (Lu et al., 2016). Гидрологические требования других важных видов рыб (например, китайского осетра) и водных экосистем (например, водно-болотных угодий) нуждаются в дальнейших исследованиях, которые должны быть учтены при реализации экологических попусков.

Рисунок 1.6. График изменения численности икры и мальков карпа в р. Янцзы ниже плотины «Три ущелья» (Harwood et al., 2017)

1.7. Экологические попуски в России

В предыдущей версии Водного кодекса (Водный кодекс, 1995) статья 110 предписывала осуществлять сбросы воды из водохранилищ (экологические попуски) и устанавливать объем безвозвратного изъятия поверхностных вод. В актуальной версии Водного кодекса требования по установлению экологического стока (попуска) и объема допустимого изъятия воды из водных объектов отсутствуют (Водный кодекс, 2006).

Основным документом, определяющим управление водным режимом водохранилища, являются Правила использования водных ресурсов водохранилищ (ПИВР). В соответствии с Методическими указаниями по разработке ПИВР (Приказ Минприроды, 2011), водные ресурсы водохранилища должны использоваться в том числе для экологических попусков.

1.7.1. Экологические попуски в бассейне Нижней Волги

Создание Волжско-Камского каскада водохранилищ и управление его водными ресурсами привело к коренному нарушению экологических условий воспроизводства ценных промысловых видов рыб и природных комплексов низовьев реки Волги. Регулирование приводит к заполнению водохранилищ к зимнему периоду и повышенным зимним сбросам воды. В целях повышения эффективности естественного воспроизводства рыбных запасов и водообеспеченности аграрного сектора экономики необходимо оптимизировать весенние попуски воды в низовья Волги. Оптимизация попусков воды заключается в приведении их в соответствие экологическим требованиям рыбного хозяйства и сельскохозяйственной отрасли регионов Нижнего Поволжья (Нестеренко, 2009).

Для сохранения и последующего восстановления рыбохозяйственного потенциала Волго-Каспия выявлены параметры гидроэкологического режима р. Волги в период половодья:

- соответствие начала обводнения нерестилищ и нереста рыб;
- обеспечение прохождения максимальных расходов воды в дельте Волги не раньше середины мая;
- подъем волны половодья необходимо осуществлять постепенно с суточной динамикой расхода воды не более 1,0 тыс. м3/с для прогрева воды на нерестилищах;
- общая продолжительность обводнения нерестилищ (в сутках) должна составлять не менее 60 суток, с целью достижения молодью рыб покатного этапа.

Для восстановления рыбопродуктивности Волго-Каспия необходимо обеспечить приближение параметров искусственных весенних половодий к существовавшим в естественных условиях водности р. Волги. Предлагаемые рыбохозяйственные гидрологические требования

соответствуют 75, 90 и 99% обеспеченности в условиях естественного режима р. Волги.

Типовой график попусков воды в низовьях Волги состоит из следующих компонентов:

- величины расходов воды в меженный (предполоводный период) – с 1 по 20 апреля.

- ветвь подъема, продолжительностью не менее 30 суток;

- сельскохозяйственной «полки» в течение 5-7-10 суток.

- рыбохозяйственной «полки» - с продолжительностью не менее 20-25 суток;

- ветви спада, продолжительностью не менее 30 суток (Отчет о НИР, 2014).

1.7.2. Эколого-рыбохозяйственные попуски для сохранения экосистем Дона

Изменения в гидрологическом режиме внутригодового распределения стока реки Дон начались после введения в эксплуатацию Цимлянского водохранилища в 1952 г. В период 1953–2013 гг. лишь в одиннадцати случаях (18 %) отмечалось затопление нижнедонской поймы, и только четыре раза режим обводнения пойменных нерестилищ отвечал экологическим требованиям полупроходных и проходных рыб (Дубинина и др., 2013).

Эколого-рыбохозяйственные попуски в годы различной водности – одна из необходимых мер сохранения и восстановления популяций проходных и полупроходных рыб. В результате исследований предложены гидрографы рыбохозяйственных попусков (март – май) объемами: 14.2 км^3, 12.2 км^3 и 10.6 км^3 с обеспеченностью стока, соответственно, 50, 60 и 75%. Выявлено, что общая продолжительность обводнения поймы должна быть 40–50 суток (в зависимости от водности года), а площадь затопляемой

территории (на участке ниже станицы Кочетовской) должна составлять 100 тыс. га. Эффективность размножения рыб в пойме Дона в основном зависит от объема стока в характерные фазы нереста и ската молоди (r – до 0,47), количества идущих на нерест производителей (r = 0,45), термического режима (r – до 0,44), динамики и солености вод в восточной половине Таганрогского залива (r = 0,38 и r =0,32). Оптимальные ареалы нагула молоди указанных видов рыб могут быть обеспечены весенним стоком Дона в объеме не менее 12 км^3. При годовом и весеннем стоке (март-май) обеспеченностью менее 50% наиболее вероятно появление высокоурожайных и урожайных поколений осетра, судака и леща, а при объеме стока, соответствующего 75%-ной обеспеченности и более, – только низкоурожайные поколения. При объеме стока, соответствующего 95%-ной обеспеченности, естественное размножение осетра, судака и леща находится на крайне низком уровне. Оптимальные условия для воспроизводства рыб складываются в годы 25–40%–ной обеспеченности стока (Дубинина, 1978).

Предложенные попуски включены в новые Правила использования водных ресурсов Цимлянского водохранилища, разработанные Российским информационно-аналитическим и научно-исследовательским водохозяйственным центром, и утверждены в 2016 году. Расчетная обеспеченность рыбохозяйственных попусков, установленная по результатам управления на имитационной модели Цимлянского водохранилища в соответствии с разработанными Правилами, составляет 33 % по числу бесперебойных лет, что не полностью удовлетворяет требования рыбного хозяйства (Дубинина, 2009).

Реализация эколого-рыбохозяйственных попусков в полном объеме возможна только после выполнения комплекса необходимых организационных и инженерных мероприятий на территориях, подлежащих периодическому затоплению.

Выводы

Пространственно-временная изменчивость режима стока важна для поддержания среды обитания водных и околоводных видов, биологического разнообразия речной экосистемы и постоянства ее видового состава. Если изменения гидрологического режима превышают допустимые величины, то могут произойти необратимые процессы деградации экологических систем.

Ухудшение состояния водных экосистем привели к развитию направления экологического стока. Экологический сток – это 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. При его определении оцениваются последствия изменения водного режима и определяется допустимый диапазон изменений для водных экосистем.

В мировой практике существует около 200 методов определения величины экологического стока, различные по требованиям к данным и объемам полевых исследований. Вне зависимости от выбранного метода оценки экологического стока, важно дать характеристику естественного (малонарушенного) водного режима.

В настоящее время в России основной является методика расчета нормативов допустимого воздействия по изъятию водных ресурсов и расчета экологического стока В. Г. Дубининой. На основе связей естественных (восстановленных) гидрологических характеристик реки с показателями продуктивности водных экосистем определяются значения так называемого «критического» объема воды, который определяет устойчивое функционирование речной экосистемы.

Как во всем мире, так и в России для большинства речных бассейнов до сих пор не проведена оценка экологического стока. Даже в случае проведенной оценки примеры успешной реализации экологического стока

крайне малочисленны. Успешными примерами могут послужить создание водных резервов в 300 речных бассейнах Мексики, план управления бассейнами рек Муррэй-Дарлинг, предусматривающий оставлять в экосистеме бассейна объем экологического стока.

Строительство плотин привело к резкому уменьшению количества свободно текущих рек по всему миру. Сопутствующее изменение гидрологического режима в нижнем бьефе оказывает негативное влияние на экосистему реки. Одна из мер компенсации негативного воздействия регулирования стока плотинами – реализация экологического стока, который на зарегулированных реках называется экологическим попуском. Это некоторый объем воды, подаваемый из водохранилища, приближающий условия в нижнем бьефе к естественному. Успешные примеры реализации экологических попусков рассмотрены на примере р. Саванна в США (где экологические попуски реализуются в зависимости от водности года и направлены на улучшение качества воды и поддержание местообитаний осетровых видов рыб), а также р. Янцзы в Китае (где с 2011 г. имитируется естественный паводок, способствующий нересту карповых видов рыб и предотвращению интрузии соленых вод в устьевом участке реки).

В Водном кодексе Российской Федерации требования по установлению экологического стока (попуска) отсутствуют. Основным документом, определяющим управление водным режимом водохранилища, являются Правила использования водных ресурсов водохранилищ (ПИВР). В соответствии с Правилами, водные ресурсы водохранилища должны использоваться в том числе для экологических попусков. Экологические попуски разработаны для таких крупных рек, как Волга и Дон, однако в полной мере не реализуются.

ГЛАВА 2. РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА В БАССЕЙНЕ СРЕДНЕГО АМУРА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА КОМПОНЕНТЫ ВОДНЫХ И ОКОЛОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

2.1. Физико-географическая характеристика района исследований

Длина Амура от слияния Шилки и Аргуни до впадения в Амурский лиман Охотского моря равна 2824 км. Вместе с истоком Шилкой и Ононом длина Амура составляет 4279 км. Площадь бассейна 1855 тыс. км^2 расположена на территории России, Монголии и Китая. Наиболее полноводный исток Амура – Шилка, главные притоки – Аргунь, Зея, Бурея, Сунгари и Уссури. Территория бассейна преимущественно горная, с абсолютными высотными отметками 1000–2000 м (см. рис. 2.1) (Ресурсы поверхностных вод, 1966).

Большая часть бассейна находится в зоне достаточного увлажнения, в области муссонного климата умеренных широт. Количество осадков увеличивается с запада на восток и юго-восток: в Забайкалье количество осадков 250–300 мм/год, на остальной части бассейна количество осадков составляет более 500 мм/год, в высокогорных зонах достигая 900–1000 мм/год (Ресурсы поверхностных вод, 1966).

Территория бассейна Амура расположена в природных зонах тайги, хвойно-широколиственных лесов, лесостепей и степей; в горах наблюдается вертикальная поясность ландшафтов. Лесостепные территории широко распространены на Зейско-Буреинской равнине и Средне-Амурской низменности. В левобережной части бассейна распространена многолетняя мерзлота (Ресурсы поверхностных вод, 1966).

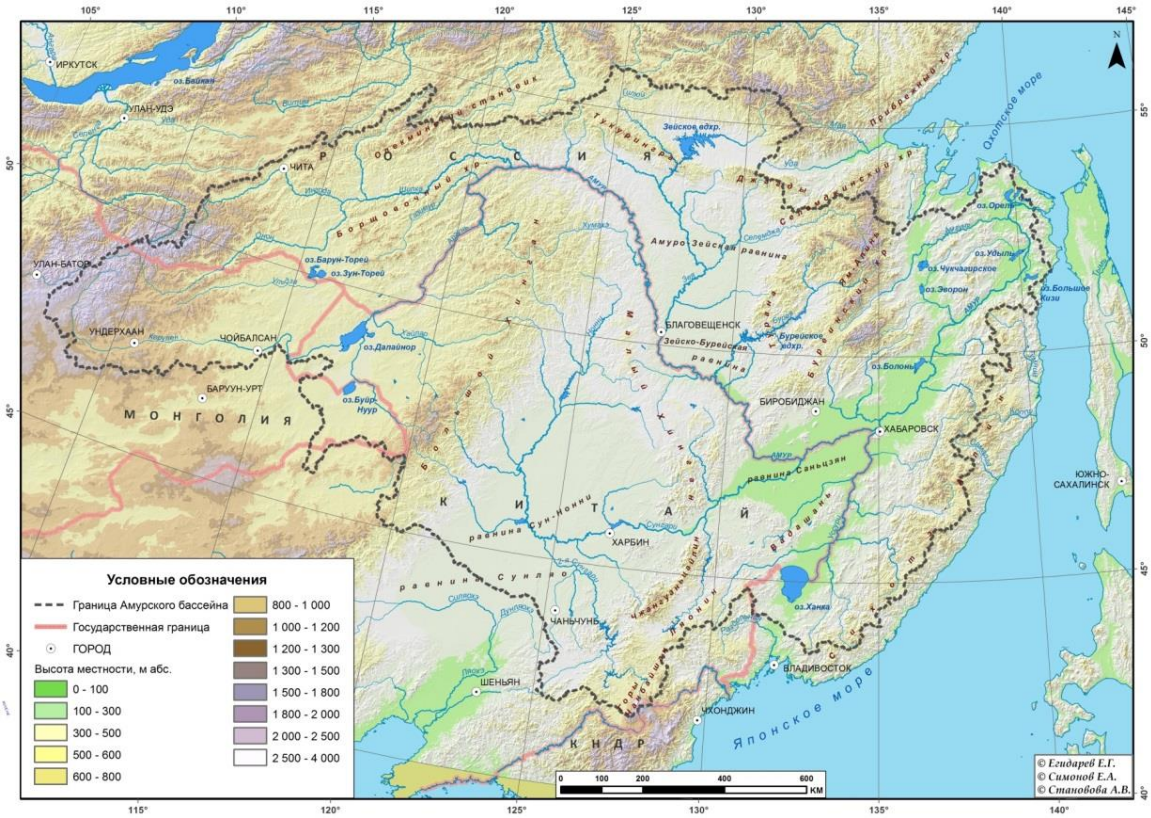


Рисунок 2.1. Бассейн реки Амур

Для реки бассейна реки Амур характерен дальневосточный тип водного режима с выраженным преобладанием дождевого питания. Доля дождевого питания в бассейне Верхнего и Среднего Амура составляет 50–70%, в бассейне Нижнего Амура 60–85%. На долю снегового питания приходится 5–10% стока, на долю подземного – 10–20%. Водный режим характеризуется неравномерным внутригодовым распределением. Зимний сток (ноябрь – март) составляет 5–10% от годовой величины, сток за летне-осенний сезон (апрель – октябрь) – 75–80% (Ресурсы поверхностных вод, 1966).

Минимальный сток на реках региона наблюдается в марте. Сезонные колебания уровней крупных рек достигают 6–8 м. Весеннее половодье выражено слабо. За лето проходит 4–5 дождевых паводков. Больше половины максимальных уровней наблюдается в июле – августе (Ресурсы поверхностных вод, 1966). Подъем уровня воды в Амуре и водных объектах его поймы в начале лета имеет важное значение для растительного и

животного мира. Их изменение при регулировании стока оказывает решающее воздействие на экосистемы. Многолетнее устойчивое состояние всех живых компонентов экосистемы зависит от времени прохождения паводков, их продолжительности и сочетаемости их по годам. Летние разливы на пойме и прогрев воды на ней создают высокий потенциал биологической продуктивности. При высоких паводках Амур разливается на десятки километров. Паводок оставляет на пойме наилок, создавая благоприятные условия для развития луговой растительности на следующий год. При низких уровнях летом многие пойменные озера и протоки мелеют или пересыхают. Уменьшается биотопическое разнообразие: виды гидробионты и пойменники попадают в угнетенные условия. Для земноводных создаются благоприятные кормовые условия, но их воспроизводство зависит от состояния водоемов и количества осадков. Чередование многоводных и маловодных лет обеспечивает динамическое равновесие в пойме. Отсутствие или, наоборот, длительное проявление того или иного периодов имеет отрицательное последствие для пойменных экосистем (Сапаев, 2006).

В бассейне Амура обитает около 130 видов рыб; 18 видов и один род являются эндемичными для дальневосточного региона. Амур считается богатейшей лососевой рекой Евразии: здесь нерестится 9 видов лососевых рыб. В реке обитает один из крупнейших представителей осетровых – калуга, достигающая 4–5 м в длину (Новомодный и др., 2005).

Водно-болотные угодья бассейна Амура важны для размножения и миграций водоплавающих и околоводных птиц. На заболоченных приамурских равнинах гнездятся японский, даурский журавли и дальневосточный белый аист, занесенные в Красные книги Международного союза охраны природы, России, Японии, Кореи (Красная книга Хабаровского края, 2000; Комплексная эколого-экономическая оценка, 2015).

Для сохранения биоразнообразия требуется создание и поддержание взаимосвязанной системы охраняемых природных территорий. В бассейне Амура уже существует развитая сеть природоохранных резерватов, покрывающая более 12% его территории. Данные по охраняемым территориям России приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Охраняемые природные территории российской части бассейна Амура

Субъект РФ	Площадь федеральных ООПТ (тыс. га)	Площадь региональных ООПТ (тыс. га)	Общая площадь ООПТ (тыс. га)	% от площади региона
Забайкальский край	1253,693	1464,67	2718,36	10,95
Амурская область	648,79	3500,50	4149,29	11,44
Еврейская автономная область	153,68	288,28	441,96	12,20
Хабаровский край	2705,53	2234,76	4940,29	10,74
Приморский край	2543,40	512,86	3056,26	18,54
Экорегион (Россия)	7305,10	8001,07	15306,16	12,03

В пойме Среднего Амура ниже впадения р. Зея расположены территории Муравьевского и Амурского заказников (см. рис. 2.2, 2.3). Их пойменные и водно-болотные ландшафты важны для гнездования и концентрации во время миграции редких видов птиц; через эти заказники пролегает Азиатский миграционный путь.

Рисунок 2.2. Озеро Капустиха в Муравьевском заказнике
© Галина Носаченко

Рисунок 2.3. Водно-болотные ландшафты Амурского заказника
© Оксана Никитина

Помимо создания охраняемых природных территорий, для охраны речных и болотных экосистем важно сохранять естественный режим стока, обеспечивающий периодическое затопление поймы, обводнение проток и старичных озер и т. д.

2.2. Социально-экономическая характеристика водопользования в бассейне Амура

Социально-экономическая характеристика бассейна Амура определяется трансграничным положением, неравномерным размещением населения, значительной антропогенной нагрузкой. 80% границы России с Китаем (около 3500 км) – водные объекты бассейна Амура (Комплексная эколого-экономическая оценка, 2015).

В российской части бассейна Амура запасы водных ресурсов в настоящее время и в обозримой перспективе достаточны для удовлетворения нужд. Объем изымаемого стока составляет менее 1% от имеющихся водных ресурсов. При наличии в российской части бассейна реки Амур значительных запасов воды здесь ощущается дефицит незагрязненных водных ресурсов, в особенности ниже впадения китайского притока Сунгари в Амур (Горбатенко, 2013).

На территории Китая находятся наиболее освоенные притоки Амура и верховья других трансграничных водотоков. Антропогенное воздействие на водные объекты в Китае существенно сильнее, чем в России. Китай безвозвратно изымает из бассейна Амура 20–25 км^3 речного стока на сельскохозяйственные и иные нужды. В западной части бассейна активно развиваются процессы аридизации (Zhu et al., 2002). Однако явно выраженная проблема качества воды превалирует над проблемой ее количества (Каракин, 2010).

После 2005 года Россия и Китай подписали ряд соглашений и начали работу по вопросам информационного обмена, предупреждения,

технологии мониторинга. 29 января 2008 года подписано Соглашение между Россией и Китаем о рациональном использовании и охране трансграничных вод. Текущее взаимодействие Россия – Китай сконцентрировано с основном на проблемах загрязнения реки Амур (Комплексная эколого-экономическая оценка, 2015).

2.3. Характеристика региона Среднего Амура

Для определения границ региона использовано бассейновое деление (Лоция, 1976). По характеру берегов и особенностям строения долины реку Амур делят на три крупные части: Верхний, Средний и Нижний Амур. Верхний Амур – от истока до устья р. Зея, средний – от устья Зеи до устья р. Уссури, нижний Амур – от Уссури до устья – лимана.

Территория Среднего Приамурья включает левобережную часть бассейна Среднего Амура на территории России. Восточная часть бассейна Среднего Амура охватывает водосборы крупных левобережных притоков р. Амур – Зеи и Буреи. Становой хребет – водораздел бассейнов Амура и Лены. Южнее параллельно Становому хребту расположены хребты Тукуринга – Соктахан – Джагды. Между ними находится межгорная котловина, наиболее низкая часть которой – Верхне-Зейская равнина. Междуречье Зея – Амур и Зея – Селемджа занято равниной с обширными пониженными заболоченными участками. В южной части территории находится Зейско-Буреинская равнина (Шульман, 1984; Амурская область, 1989).

В пределах описываемой части бассейна (см. рис. 2.4) распространены подзолистые почвы. Низменные пойменные участки среднего и нижнего течения р. Зея заняты аллювиальными луговыми почвами, а большая часть Зейско-Буреинской равнины – лугово-черноземными почвами. Широкое распространение имеет вечная мерзлота. Однако на Зейско-Буреинской равнине и части Амурско-Зейского плато мерзлоты полностью или частично нет (Ресурсы поверхностных вод, 1966).

Зейско-Буреинская равнина относится к лесостепной и степной зонам. Растительный покров уже к 1966 г. был в значительной мере изменен под влиянием хозяйственной деятельности человека, обширные пространства лишены древесной растительности, распаханы. Леса разрежены и представляют рощи из низкорослого монгольского дуба, черной березы и реже встречающихся осины и ильма. Значительные по площади участки заняты злаково-разнотравными лугами (ковыль, типец, тонконог, овсец, пижма, вострец ложнопырейный, астрагалы и др.) (Ресурсы поверхностных вод, 1966).

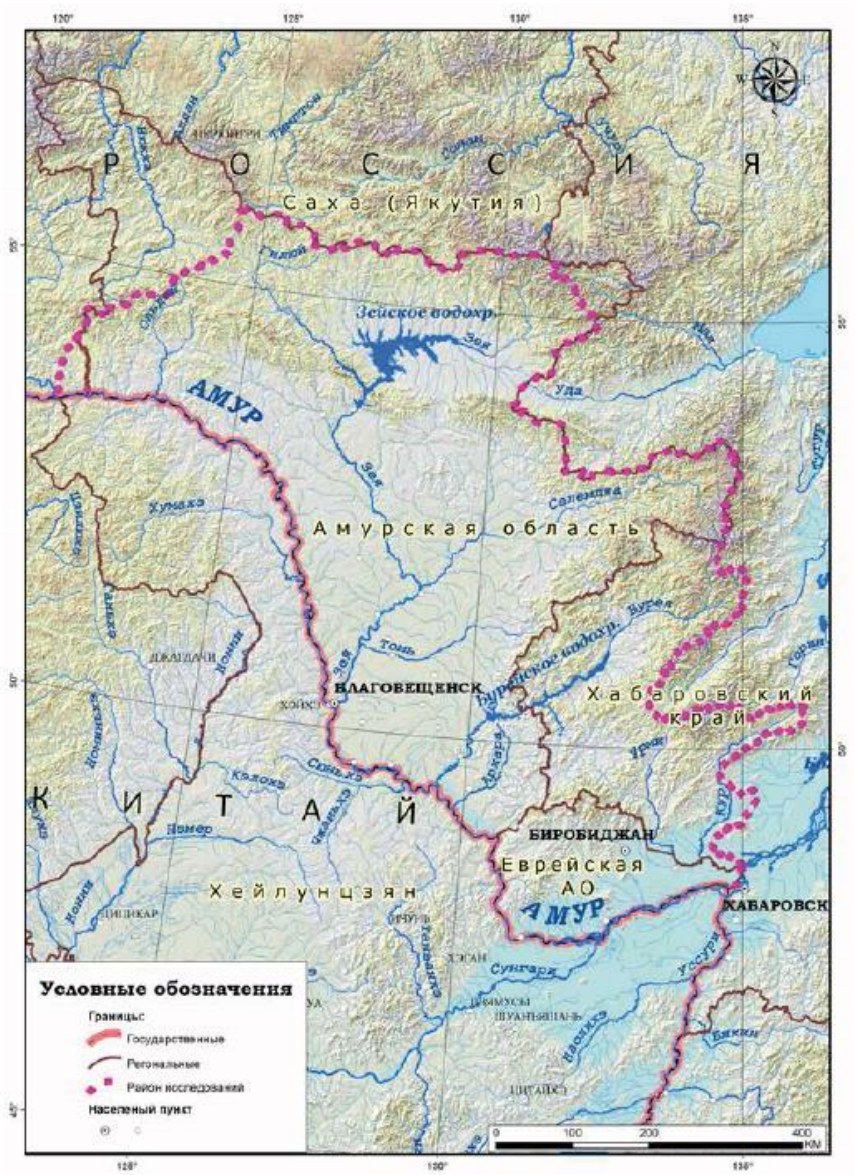


Рисунок 2.4. Физическая карта региона исследований

Климат этой части бассейна муссонный. В холодный период года сильно сказывается влияние материка (сюда проникает зимний муссон – сухие и охлажденные потоки континентального воздуха), в результате чего зимы холодные и малоснежные: осадки составляют всего 5–7% от их общеговодового количества. Летом проявляется резко выраженное влияние Тихого океана, когда весь район находится в сфере воздействия летнего муссона, обусловливающего облачное дождливое лето. Осадки составляют 500 мм и более, причем более всего выпадает влаги в июле и августе: в среднем до 100–130 мм за месяц. Осенью преобладает теплая и ясная погода (Ресурсы поверхностных вод, 1966).

Наибольшее количество осадков, выпадающих за теплый период, приурочено к июлю – августу (до 50–60% годовой нормы), в связи реки Среднего Амура в эти месяцы отличаются наиболее повышенной водностью. Условия для стока дождевых вод благоприятны в связи с горным течением рек, наличием многолетней мерзлоты и водонепроницаемостью горных пород. На большинстве рек отмечается довольно резко выраженные подъемы воды, наблюдающиеся после выпадения дождей. На больших реках в периоды прохождения сильных паводков скорости течения воды достигают 3–4 м/с. На участках верхнего течения рек Зея и Бурея средняя интенсивность составляла 0,5–0,8 м/сутки, наибольшая – 1,5–3 м/сутки. В среднем и нижнем течении Зеи и Буреи в условиях естественного (малонарушенного) водного режима эти величины составляли соответственно 0,4–0,6 и 1,0–1,5 м/сутки. В течение теплого периода проходит 4–6 паводков, преимущественно в июле и августе. Паводочный период длится от 110–120 дней в северных районах до 140–150 дней в южных, в пределах Зейско-Буреинской равнины – до 155–165 дней (Ресурсы поверхностных вод, 1966).

В режиме стока р. Амура большую роль играют р. Зея и Бурея. Удельный вес р. Зея в общем стоке главной реки составляет 40%, Буреи – 19,7% (см. табл. 2.2) (Ресурсы поверхностных вод, 1966).

Таблица 2.2. Средний многолетний сток реки Амур и главных ее притоков (Ресурсы поверхностных вод, 1966)

Река – пункт	Площадь бассейна		Средний годовой расход воды	
	км^2	%	м^3/с	%
Аргунь – устье	164 000	19	342	7,2
Шилка – устье	206 000	23,9	544	11,5
Амур – с. Покровка	370 000	42,9	886	18,7
Зея – устье	233 000	27	1910	40,2
Амур – с. Гродеково	726 000	84,2	3520	74,1
Бурея – устье	70 700	8,2	938	19,7
Амур – с. Помпеевка	862 200	100	4750	100

Данная работа фокусируется на оценке изменений в бассейне р. Зея, поэтому далее приведена более подробная информация об этой реке.

Река Зея – наиболее многоводный приток р. Амур. Берет начало на южном склоне Станового хребта, в 30 км к югу от оз. Малого Токо, впадает в р. Амур у г. Благовещенск. Длина 1242 км, площадь водосбора 233 000 км^2. По площади бассейна Амур у г. Благовещенск более чем в два раза превосходит Зею, но по водности уступает ей: средний многолетний расход Амура у Благовещенска равен 1610 м^3/с, расход Зеи в устье – 1910 м^3/с (Ресурсы поверхностных вод, 1966).

Северная часть бассейна Зеи расположена на южном склоне Станового хребта. В средней части через бассейн в направлении с востока на запад проходит цепь хребтов Тукурингра – Сокатахан – Джагды. Южнее река течет по Зейско-Буреинской равнине, ограниченной с востока склонами кряжа Турана, с запада – краем Амурско-Зейской приподнятой равнины (Ресурсы поверхностных вод, 1966).

От истока до устья р. Купури р. Зея имеет горный характер, в русле встречается много порогов и перекатов. Ширина реки 40–80 м, скорость течения воды на порожистых участках достигает 2,5–3 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 м/с, на перекатах 1,5–2 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 0,2–0,3 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 (Ресурсы поверхностных вод, 1966).

Водный режим реки трансформирован работой Зейской ГЭС, что подробнее рассмотрено в разделе 2.5. В результате регулирования стока Зейской ГЭС пойма в нижнем течении Зеи начала активно осваиваться для ведения сельского хозяйства. Большие площади Зейско-Буреинской равнины представляют ландшафты с нарушенной растительностью, где сейчас происходят сукцессионные процессы.

2.4. Плотины в бассейне Среднего Амура и их влияние на экосистемы

В бассейне Среднего Амура на территории России действуют три крупные плотины: Зейская, Бурейская и Нижне-Бурейская ГЭС (см. рис. 2.5).

Зейская гидроэлектростанция – ГЭС на реке Зея в Амурской области, у города Зея с установленной мощностью 1330 МВт (см. рис. 2.6). Водные ресурсы Зейского водохранилища (см. рис. 2.6) 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 начато в 1964 г., в техническую эксплуатацию Зейская ГЭС принята в 1985 г. (zges.rushydro.ru). Зейское водохранилище контролирует сток верхнего течения Зеи с площади 82400 км^2.

Рисунок 2.5. Схема расположения ГЭС в бассейне Среднего Амура

Рисунок 2.6. Зейская ГЭС
© Анна Барма

Рисунок 2.7. Зейское водохранилище
© Анна Барма

Бурейская гидроэлектростанция (см. рис. 2.8) с установленной мощностью 2010 МВт расположена на реке Бурее (см. рис. 2.9), в Амурской области у поселка Талакан. Водохранилище расположено на территории Амурской области и Хабаровского края. Бурейский гидроузел комплексного назначения помимо выработки энергии должен обеспечивать судоходные и санитарные условия в нижнем бьефе гидроузла, а также удерживать сток наводнений в долинах рек Бурея и Амур. В декабре 2014 года станция сдана в постоянную эксплуатацию (burges.rushydro.ru).

Рисунок 2.8. Бурейская ГЭС
© Артур Алибеков

Рисунок 2.9. Река Бурея в нижнем бьефе Бурейской ГЭС, возле плотины
© Оксана Никитина

Введенная в эксплуатацию в 2017 г. Нижне-Бурейская ГЭС (см. рис. 2.10) на реке Бурея в Амурской области – контррегулятор Бурейской ГЭС, гидроэлектростанция с установленной мощностью 240 МВт, расположенная в 85 км от устья Буреи. Нижнебурейское водохранилище – недельного регулирования: водообмен в водохранилище происходит один раз в 30–40 суток (nbges.rushydro.ru).

Рисунок 2.10. Строительство Нижне-Бурейской ГЭС в 2014 г.
© Анастасия Жданова

Эксплуатация гидроузлов Среднего Амура вызвала перераспределение годового стока: в летние месяцы величина стока снизилась, а в зимние значительно увеличилась (Гусев и др., 2008; Бортин, 2009). Трансформация водного режима Зеи привела к утрате естественных пойменных экосистем. Изменение водного режима повлияло на растительные сообщества: отсутствие естественных ежегодных паводков привело к деградации прирусловых ивовых, ивово-тополевых, уремных лесов и кустарников. Редкая повторяемость паводков в нижнем бьефе гидроузлов привела к отмиранию стариц и рукавов высокой поймы (Ахтямов, 2001).

Эксплуатация Зейской плотины привела к трансформации русловых процессов. В среднем течении Зеи, от плотины ГЭС до устья Селемджи, и ниже по реке, практически до с. Малая Сазанка, нет существенного увеличения интенсивности горизонтальных русловых деформаций. В русле нижней Зеи происходит аккумуляция наносов вследствие их поступления от активизации размывов берегов в нижнем бьефе Зейской ГЭС. В створе г/п Белогорье наблюдается формирование многочисленных молодых островов. Аккумуляция наносов отмечается и в среднем течении Амура после впадения Зеи. Расположенные здесь перекаты заносятся и требуют проведения регулярных землечерпательных работ. На перекатах образуются цепочки осередков, зарастающие кустарниковой растительностью и превращающиеся в острова (Гусев и др., 2008).

Многолетнее и сезонное регулирование стока воды Бурейской ГЭС усиливает изменения водного режима на Амуре под влиянием Зейской ГЭС. С введением в строй первой очереди Бурейской ГЭС в 2011 г. средний уровень воды в р. Амур в летние месяцы снизился в сравнении с естественными условиями (см. рис. 2.11), площадь обводнения нерестилищ рыб уменьшилась (Семенченко, 2008).

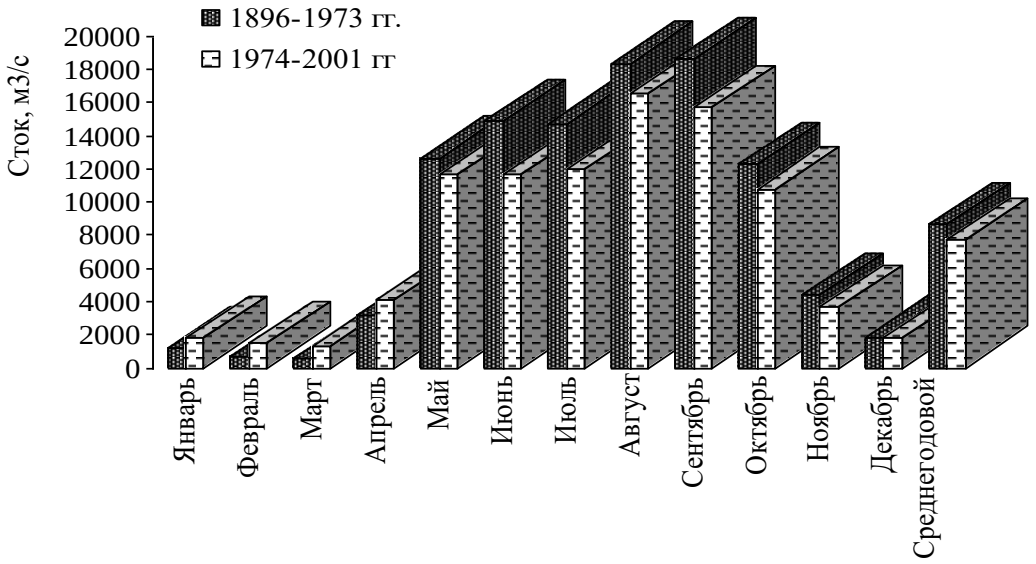


Рисунок 2.11. Годовая динамика стока воды ($м^3/с$) в р. Амур, г/п Хабаровск в периоды с 1896 г. по 1973 г. и с 1974 г. по 2001 г. (Семенченко, 2008)

В основном русле Амура после впадения Буреи можно ожидать увеличения аналогичной с Зеей трансформации русловых процессов. Аккумуляция наносов, выносимых из Зеи и Буреи, распространится на весь участок Амура в пределах Зейско-Буреинской равнины, имеющего широкопойменное русло (Гусев, 2008).

Плотины стали преградой для путей миграции: выше плотин исчезли кета, минога, сиги (Коцюк, 2009). Вероятно, что эксплуатация Зейского и Бурейского водохранилищ оказывает косвенное влияние на местообитания водоплавающих и околоводных птиц, включая краснокнижные виды: дальневосточный аист, даурский и японский журавль, орлан-белохвост, скопа (Мы и амурские наводнения, 2016), однако установление степени влияния требует дополнительной проработки.

Воздействие плотин на сток реки прослеживается и на основном русле Амура (вплоть до устья). Еще до создания Бурейской ГЭС средняя годовая амплитуда колебаний воды на участке Благовещенск – Хабаровск уменьшилась на 1,0–2,3 м, а повышение средних минимальных уровней зимней межени составило 0,3–1,2 м (Махинов, 2003).

Строительство любой, даже экологически мало ущербной ГЭС все же несет определенное воздействие, поэтому для каждого гидроузла важно определить основные экономические цели и оберегаемые объекты природной среды (Сапаев, 2006). К настоящему времени экологические попуски из водохранилищ на Зее и Бурее не разработаны и не осуществляются. В результате режимы работы водохранилищ оказывают негативное влияние на пресноводные экосистемы. Правила использования водохранилищ нужно дополнить экологически обоснованными требованиями к водному режиму для снижения нагрузки на водные и околоводные экосистемы.

2.5. Анализ изменений водного режима реки Зея

Эксплуатация ГЭС обусловила трансформацию режима стока. При разработке экологически оптимального водного режима прежде всего следует определить степень изменения гидрологического режима и рассмотреть экологически значимые гидрологические характеристики: к примеру, максимальные и минимальные уровни/расходы воды, время их наступления, скорость их изменения.

Метод исследования – сравнительный анализ характеристик водного режима с помощью программного обеспечения *Indicators of Hydrological Alteration*. Использованы данные по суточным расходам воды в створе с. Белогорье за период 1957–2013 гг. Ряд наблюдений по этому гидрологическому посту наиболее длинный и практически непрерывный. Гидрологический пост Белогорье расположен на расстоянии 617 км от створа Зейской ГЭС, в 43 км от впадения Зеи в Амур, после впадения в Зею свободно текущих притоков рр. Деп, Селемджа, Томь и др. (см. рис. 2.12). На этом участке влияние ГЭС уже не столь значимо, как в приплотинном участке. Однако именно в нижнем течении Зеи, на участке от впадения р. Селемджа до устья, в условиях разветвленного русла расположены

основные места нереста и нагула рыб, участки широкой поймы, периодическое обводнение которых важно для поддержания устойчивого состояния экосистемы.

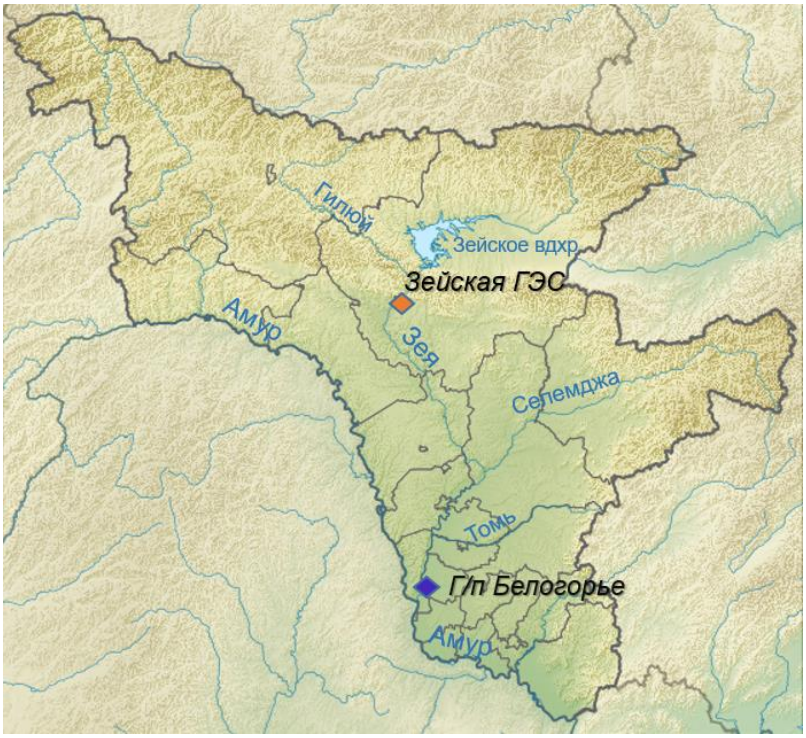


Рисунок 2.12. Схема расположения г/п Белогорье, р. Зея

Первый гидроагрегат Зейской ГЭС был пущен в 1975 г. В том же году по ряду наблюдений отмечены изменения водного режима. Поэтому 1975 г. принят в качестве границы условно-естественного (малонарушенного) водного режима и режима при регулировании стока.

Ряд наблюдений был разделен на два временных промежутка:

1. 1957–1974 гг. – период до зарегулирования;
2. 1975–2013 гг. – период после зарегулирования.

Параметры водного режима по итогам проведенного анализа приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Параметры водного режима до и после начала регулирования стока, р. Зея, г/п Белогорье

	До регулирования стока: 1957–1974 гг.				При регулировании стока: 1975–2013 гг.			
	Средняя величина	Коэффициент вариации Cv	Минимальная величина	Максимальная величина	Средняя величина	Коэффициент вариации Cv	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, м3/с			124,5					
Пороговая величина расхода для выделения высокого паводка, м3/с			4510					
Пятая группа параметров								
Скорость увеличения расхода, м3/с	353	0,22	280,6	595,3	128,5	0,36	74,7	333
Скорость падения расхода, м3/с	-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

Результаты проведенного анализа:

1) При регулировании стока изменился характера внутригодового распределения стока воды (см. рис. 2.13).

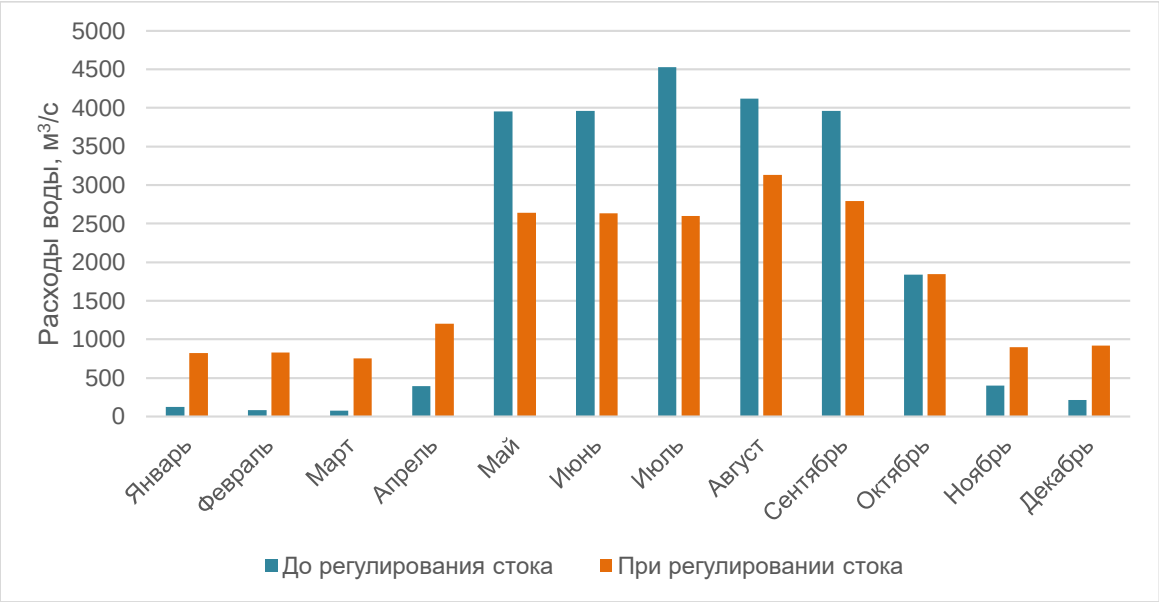


Рисунок 2.13. Среднемноголетний гидрограф р. Зея, г/п Белогорье при условно-естественном (1957–1974 гг.) режиме стока и при регулировании стока плотиной Зейской ГЭС (1975–2013 гг.)

В естественных условиях сток за теплый период года (май – сентябрь) составлял 87% от объема годового объема; сток за холодный период года (октябрь – апрель) составлял 13%. После зарегулирования суммарная доля стока за холодный период увеличилась до 35%. Зимние расходы увеличились в 4–10 раз: наибольшие различия характерны для февраля, наименьшие для декабря (см. рис. 2.14 и 2.15). В результате изменения зимних расходов выросли скорости смещения и размеров донных гряд, стали быстрее заноситься плесы и судоходные прорези, многие перекатные участки стали длиннее (Гусев, 2008).

Рисунок 2.14. Изменение расходов воды в декабре

Рисунок 2.15. Изменение расходов воды в феврале

Увеличение стока воды в зимний период предотвращает заморы рыб, но не способствует увеличению их численности, т.к. воспроизводство пресноводных рыб определяется прежде всего площадью нерестилищ и местами нагула (Семенченко, 2007), состояние которых изменилось за счет трансформации водного режима в теплый период года. Так, средние расходы за май и июнь, важные для нереста рыб, а также июль и август, важные для их нагула, понизились (см. рис. 2.16–2.19). Снижение расходов и уровней воды в летние и осенние месяцы приводит к снижению первичной продуктивности и уменьшению пищевых объектов рыб, сокращению площадей пойменных озер, заилению и зарастанию проток, сокращению площадей нерестилищ фитофильных видов рыб. Изменение величин и продолжительности периода прохождения максимальных расходов также приводит к изменению состава водной и околоводной растительности.

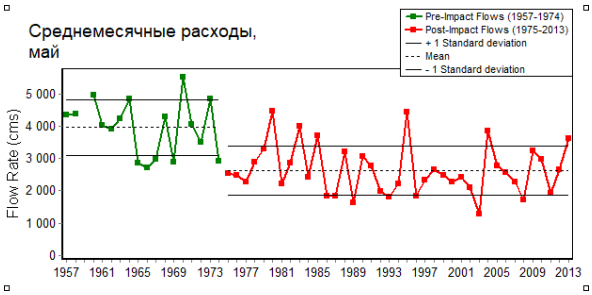


Рисунок 2.16. Изменение расходов воды в мае

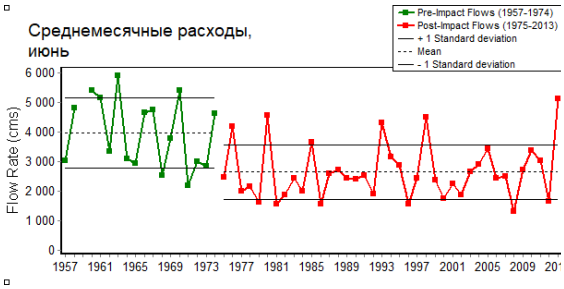


Рисунок 2.17. Изменение расходов воды в июне

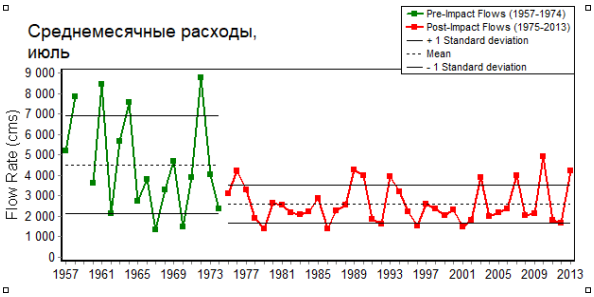


Рисунок 2.18. Изменение расходов воды в июле

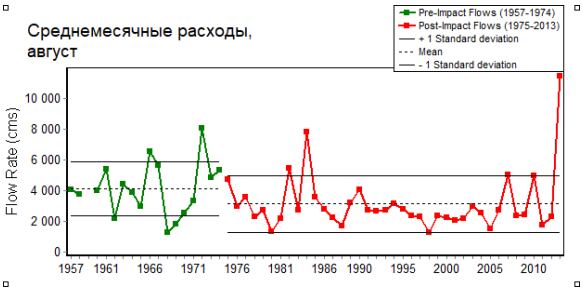


Рисунок 2.19. Изменение расходов воды в августе

2) Изменились значения максимальных и минимальных расходов за период 1, 3, 7, 30 и 90 суток. На рис. 2.20 показано изменение максимальных расходов за 30 суток.

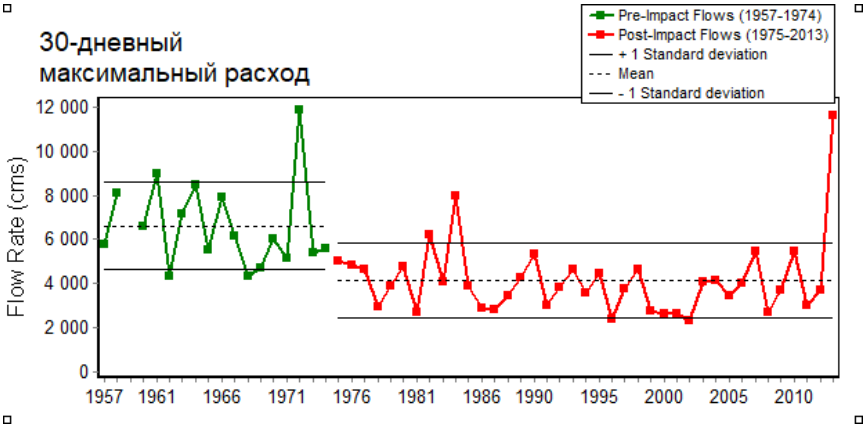


Рисунок 2.20. Изменение величины максимального расхода за 30 суток

В условиях естественного режима, летне-осенние паводки низкой обеспеченности (9000 м^3/с и более) обеспечивали транзит руслообразующих наносов. В настоящее время среднемноголетние максимальные расходы воды уменьшились более чем на 20%. В итоге изменились эпюры руслоформирующих расходов. Произошло общее снижение транспортирующей способности потока в период открытого русла, приводящее к аккумуляции наносов в русле. Возросло количество новых островов, осередков, кос. Фарватер реки стал неустойчивым. Особенно сложными и опасными для судоходства стали условия на нижнем участке Зеи длиной 112 км (Гусев, 2008).

3) Изменились даты наступления минимальных и максимальных расходов. В условиях естественного режима стока минимальные расходы наблюдались с 40 по 97 дни, т.е. с 9 февраля по 6 апреля, в зимний период (осредненная дата за период наблюдений – 74 день, или 14 марта). При регулировании стока прохождение минимальных расходов сместилось на конец декабря – начало января, однако, как описано выше, величины максимальных расходов стали значительно выше естественных.

4) При регулировании стока произошло сокращение количества и продолжительности малых паводков (расход воды более 124,5 м^3/с) и высоких (расход воды более 4510 м^3/с) паводков. Так, количество высоких паводков снизилось в среднем с 6 до 2 (см. рис. 2.21), при этом продолжительность их до регулирования стока составляла 9 дней, при регулировании – около 7. В условиях наводнений 1984, 2007 и 2013 гг. продолжительность высоких паводков была даже больше, чем до регулирования стока; максимальная продолжительность (24 дня) соответствует наводнению 1984 г. (см. рис. 2.22). Следует отметить, что в целом высокие паводки до начала регулирования стока наблюдались практически ежегодно, при регулировании стока стали наблюдаться реже.

Рисунок 2.21. Изменение количества высоких паводков

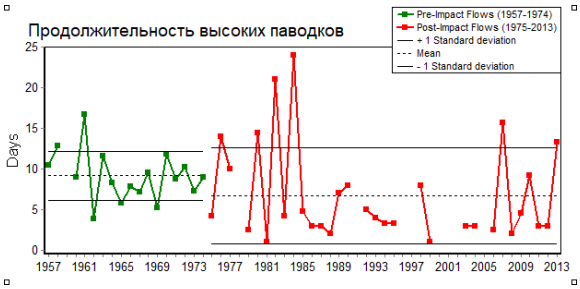


Рисунок 2.22. Изменение продолжительности высоких паводков

5) Средняя скорость увеличения расходов до зарегулирования составляла 353 м^3/с в сутки, после зарегулирования снизилась до 128,5 м^3/с

в сутки. Средняя скорость снижения расходов до зарегулирования составляла 129 м^3/с (см. рис. 2.23), после зарегулирования – 100 м^3/с (см. рис. 2.24). Регулирование стока повысило равномерность суточного стока.

Рисунок 2.23. Скорость увеличения расходов воды

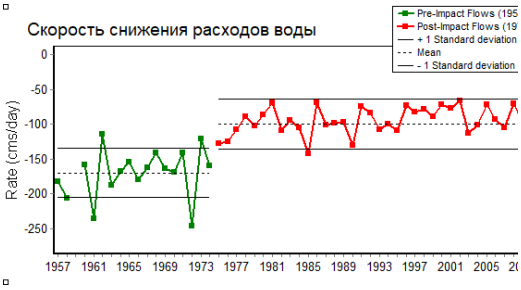


Рисунок 2.24. Скорость снижения расходов воды

С помощью программы *Indicators of Hydrologic Alteration* определены параметры водного режима экологического стока (*Environmental Flow Component parameters*), относящиеся к 5 разным группам: минимальный сток, меженный сток, сток половодья/паводков, слабые наводнения, сильные наводнения. Такая градация основана на выведенном исследователями-экологами факта, что гидрографы рек можно разделить на группы значимых в экологическом плане фаз водного режима. Наличие всех этих фаз необходимо для поддержания и сохранения экосистемы (Richter, 1997).

В частности, расходы и уровни *минимального стока (extreme low flows)* накладывают значительные ограничения на водные биологические сообщества реки, поскольку они обозначают объем водной среды, доступной на протяжении большей части года. Этот фактор оказывает значительное влияние на разнообразие и число водных организмов.

Меженный сток (low flows) делает легкой добычу ряда водных видов и в то же время необходим для осушения прибрежный пойменных территорий и последующей регенерации растительных сообществ.

Даже незначительный по объему или непродолжительный приток свежей воды *половодья и паводков (high flow pulses)* может обеспечить снижение повышенной температуры воды или увеличить содержание растворенного кислорода в воде, обеспечить поступление питательных органических веществ, необходимых для поддержки трофических связей в водной среде. Высокие расходы также обеспечивают рыбам и другим гидробионтам доступ к территориям вдоль течения реки.

Во время *незначительных / малых наводнений (small floods)* рыбы и другие гидробионты могут перемещаться по речному руслу, территории поймы или затопленной прибрежной местности, получая доступ к дополнительным местам обитания: протокам, заводям, болотам и неглубоким затопленным пойменным территориям. Температура воды в этих зонах обычно выше, чем температура в основном русле, в них много питательных веществ и насекомых, которые способствуют стремительному росту гидробионтов. Такие наводнения происходят чаще и характеризуются значительно меньшими величинами расходов в сравнении с высокими наводнениями.

Максимальный сток половодья и паводков (large floods) важен для формирования ключевых сред обитания вроде пойменных озер и прибрежных заболоченных участков (Richter et al., 1997).

При регулировании стока в г/п Белогорье не наблюдаются экстремально низкие расходы воды и крупные наводнения. Расходы малых наводнений также сократились, уменьшилось и их количество: так, на графике они отображены лишь при наводнениях 1984 и 2013 гг. В целом на графике (см. рис. 2.25) видно внутригодовое выравнивание величин расходов воды.

.

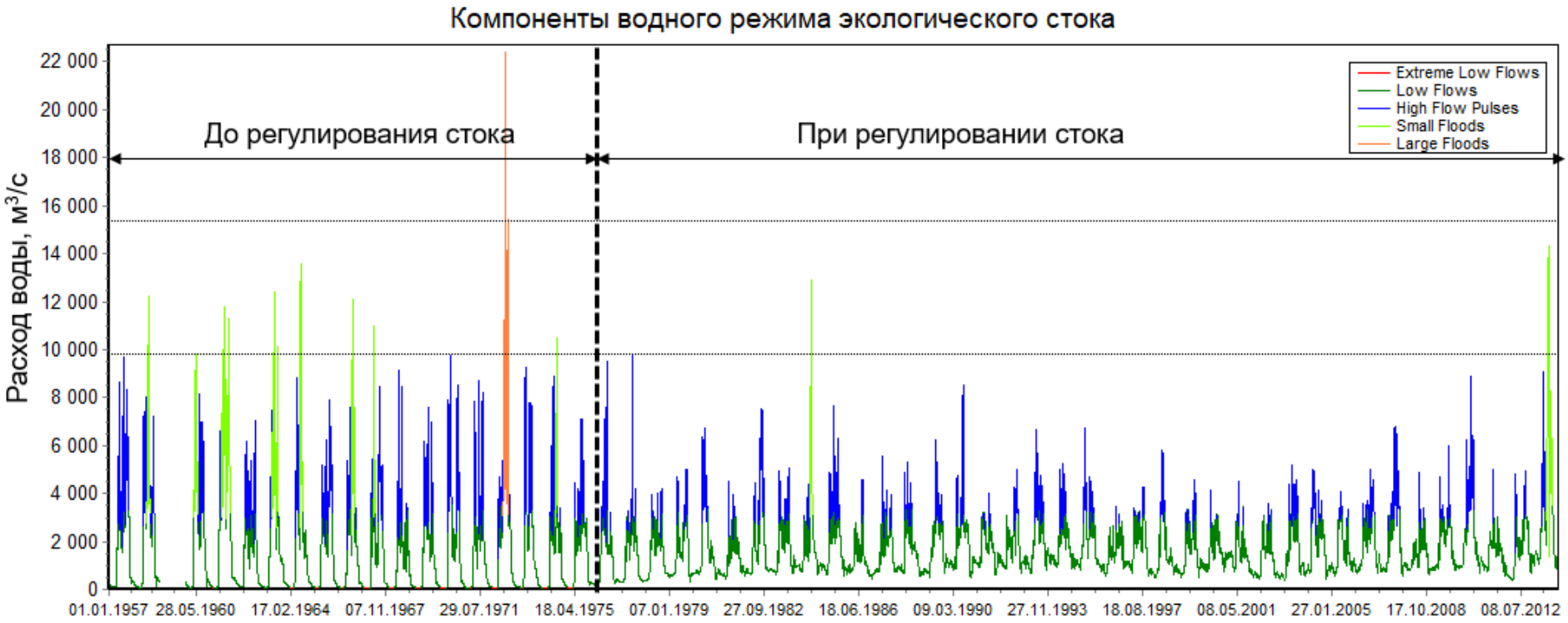


Рисунок 2.25. Компоненты водного режима экологического стока до регулирования стока плотиной Зейской ГЭС и при регулировании стока

Выводы

В бассейне Среднего Амура на территории России действуют крупные плотины Зейской, Бурейской и Нижне-Бурейской гидроэлектростанций. Воздействие плотин на сток реки прослеживается на основном русле Амура вплоть до его устья.

Эксплуатация гидроузлов вызвала перераспределение годового стока Зеи, Буреи и Амура. В летние месяцы величина стока снизилась, а в зимние увеличилась. Снижение расходов и уровней воды в летние и осенние месяцы приводит к уменьшению пищевых объектов рыб, сокращению площадей пойменных озер, заилению и зарастанию проток, сокращению площадей нерестилищ рыб. Также плотины стали преградой для путей миграции гидробионтов. Увеличение стока воды в зимний период предотвращает заморы рыб, но не способствует увеличению их численности. В результате роста зимних расходов выросли скорости смещения и размеров донных гряд, перекатные участки стали длиннее.

Среднемноголетние максимальные расходы воды Зеи уменьшились более чем на 20%. При регулировании стока в г/п Белогорье не наблюдаются экстремально низкие расходы воды и большие паводки. Редкая повторяемость паводков в нижнем бьефе привела к отмиранию стариц и рукавов высокой поймы. Трансформация водного режима Зеи обусловила утрату естественных пойменных экосистем, смену растительных сообществ.

Эксплуатация Зейской плотины привела к трансформации русловых процессов. Изменились эпюры руслоформирующих расходов р. Зея. Произошло общее снижение транспортирующей способности потока в период открытого русла, приводящее к аккумуляции наносов и формированию многочисленных молодых островов. В основном русле Амура после впадения Буреи можно ожидать увеличения аналогичной с Зеей трансформации русловых процессов.

К настоящему времени экологические попуски из водохранилищ на Зее и Бурее не разработаны и не осуществляются. В результате режимы работы водохранилищ оказывают негативное влияние на водные и пойменные экосистемы. При разработке экологически оптимального водного режима прежде всего следует определить степень изменения гидрологического режима и рассмотреть экологически значимые гидрологические характеристики. При дальнейшей разработке режимов экологического стока нужно учитывать особенности экологии местных видов (к примеру, рыб, водоплавающих и околоводных птиц, растительности) и их адаптации к водному режиму. Согласно исследованиям (Сапаев, 2006), оптимум обводненности поймы можно выявить путем моделирования, приняв за основу наиболее динамичные объекты: продуктивность луговой растительности, численность и биомассу рыб.

ГЛАВА 3. ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ

Зарегулирование рек плотинами изменило состояние пресноводных экосистем в нижнем бьефе. Материалы, описывающие произошедшие изменения объектов околоводных экосистем в бассейне реки Зея, чаще содержат информацию преимущественно качественного характера, без конкретных численных показателей. Ввиду отсутствия количественных данных сложно оценить трансформацию пресноводных экосистем и разработать обоснованные меры для их поддержания или восстановления. В таких случаях для оценки изменений экосистем можно использовать данные дистанционного зондирования, которые могут послужить основой для картирования этих изменений. По этим данным можно оценить площадные характеристики объектов, уровни и периодичность выхода воды на пойму, изменение биомассы участков поймы (Мищенко и др., 2009; Трифонова и др., 2009; Мищенко, 2011; Елсаков и др., 2016).

Поймой называют самую низкую, покрытую растительностью часть дна речной долины, которая в условиях естественного или малонарушенного водного режима полностью или частично затапливается во время половодий и паводков (Маккавеев, 1986). Периодическое затопление поймы – важный гидроэкологический показатель режима рек, индикатор качества и продуктивности пойменных земель. Для обеспечения нормальной жизнедеятельности природного комплекса поймы требуется ее периодическое затопление, которое удобряет ее взвешенными и растворенными в воде питательными веществами, обеспечивает повышенное увлажнение почв (Фащевский, 2007).

Речные поймы играют большую роль в жизни водных и околоводных экосистем. Их устойчивое состояние обеспечивает воспроизводство травостоя лугов, пойменных лесов, рыб, земноводных и рептилий, водоплавающих и

околоводных птиц, млекопитающих. В пойме аккумулируется огромное количество биогенных элементов, принесенных как с поверхности водосбора, так и образовавшихся на месте в результате разложения и минерализации затапливаемой растительности. Это обуславливает высокое биоразнообразие макрофитов, луговой и древесной растительности, на основе которого пойма обладает в десятки раз большим количеством корма для рыб, водоплавающих и млекопитающих, чем русло реки (Фащевский, 2007). Поэтому так важно оценить изменения, происходящие на пойменных территориях при регулировании стока рек.

В пойме Амура ниже впадения Зейской ГЭС расположен Муравьевский заказник. В ходе исследований в Муравьевском заказнике зарегистрировано более 600 видов высших растений и 300 видов птиц; среди последних более 20 видов находятся под угрозой исчезновения и включены в Международную Красную книгу и Красную книгу РФ. Заболоченные экосистемы в границах Муравьевского заказника включены в число водно-болотных угодий международного значения в рамках Рамсарской конвенции и зависят от водного режима рек Амура и Зеи (Бассейн реки Гильчин, 2016).

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 условиях регулирования стока на пойменных территориях снижается урожайность луговых сообществ, происходит перестройка луговой растительности, расширяются места для произрастания лесной растительности. Выраженность таких изменений определяется степенью регулирования стока, а именно высотой, временем и продолжительностью сниженных естественных паводков и попусков из водохранилища (Сапаев, 2006).

Цель работы – выявить и проанализировать направленность и интенсивность изменения водных и околоводных экосистем ниже Зейской плотины в связи с регулированием стока. Изначальная гипотеза состоит в том,

что регулирование стока оказало решающее влияние на изменение экосистем. Другие возможные факторы трансформации экосистем: изменение климата, развитие сельского хозяйства, пожары.

Методы исследования – оценка пространственно-временного изменения площади объектов на пойменных территориях Зеи, анализ динамики изменения водных объектов и оценка изменения биомассы участков поймы с помощью вегетационного индекса.

3.1. Оценка пространственно-временного изменения объектов пойменных территорий реки Зея

Экспертное дешифрирование с использованием топографических карт масштаба 1:100 000 позволило выявить границы поймы Зеи, включающие высокую пойму с редкой повторяемостью затопления (приблизительно 1 раз в 50 лет) (Егидарев, 2012; Farr et al., 2000). 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 (крупнейшего притока Зеи) в 350 км от плотины Зейской ГЭС, а заканчивается в устьевом участке Зеи; его длина 200 км, максимальная ширина 23 км (см. рис. 3.1).

С использованием программного обеспечения *ArcGIS 10.5* и разновременных дистанционных данных созданы два тематических слоя масштаба 1 : 50 000 (рис. 3.2). Эти слои отображают ретроспективную (1969 и 1971 гг.) и современную (2016 г.) структуру и изменение земель анализируемых участков поймы.

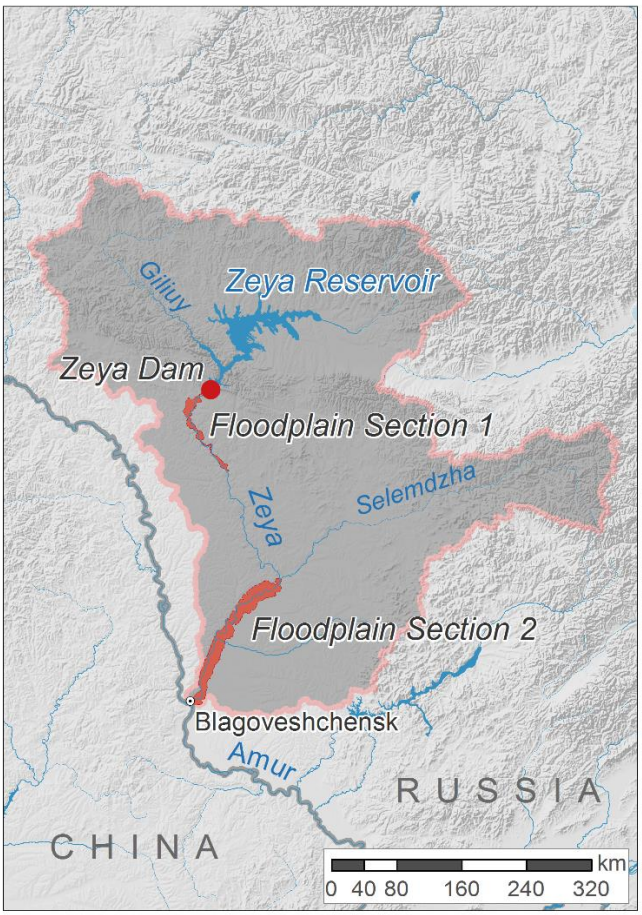


Рисунок 3.1. Расположение анализируемых участков поймы:
Floodplain Section 1 – участок поймы № 1,
Floodplain Section 2 – участок поймы № 2.

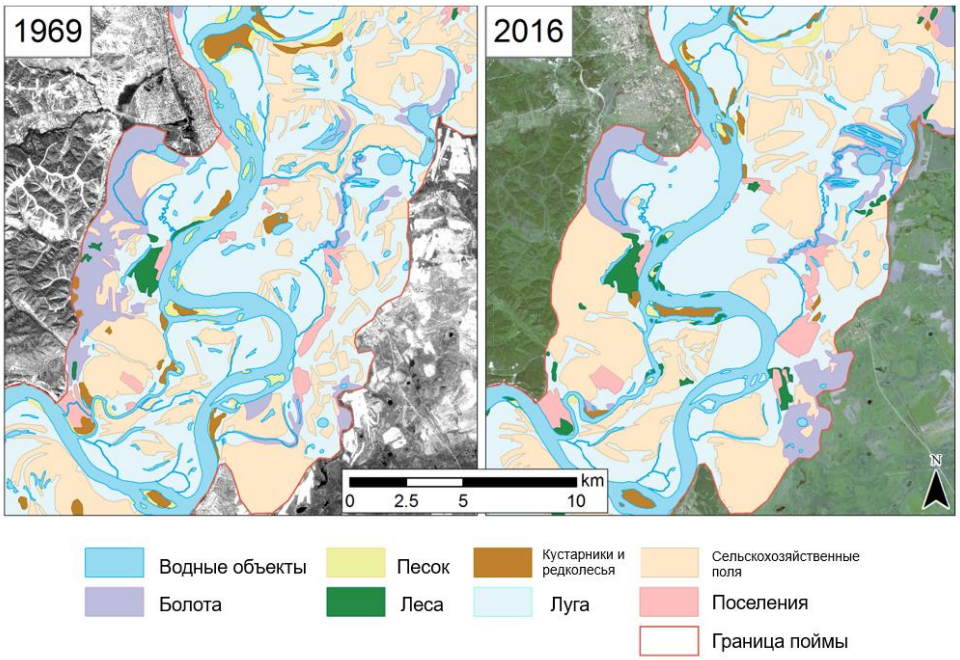


Рисунок 3.2. Анализируемые объекты участков поймы

Ретроспективный срез представлен архивными данными космофотосъемки военных разведывательных миссий CORONA, ARGON, LANYARD. Мозаики на исследуемую территории собраны из космофотоизображений, датированных 23 сентября 1969 и 14 сентября 1971 гг. Эти анализируемые мозаики отображают состояние территории, характерное для естественного (малонарушенного) водного режима р. Зея: регулирование стока началось с 1975 г., на полную мощность ГЭС была введена в 1980 г. Современный временной срез представлен данными с космического аппарата Sentinel-2. На исследуемые районы были созданы мозаики снимков, полученные 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 года.

Дополнительный анализ, отображающий использование земель в вегетационный период в 2002 и 2016 гг., был проведен на базе дистанционных данных спутника Landsat и с помощью программного обеспечения *ArcGIS 10.5*.

При дешифрировании архивных и современных снимков стала очевидна водность рассматриваемых лет: 2016 г. был многоводный в сравнении с 1966 г. и характеризовался повышенными расходами рек, впадающих в Зею ниже по течению от плотины; разница особенно очевидна на втором участке поймы, в нижнем течении Зеи.

В таблице 3.1 приведены данные по площади объектов поймы и их изменениям за 1969–2016 гг. на обоих участках. При расчете относительных значений за 100% принималась площадь природных объектов при естественном режиме стока в 1969/1971 гг.

Таблица 3.1. Объекты поймы в период 1969–2016 гг.

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 участке поймы № 1

Изменение объектов участка поймы №1 показано на диаграмме (см. рис. 3.3).

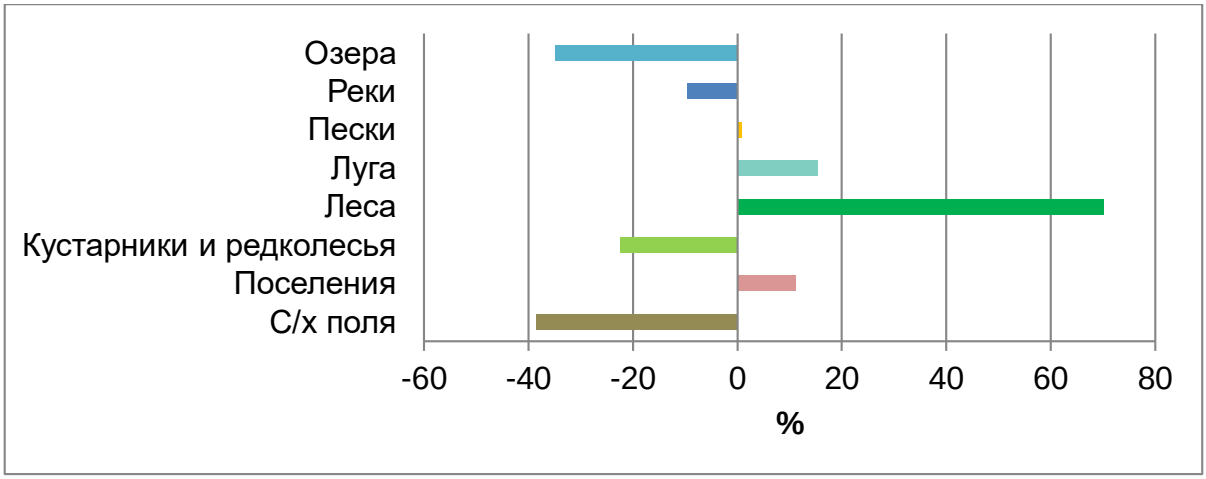


Рисунок 3.3. Изменение объектов на участке поймы №1

Площадь пойменных и старичных 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, зарастание пойменных водоемов. Другая предположительная причина – климатические изменения. Сравнение оценок региональных трендов за два периода 1976–2006 и 1976–2012 гг. выявило тренд потепления +0.44°/10 лет в регионе Амура, однако этот тренд статистически незначим на 5%-м уровне. Осредненные количества 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 в данном случае не были основной причиной выявленного сокращения площади озер.

Расходы воды в нижнем бьефе Зейской ГЭС (2016 г.) стали меньше расходов, наблюдавшихся при условно естественном (малонарушенном) водном режиме (1969 г.). Это объясняет уменьшенное значение площади водного зеркала основного русла реки Зея (уменьшение площади составляет 9,7%). Небольшие речные протоки поймы высохли, ряд из них трансформировался из единого водотока в цепь старичных озер. Площадь песчаных отмелей и непокрытых растительностью островов изменилась несущественно: анализ показал увеличение площади на 0,9% за счет снижения расхода воды и обнажения отмелей на основном русле Зеи в связи с регулированием 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 подтверждает исследования (Мартынов, 2013), результаты которых указывают, что изменение режима паводков или их прекращение обуславливает ускоренное развитие различных 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 немного увеличилась с 1,9 до 2,1 тыс. га. За рассматриваемый период на этом участке поймы произошло существенное сокращение сельскохозяйственных территорий: с 14,6 до 9,0 тыс. га. Это объясняется тем, что в 1954–1965 гг. шел процесс активного освоения целинных земель для увеличения производства зерна – введение в оборот обширных территорий Советского Союза в Казахстане, Поволжье, Урале, Сибири, на Дальнем Востоке, в том числе на территории Амурской области в пойме Зеи. Для пойменных территорий характерны плодородные земли с высокой урожайностью, что способствует их эффективному сельскохозяйственному

использованию (Брыкина, 2017). В рассматриваемых 1969–1970 гг. расширение посевных площадей продолжилось за счет выращивания сои. Экономический кризис, начавшийся в 1980-е гг., привел к сокращению территорий сельскохозяйственных земель.

Изменение объектов на участке поймы №2

Изменение объектов участка поймы №2 показано на диаграмме (см. рис. 3.4).

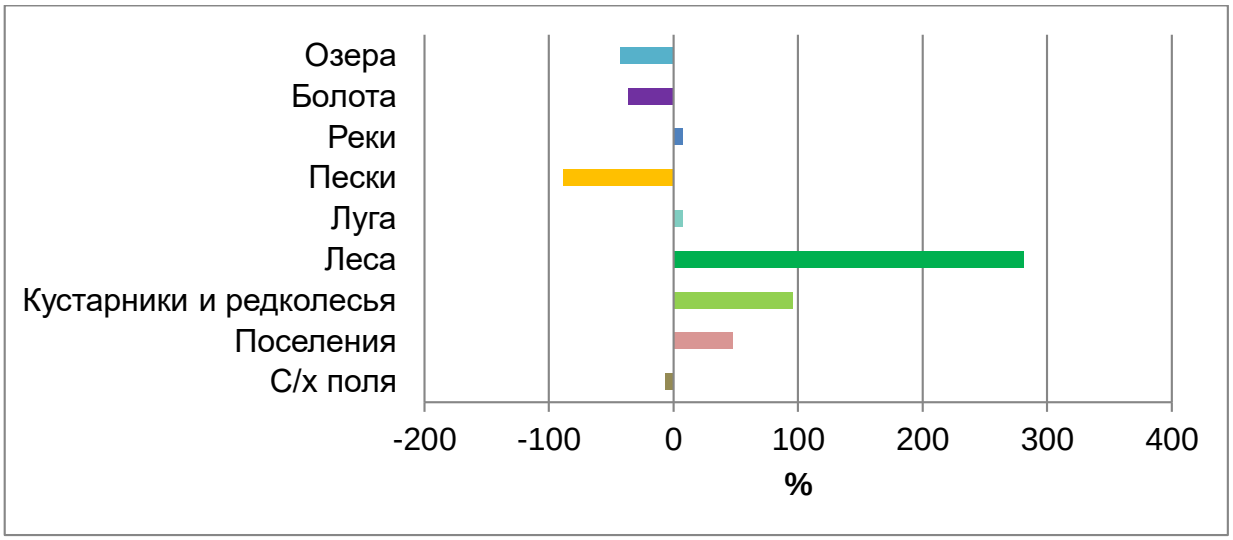


Рисунок 3.4. Изменение объектов на участке поймы №2

Сентябрь 2016 года оказался многоводным в сравнении с 1966 годом: 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. Очевидно, что Зея в своем нижнем течении находится в меньшей зависимости от режима работы Зейской ГЭС из-за влияния крупного свободно текущего притока – реки Селемджа, впадающей в Зею в начале рассматриваемого участка поймы, а также других впадающих в

нее рек. В то же время небольшие пойменные протоки на участке сократились, что указывает на изменившиеся условия обводнения пойменных территорий. Площадь песчаных отмелей и непокрытых растительностью островов сократилась с 7,3 до 0,8 тыс. га (на 88,6%) в связи с большой водностью 2016 г. и увеличенными расходами воды, затоплением берегов и островов. 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 значительное влияние крупного притока Селемджи, 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. Этот рост, помимо влияния фактора водного режима, может быть 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 тысячи очагов возгораний. Под воздействием постоянного пирогенного фактора тип растительности сменяется с лесной в древесно-кустарниковую, обедняется видовой состав растительности и животного мира.

Площадь населенных пунктов выросла с 3,8 до 5,6 тыс. га. Площадь сельскохозяйственных угодий незначительно сократилась с 49,0 до 45,7 тыс. га (на 6,6%). Для 1966 г. было характерно освоение целины и возделывание больших площадей. Однако, с начала 2000-х годов на нижнем участке реки Зея наблюдается рост площади сельскохозяйственных угодий. На этом участке с использованием разновременных дистанционных данных спутника Landsat был проведен дополнительный анализ отображающий использование земель в вегетационный период в 2002 и 2016 гг. Расчеты показали удвоение площади

используемых пахотных земель в 2002–2016 гг.: с 14,5 тыс. до 29,8 тыс. га. Выросла также площадь заброшенных сельскохозяйственных территорий, включая так называемые земли под паром – поля, не занимаемые посевами и содержащееся в рыхлом и чистом от сорняков состоянии: с 8 тыс. га в 2002 году до 13,7 тыс. га в 2016 г. Проведенный анализ подтверждает тезис о том, что при регулировании стока и контролировании наводнений происходит трансформирование естественных экосистем из-за активного развитием сельского хозяйства (Шаликовский и др., 2011; Брыкина, 2016).

Примеры выявленных различий пойменных объектов на участках широкой поймы в период 1969/1971–2016 гг. показаны на рис. 3.5.

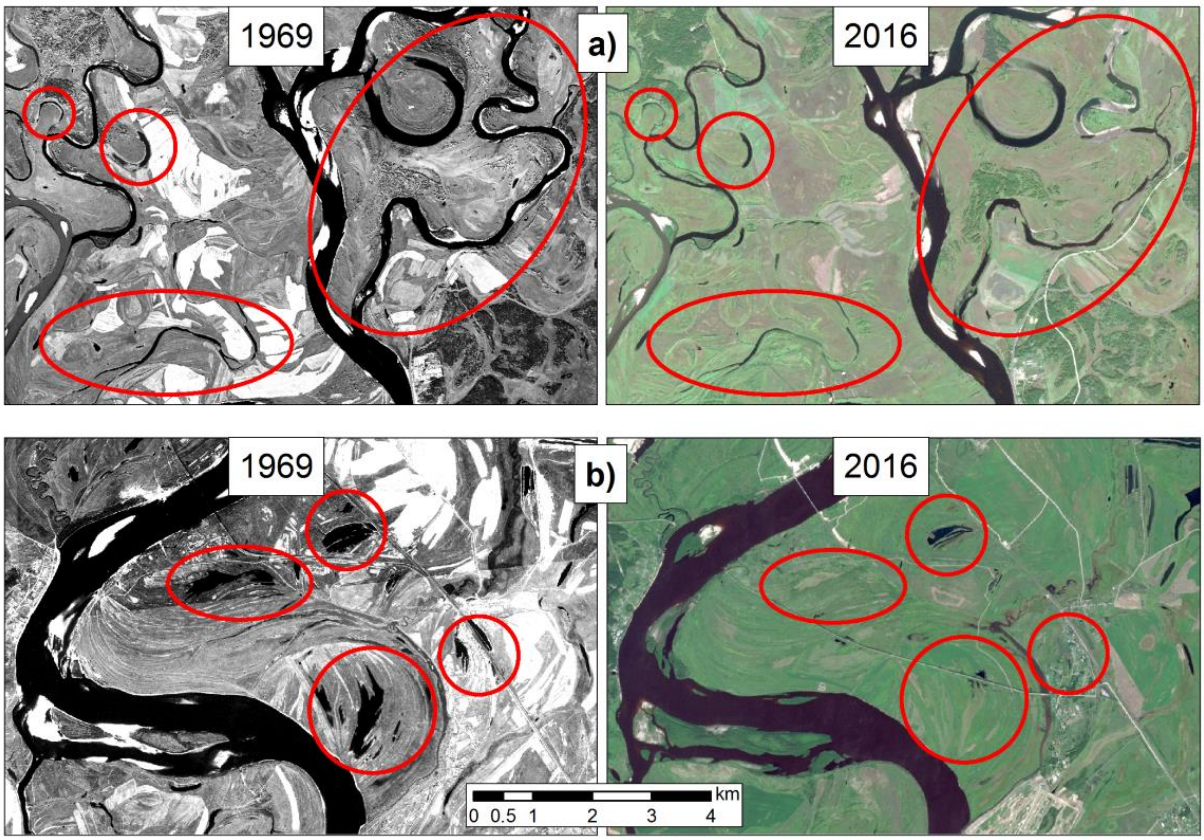


Рисунок 3.5. Примеры изменений объектов поймы: (a) на участке поймы №1русло реки превратилось в цепочку старичных озер; площадь пойменных озер сократилась (b) площадь озер на участке поймы №2 сократилась.

3.2. Анализ динамики изменения водных объектов

Для определения площади водных объектов использовался водный индекс Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI), оптимальный для анализа при использовании космических снимков Landsat (Курганович и др., 2015). По двум причинам для анализа был выбран месяц сентябрь. Во-первых, снимки сентября дают возможность сопоставить и дополнить информацию, полученную при анализе снимков 1969/1971 и 2016 гг. Во-вторых, анализ в другие месяцы теплого периода годы невозможен ввиду малого количества снимков из-за частых дождей и высокой облачности, характерных для региона. В сентябре количество осадков в изучаемом регионе уменьшается, что в данном случае позволило проанализировать данные за 1988–2008 гг.

На обоих участках широкой поймы были выбраны тестовые участки с целью определения динамики площади водных объектов для оценки изменения площади озер, болот и рек. Площадь водных объектов (за исключением основного русла р. Зея) отображена в таблицах 3.2 и 3.3.

Анализ показал отсутствие связи сбросов с Зейской ГЭС и площади водных объектов поймы. Для тестового объекта первого пойменного участка связь между объемами сбросов с Зейской ГЭС и водностью рек и пойменных озер не выявлена (рис. 3.6). Очевидно, что величина расхода воды основного русла и крупных проток Зеи зависит от сбросов из водохранилища, но состояние других водных объектов определяется выпадением осадков. По данным космоснимков многоводных 2007 и 2013 годов можно выделить объекты и территорию, обводнение которых определяется расходами воды р. Зея. Состояние этих объектов может быть улучшено при реализации экологических попусков.

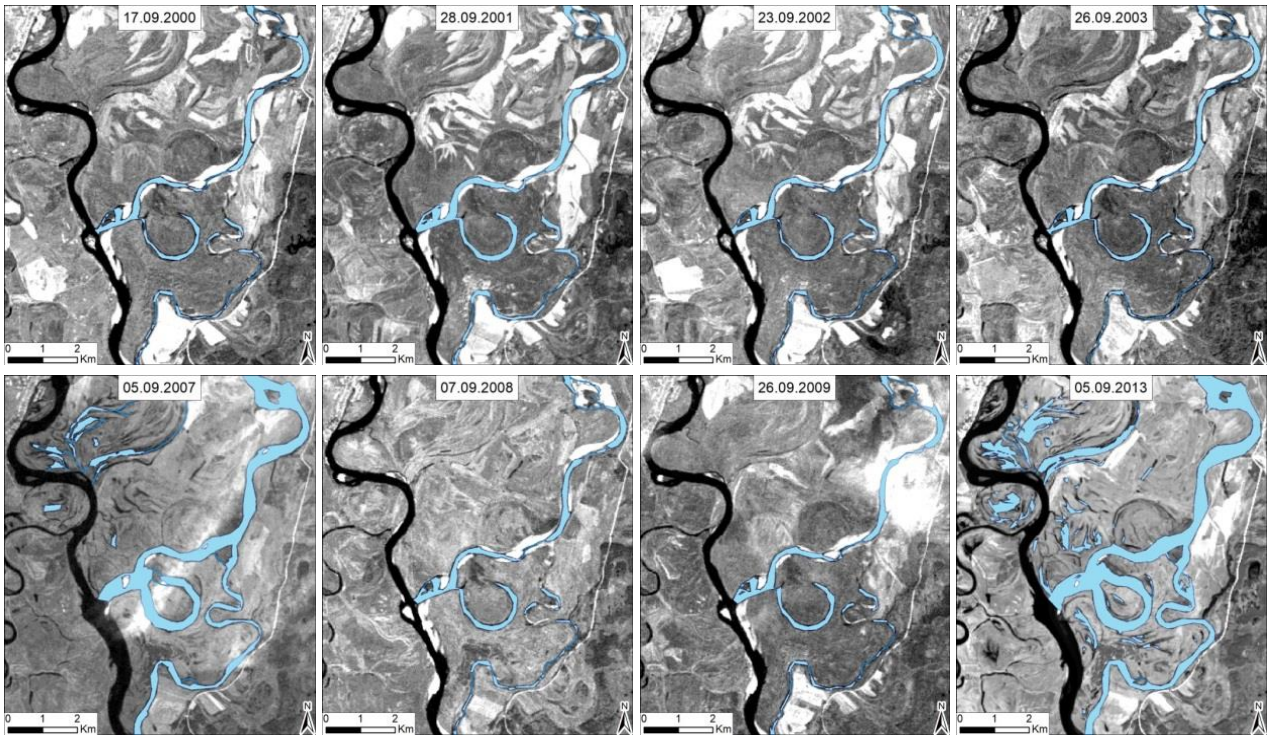


Рисунок 3.6. Изменение площади водных объектов на тестовом участке широкой поймы № 1 в сентябре 2000–2013 гг.

Аналогичные результаты были получены для тестового участка на территории широкой поймы №2. На космических снимках видны территории, залитые водами основного русла Зеи и ее проток, и очевидны водные объекты, не расположенные в непосредственной близости к основному руслу реки. Их площадь, соответственно, определяется количеством выпадающих осадков, погодными условиями и др. факторами окружающей среды. В частности, на втором пойменном участке в течение сентября 2000 г. площадь объектов изменилась практически втрое (см. рис. 3.7 и 3.8), при том что состояние русла Зеи по снимку определяется как схожее.

Таблица 3.2. Площадь водных объектов тестового участка в пределах участка поймы №1

Дата съемки	Площадь водных объектов, га
16.09.1988	198,3
06.09.1990	194,2
27.09.1992	191,5
17.09.1994	193,4
14.09.1995	197,5
06.09.1996	191,5
28.09.1998	177,6
17.09.2000	185,1
28.09.2001	262,0
23.09.2002	183,9
26.09.2003	177,5
02.09.2006	226,1
07.09.2007	681,1
07.09.2008	207,3
26.09.2009	208,7
05.09.2013	1037

Таблица 3.3. Площадь водных объектов тестового участка в пределах участка поймы №2

Дата съемки	Площадь водных объектов, га
02.09.1986	184,5
07.09.1987	148,7
25.09.1988	159,3
12.09.1989	123,6
18.09.1991	135,3
20.09.1992	167,8
02.09.1997	114,8
21.09.1998	137,4
08.09.1999	452,4
02.09.2000	298,6
18.09.2000	222,7
26.09.2000	122,4
21.09.2001	197,5
08.09.2002	201,8
05.09.2004	145,8
21.09.2004	128,3
24.09.2005	120,6
30.09.2007	115,0
06.09.2010	128,2
30.09.2013	1389,7
01.09.2014	204,2
04.09.2015	165,6
25.09.2017	162,3

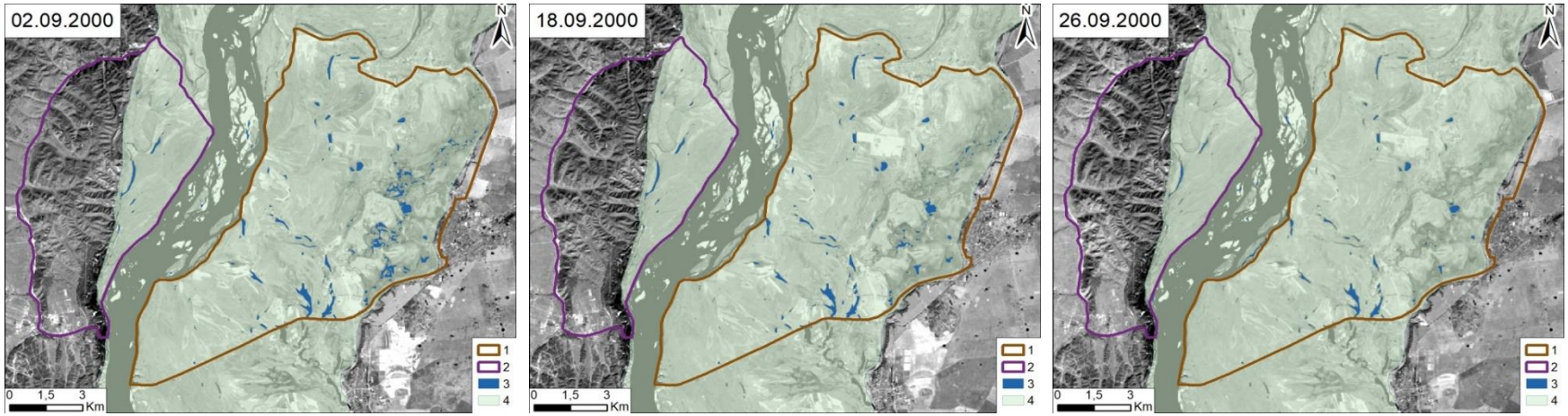


Рисунок 3.7. Водные объекты тестового участка широкой поймы №2 в разные дни сентября 2000 г.

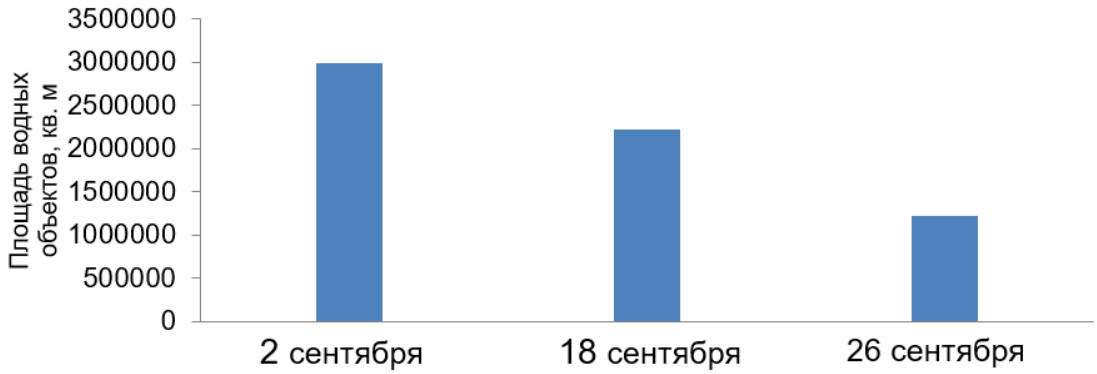


Рисунок 3.8. Площадь водных объектов тестового участка в разные дни сентября 2000 г.

3.3. Оценка изменения биомассы участков поймы

Для оценки характеристик растительного покрова пойменных участков использован вегетационный индекс NDVI. Нормализированный вегетационный индекс (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) – это стандартизированный индекс, показывающий наличие и состояние растительности, относительную биомассу. Его рассчитывают для оценки динамики изменения площади, границ и характеристик различных типов растительности по серии разновременных снимков с заданным временным разрешением. NDVI использует контраст характеристик двух каналов из набора мультиспектральных растровых данных – поглощения пигментом хлорофилла в красном канале (RED) и высокой отражательной способности растительности в инфракрасном канале (NIR) (ArcGIS for DeskTop, электронный сайт).

.Вычисляется по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где

NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра,

RED – отражение в красной области спектра (GIS-Lab.info, электронный сайт).

Индекс NDVI принимает значения от -1,0 до 1,0, в масштабированной шкале в диапазоне от 0 до *255*. Чем лучше развита растительность во время вегетации, тем выше значение NDVI. С помощью этого индекса можно судить о развитии зеленой массы растений во время вегетации. Применяется для оценки урожайности и продуктивности территории, величины биомассы, влажности и насыщенности почвы, биологического разнообразия экосистемы и степени ее нарушенности. Зависимость между этими параметрами и NDVI, как правило, не прямая, т.к. связана с физико-географическими

характеристиками исследуемой территории и другими ее особенностями. Поэтому карты NDVI используются как один из промежуточных слоев информации для проведения более детального анализа (GIS-Lab.info, электронный сайт).

При анализе рассмотрена территория Березовского и Благовещенского заказников, расположенная в пределах второго участка поймы Зеи (см. рис. 3.9). Это относительно малонарушенные участки поймы реки Зея, сохраняющие комплексы водно-болотных и лесостепных угодий. Территории заказников и прилегающих мест важны как места обитания и остановки на пролетах водоплавающих и околоводных видов птиц, включая редких – дальневосточного аиста (см. рис. 3.10), даурского журавля.

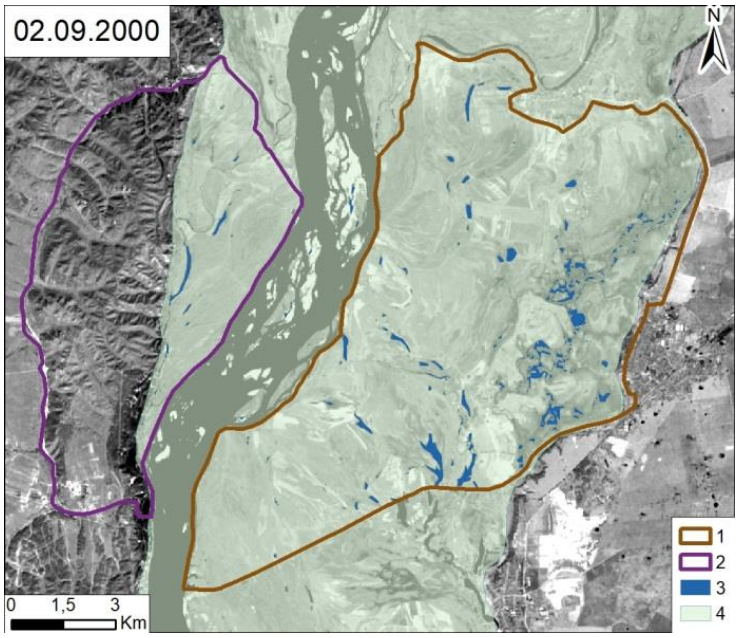


Рисунок 3.9. Расположение Березовского и Благовещенского заказников на участке поймы Зеи №2: 1 – Благовещенский заказник, 2 – Березовский заказник, 3 – водные объекты поймы Зеи, 4 – пойма Зеи «Березовский»

Рисунок 3.10. Дальневосточные аисты в Березовском заказнике

Территория заказников приближена к фоновым условиям: здесь ограничена деятельность человека и его влияние на окружающую среду. Поэтому можно считать, что на этой территории можно сфокусироваться на изучении влияния факторов влияния окружающей среды, таких как обводнение территории и количество выпадающих осадков.

Анализ данных показал, что индекс NDVI, осредненный по территории изучаемых заказников, соответствует погодным условиям: на рисунках 3.11–3.14 показана динамика индекса в течение теплого времени года и в июле разных лет. Из полученных данных (см. приложение 1) следует, что июль и август характеризуются наивысшей продуктивностью растительности.

Связи с расходами Зеи выявлено не было в связи с описанной выше причиной: объекты поймы, не прилегающие непосредственно к руслу Зеи и не затапливаемые ее водами, в большей степени определяются такими погодными условиями, как температура и количество осадков. Поэтому применение вегетационного индекса для выявления связи водности и продуктивности пойменных территорий следует сводить к многоводным и последующим годам (например, 2013 г. и далее), когда Зея выходила из основных берегов и обводняла территорию поймы. По итогам проведенного

анализа очевидно, что следует фокусироваться на состоянии растительности низкой поймы, территория которой затапливается чаще, чем удаленные территории обширной средней и высокой поймы Зеи. К сожалению, данных после 2008 г. для анализа нет, поэтому определение продуктивности после наводнения 2103 г. (после прохождения максимальных уровней воды и затопления наибольших участков поймы за время функционирования плотины) не представляется возможным.

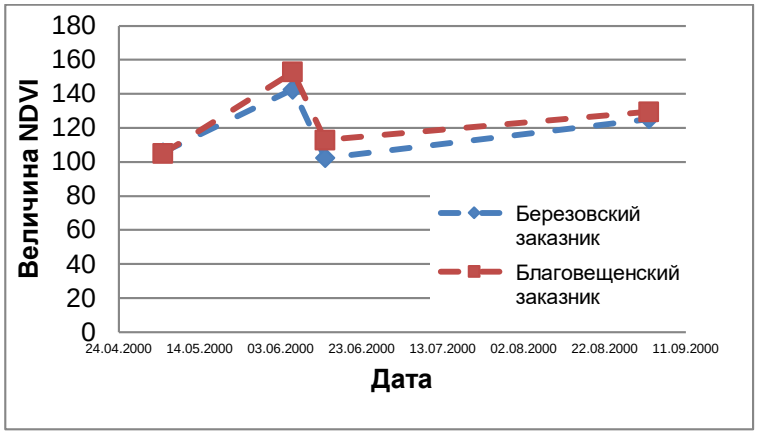


Рисунок 3.11. Индекс NDVI в 2000 г.

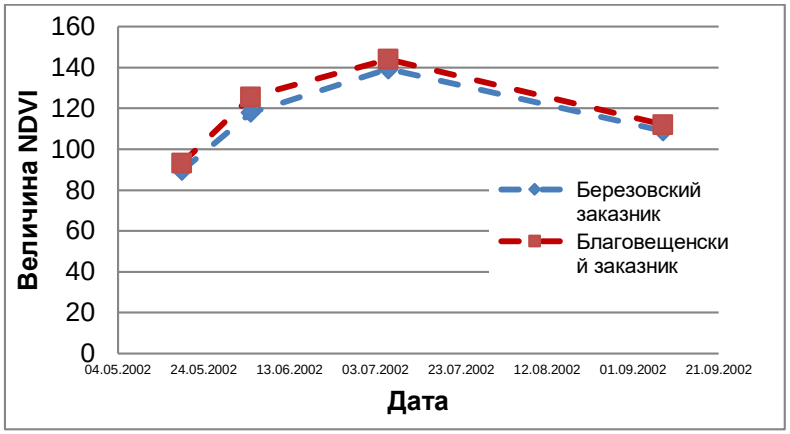


Рисунок 3.12. Индекс NDVI в 2002 г.

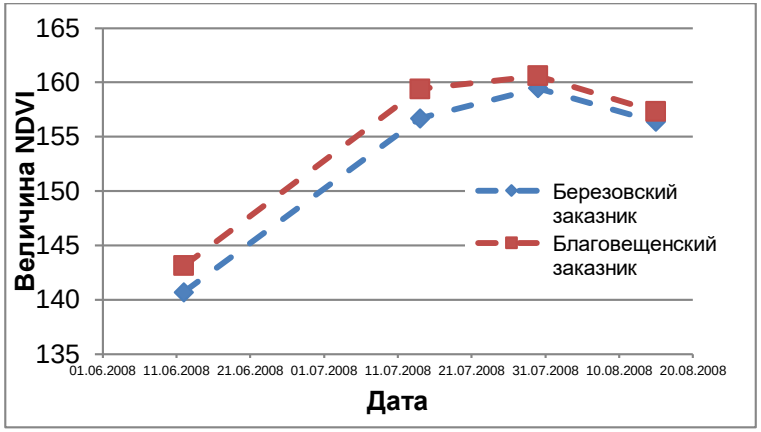
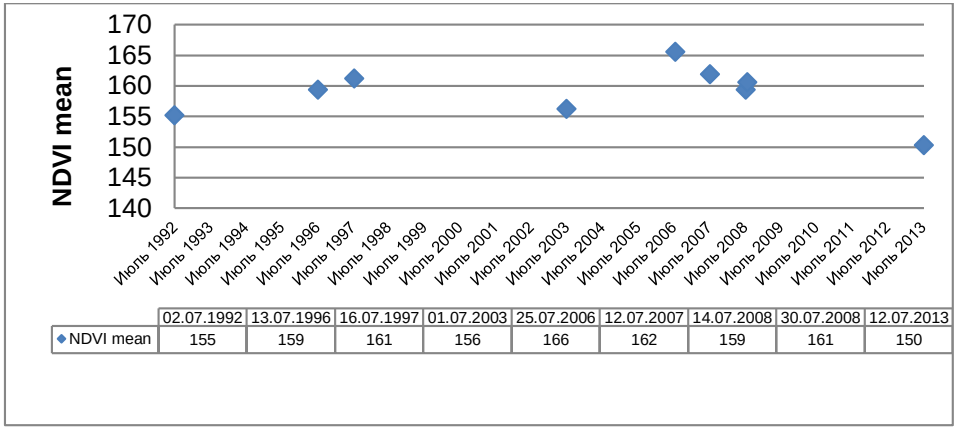


Рисунок 3.13. Индекс NDVI в 2008 г.



	02.07.1992	13.07.1996	16.07.1997	01.07.2003	25.07.2006	12.07.2007	14.07.2008	30.07.2008	12.07.2013
NDVI mean	155	159	161	156	166	162	159	161	150

Рисунок 3.14. Индекс NDVI в июле разных лет

Выводы

Для оценки изменений объектов поймы на обширных территориях, выявления направленности изменения экосистем эффективно использование данных дистанционного зондирования.

Сравнение площади объектов на двух участках широкой поймы по снимкам 1969/1971 и 2016 гг. показало сокращение площади пойменных озер и болот, превращение ряда проток в старичные озера, увеличение лесных территорий.

Для определения площади водных объектов в сентябре разных лет использовался водный индекс MNDWI. Анализ показал отсутствие связи водности р. Зея и площади водных объектов, не находящихся в непосредственной близости к основному руслу реки. По космическим снимкам многоводных 2007 и 2013 годов можно выделить объекты и территорию, обводнение которых определяется расходами воды р. Зея при выходе ее воды на пойму. Состояние этих объектов может быть улучшено при реализации экологических попусков.

Для оценки характеристик растительного покрова пойменных участков использовался вегетационный индекс NDVI. Рассмотрена территория Березовского и Благовещенского заказников, приближенная к фоновым условиям. Показана динамика осредненного по территории заказников индекса в течение теплого времени года разных лет. Наибольшая биомасса растительного покрова характерна для июля и августа. Связь биомассы территории с расходами Зеи не выявлена: состояние растительных объектов поймы, не прилегающие непосредственно к руслу Зеи и не затапливаемые ее водами, в большей степени определяется погодными условиями. Вероятно, что для выявления связи водности и продуктивности растительности следует рассматривать многоводные и последующие годы (например, 2013 г. и далее), когда Зея выходила из основных берегов и обводняла пойму. Следует фокусироваться на состоянии растительности низкой поймы, которая затапливается чаще, чем удаленные территории средней и высокой поймы Зеи.

ГЛАВА 4. ИХТИОФАУНА СРЕДНЕГО АМУРА И ТРЕБОВАНИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ВОДНОГО БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ

4.1. Особенности экологии ихтиофауны Амура

Водные экосистемы функционируют в едином блоке с наземными, и разрушение одной из компонент ведет к отрицательным последствиям для всего комплекса экосистемы. Функционирование экосистем, их устойчивость к неблагоприятным факторам зависят от разнообразия видового и популяционного состава гидробионтов. Обеднение видового состава делает экосистемы неустойчивыми к воздействию различных природных и антропогенных факторов (Дубинина, 2001, 2003).

Рыбы – конечное трофическое звено водных экосистем, поэтому их состояние служит интегральным показателем экологической ситуации водной экосистемы (Дубинина, 2003; Фащевский, 1989, 1996). Именно поэтому разработка экологических попусков часто базируется на определении состояния рыбных популяций и требований рыбного хозяйства.

Гидрологический режим водного объекта является одним из основных факторов, влияющих на численность пресноводных рыб. От характера гидрологического режима зависит характер икрометания, выживаемость икры и молоди фитофильных рыб р. Амур (Крыжановский, Смирнов и Соин, 1951; Никольский, 1956; Вронский, 1965; Семенченко, Переводчикова, 2005).

4.1.1. Видовой состав ихтиофауны Амура

Видовой состав Амура богаче видами в сравнении с другими реками страны, включает более 100 видов рыб (в Волге обитает 74 вида, в Оби 42 вида). Эти виды распространены по участкам Амура неравномерно. Только в Нижнем Амуре встречаются практически все виды Амурского бассейна, по

мере удаления от устья количество видов уменьшается. В Среднем Амуре и его притоках встречаются 69 видов Амурского бассейна (Совместная российско-китайская схема, 1993).

В Амурской ихтиофауне большое развитие получили пелагофильные рыбы (белый лещ, белый амур, толстолобики, желтощек, верхогляд, змееголов и др.). Для амурской ихтиофауны характерен высокий процент хищников и почти полное отсутствие планктоноядных рыб. Невысокие весенние паводки рек в бассейне Амура, низкий зимний уровень и препятствуют развитию водной растительности и затрудняют процесс воспроизводства фитофильных рыб. Поэтому преобладающие в большинстве российских рек фитофильные виды в бассейне Амура представлены малым количеством видов. Наличие многочисленных мелких рыб, истребляющих донную икру, – причина незначительного числа видов литофильных рыб (Совместная российско-китайская схема, 1993).

Рыбное население Амура сформировалось из четырех основных групп различного происхождения:

1) Третичный равнинный фаунистический комплекс

Состоит из рыб, которые обитали здесь в доледниковые времена и сохранились по сегодняшний день: тихоокеанская минога, все виды осетровых (калуга, амурский осетр, сахалинский осетр), дальневосточная красноперка (угай), амурский сазан, амурский сом. Из числа пресноводных к этому ихтиокомплексу относится 13,6% видов (Никольский, 1956).

2) Рыбы северного происхождения, проникшие в бассейн Амура, принадлежащие к трем фаунистическим комплексам:

- Пресноводный арктический комплекс (кета, горбуша, камчатская семга, мальма, сиги и др.) – 7,4% всех типично пресноводных рыб Амура;
- Бореально равнинный фаунистический комплекс (амурская щука, амурский чебак, серебряный карась, окунь и т.д.) – всего 11,1% от всех пресноводных рыб Амура;

– Бореально предгорный ихтиокомплекс (ленок, таймень, хариус) – 14,2% всех пресноводных рыб Амура.

3) Самый главный источник становления ихтиофауны – проникновение в Амур представителей китайского фаунистического комплекса: 49,3% всех типично пресноводных рыб Амура. Промысловые виды: черный и белый амуры, черный и белый амурские лещи, верхогляд, монгольский краснопер, желтощек, уклей, толстолобик, китайский окунь (ауха), кони.

4) Индо-африканский ихтиокомплекс (6,2% от всех пресноводных рыб): четыре вида косаток, ротан-головешка и змееголов (Совместная российско-китайская схема, 1993).

4.1.2. Влияние водного режима, периодов и фаз разной водности на состояние ихтиофауны

Многие виды рыб бассейна Амура приспособились к динамическим условиям гидрологического режима, поочередно используя разные участки Амура в течение года для нереста, зимовки и нагула. Так, в период подъемов уровня воды в летние месяцы рыбы стремятся уйти в притоки и пойменные озера. Для нереста рыбы используют как основное русло реки Амур и его крупные протоки (рыбы, мечущие пелагическую икру), так и разливы и озера, в период затопления наземной травянистой растительности, на которую рыбы-фитофилы откладывают икру (см. рис. 4.1). В период нагула рыбы используют участки поймы, залитые водой в период летних и осенних паводков, а также пойменные озера (Никольский, 1956).

Рисунок 4.1. Типичное нерестилище рыб-фитофилов на небольшом притоке р. Зея – реке Ивановка
© Оксана Никитина

С наступлением холодов и при постепенном снижении уровня воды начинается миграция как молоди, так и взрослых рыб из водотоков, мелководных заливов и озер поймы в русло Амура. Зимовка рыб в пойменных озерах невозможна из-за их промерзания. Войдя в основное русло осенью, большинство видов рыб прекращает питание и залегает на ямы (Никольский, 1956; Семенченко, 2008).

Средние и многоводные годы создают благоприятные условия для популяций рыб. В многоводные периоды лет воспроизводство, нагул большинства видов амурских рыб успешны, резко увеличивается их численность. Рыбы, особенно фитофилы, широко расселяются в пределах всей поймы, пополняя видовой состав в периферийных и изолированных водоемах. При снижении уровня воды много рыб, особенно молоди, остается в отшнурованных водоемах, где в массе гибнет осенью и зимой. Однако в целом динамика состояния населения рыб положительна (Сапаев, 2006).

Маловодные годы неблагоприятно сказываются на численности многих видов рыб, в особенности страдают фитофильные рыбы. При низких уровнях летом многие пойменные озера, протоки пересыхают, в остальных устанавливаются критически низкие уровни. Полоса затопления сужается, снижается и биотопическое разнообразие. Также при пониженном стоке в летний период происходит перегрев воды, что приводит к гибели рыбы. В обмелевших озерах, особенно в прирусловых, в массе появляются растения мелководий и берегов. Озера начинают зарастать. В озерах, расположенных на средних по высоте поверхностях поймы, биомасса также возрастает. Такие изменения прибрежно-водной растительности вызывают отрицательную динамику для большинства рыб. Из-за низкого уровня воды и сокращенной площади нереста, обсыхания икры, повышенной гибели мальков условия воспроизводства рыб резко ухудшается, а в отдельные годы у некоторых видов нерест становится невозможным (Сапаев, 2006).

Для нереста всех фитофильных рыб обязательно прежде всего наличие залитого водой нерестового субстрата. Нерест фитофилов может начаться лишь при затоплении паводком наземной растительности (Никольский, 1948; Кржыжановский, Смирнов и Соин, 1951; Вронский, 1965).

В естественных условиях на Амуре было три пика паводков: весенний, летний и осенний (Никольский, 1948). Нерест большинства фитофилов, за исключением щуки, связан с летним паводком (Вронский, 1965).

Характер гидрологического режима Амура в период нереста и сопутствующие метеорологические условия сильно влияют на процесс икрометания. Эти условия зачастую определяют не только сроки наступления и продолжительность нереста фитофильных рыб, но и его интенсивность, а также степень выживаемости икры и молоди, особенно на ранних стадиях (Вронский, 1965).

В связи с большой изменчивостью сроков наступления и длительности паводков залитие нерестилищ в различные сезоны разных лет резко различаются по характеру, времени и мощности (Вронский, 1965). Время

нерестовой миграции с мест зимовок в придаточную систему и водоемы поймы, где расположены основные нерестилища фитофилов, в разные годы может несколько смещаться в зависимости от характера весны и состояния нерестового стада. Однако, как правило, смещается в пределах 10–12 дней (Вронский, 1965). Заполнение поймы водой и затопление водной растительности в Амуре в районе Хабаровска начинается при уровне воды 80–100 см от отметки условного нуля уровня гидрологического поста. Самые высокие уловы наблюдаются от нереста рыб при уровне воды больше 2 м (Вронский, 1965).

Нерестовое стадо того или иного вида не остается неизменным в различные годы: сильно варьируют и возрастной состав производителей, и соотношение созревших и еще не готовых к икрометанию рыб к началу нереста, так как на темп созревания и степень готовности производителей к нересту сильное влияние могут оказывать нерестовые условия предыдущего года, а также условия нагула и зимовки. При задержке нереста в предыдущем году значительная часть производителей не успевает созреть к началу нерестового периода очередного года. В результате иногда значительная часть особей, достигших половой зрелости, не имеет возможности приступить к нересту в данном году или в данный сезон этого года (Вронский, 1965).

При наличии залитых нерестовых площадей начало нереста определяется минимальной температурой воды, при которой данный вид может приступить к икрометанию. Каждому виду присущ определенный температурный минимум, ниже которого нерест обычно не наблюдается. В зависимости от ряда факторов (потепление, похолодание, количество осадков, в том числе зимних, характер весны и пр.) наступление минимальных нерестовых температур в различные годы может заметно смещаться, часто не совпадая с благоприятными для нереста условиями паводкового режима (Вронский, 1965) (табл. 4.1).

Первой к икрометанию приступает щука. Она заходит в придаточную систему из русла Амура часто до начала ледохода, и сразу после вскрытия

Амура приступает к нересту при температуре воды от 4,2 °С. Икра выметывается в придонных слоях воды, приклеиваясь к прикорневым участкам растений или подмытым корешкам. Нерест обычно происходит на неглубоких местах (0,3–0,8 м) (Вронский, 1965).

Следующим за щукой приступает к икрометанию карась при температуре воды не ниже 13 °С. Затем начинают метать икру сазан и амурский сом: минимальная температура их нереста 14–15 °С (Вронский, 1965).

Карась и сазан выметывают икру преимущественно на свежезалитую растительность на небольшой глубине: карась от 15 до 70 см, сазан от 30 до 90 см (Крыжановский, Смирнов и Соин, 1951). При благоприятных условиях икрометание у всех видов рыб может растянуться на очень длительный период: например, с середины мая до середины июля (Вронский, 1965).

Все фитофильные рыбы Амура, особенно амурский сом и сазан, очень чувствительны к продолжительности залития нерестового субстрата. Нерестилища представляют собой громадные естественные отстойники, в которых мутная амурская вода очищается: роль фильтров играет главным образом растительность, т.е. нерестовый субстрат. В результате растения быстро покрываются взвесью, заиливаются. Поэтому в период нереста при продолжающемся повышении уровня подавляющее большинство нерестующих особей передвигается вместе с водой на свежезалитые участки. Ведущие факторы полного созревания фитофилов: температура воды и наличие нерестового субстрата при непрерывном повышении уровня воды. При падении уровня воды икра, прикрепленная к растительности, погибает от обсыхания (Вронский, 1965).

Таблица 4.1. Сроки нереста фитофильных рыб и температуры воды на нерестилищах в период нереста (Вронский, 1965)

Годы	Показатели	Щука	Карась	Сазан	Амурский сом
1954 – 1962	Общий период нереста (от самой ранней до самой поздней даты)	27 апреля – 8 июля	13 мая – 15 августа	16 мая – 10 августа	16 мая – 20 августа
	Минимальная продолжительность, дни	5	16	9	5
	Минимальная продолжительность, даты	8–12 мая	13–28 мая 8–23 июня	20–28 мая	24–28 мая
	Максимальная продолжительность нереста, дни	65	88	61	83
	Максимальная продолжительность нереста, даты	5 мая – 8 июля	20 мая – 15 августа	16 мая – 15 июля	16 мая – 8 августа
	Глубина расположения нерестилищ, см*	30–80	15–70	30–90	
	Места расположения нереста*	Свежезалитая зеленая растительность	Свежезалитая зеленая растительность	Свежезалитая зеленая растительность	Свежезалитая зеленая растительность
	Температура воды при нересте, °С				
	Минимальная	4,2	13,2	14	14
	Максимальная	22	32,5	31	31

По результатам исследования В. В. Вронского (Вронский, 1965), в отношении нереста фитофильных рыб сделаны следующие выводы:

1. Нерест фитофильных рыб Амура возможен лишь при определенной минимальной температуре воды на нерестилищах, характерной для каждого вида.

2. Нерест происходит лишь при залитии нерестовых площадей постоянно прибывающей водой.

3. Залитая растительность, пробывшая под водой более 3–4 суток при нормальных летних температурах, сильно заиливается, ослизняется и становится непригодной в качестве нерестового субстрата.

4. Все фитофилы, особенно сазан и щука, чувствительны к колебаниям уровня. Понижение уровня воды приводит к сокращению и даже прекращению нереста. Особенно гибельно для икры и молоди фитофилов резкое снижение уровня воды, следующее за высоким его стоянием в период нереста.

Важный период жизненного цикла рыб р. Амур для формирования их численности – период нагула, продолжающийся с июля по сентябрь, во время муссонных дождей. Гидрологический режим в этот период характеризуется наиболее высокими уровнями воды в реке. Часто в это время происходит не только заполнение поймы Амура водой, заливаются водой прилегающие к пойме леса и луга. В паводок, когда вода из Амура поступает в озера, на стыке речных и озерных вод, образуются зоны высокой продуктивности (Сиротский, 1991; Богатов, 1994). При затоплении наземной растительности увеличивается: размеры площади нагула, количество кормовых объектов, количество мест, где молодые особи могут прятаться от хищников. Все это благоприятно сказывается на росте, развитии и выживаемости не только молодых, но и взрослых рыб (Семенченко, 2008).

В зимний период рыбы скапливаются в большом количестве в наиболее глубоких местах в русле р. Амур – в зимовальных ямах. В этот период активность рыб очень низкая. При низких уровнях воды в зимний период часто

отмечали гибель рыб от заморов (Крыхтин, 1975), особенно при низкой проточности в условиях низкого содержания кислорода (Семенченко, 2008).

4.2. Оценка влияния регулирования стока на состояние ихтиофауны и рыбопродуктивность

Эксплуатация гидроузлов Среднего Амура оказывает влияние на условия обитания рыб. Снижение уровня воды в летние и осенние месяцы, т.е. в период нагула и роста рыб (см. рис. 4.2), приводит к снижению первичной продуктивности Амура и как следствие к уменьшению пищевых объектов рыб. Снижается выживаемость и темп роста, ухудшается подготовка рыб к зимнему периоду. Это приводит к снижению численности не только рыб фитофилов, но и пелагофилов (Семенченко, 2008).

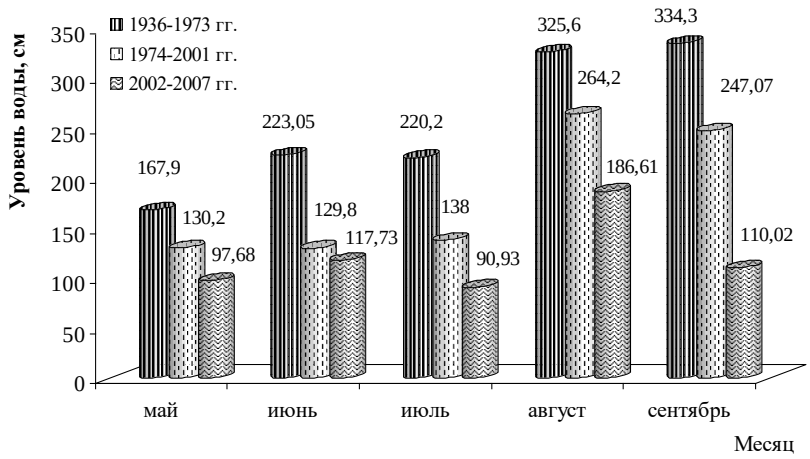


Рисунок 4.2. Изменение уровня воды в р. Амур в период нереста и нагула пресноводных рыб (Семенченко, 2008)

В зимний период благодаря увеличению стока в результате работы ГЭС выживаемость рыб улучшается, вероятно, за счет предотвращения заморов, что может способствовать увеличению численности (Семенченко, 2008). Однако основными лимитирующими численность пресноводных рыб факторами на Амуре является обеспеченность рыб пищевыми объектами, а также размеры нерестилищ (Никольский, 1956).

В результате строительства гидроузлов в бассейне Среднего Амура и внутригодового перераспределения величины стока изменился видовой состав рыб с разной экологией нереста. Если до начала регулирования стока в уловах Среднего Амура преобладали фитофилы – сом, щука, сазан, карась (Крыхтин, 1975), то в настоящее время на первое место в уловах выходят рыбы – пелагофилы – белый толстолобик, верхогляд, лещ, даже появились в большом числе желтощек и ауха (Семенченко, 2008).

4.3. Состояние рыбного промысла в бассейне Среднего Амура

В бассейне Амура промысловое значение имеют проходные виды горбуша, летняя и осенняя кета, которые зимуют и нагуливаются в море, а для нереста заходят в Амур и его притоки.

Из более 100 обитающих в Амуре видов рыб, 23 пресноводных вида (28 с учетом редких в настоящее время) – промысловые. Основу уловов пресноводных рыб составляют семь видов: это сазан, сом амурский, амурская щука, карась, верхогляд, белый толстолобик, белый амурский лещ.

Среди пресноводных рыб р. Амур главное место в промысле занимают рыбы-фитофилы (рыбы, откладывающие икру на растительность); они достигают 70–80% от общей величины уловов, составляя основу частикового промысла. Уловы рыб-фитофилов значительно возрастали после лет с высокими уровнями воды (Вронский, 1965; Крыхтин, 1975; Семенченко, 2008). Это связано с тем, что во время разлива реки увеличивается площадь нерестилищ, на хорошо прогреваемых мелководьях создаются благоприятные условия для выживаемости личинок и роста молоди рыб (Никольский, 1974). Обычно поколения маловодных лет оказываются малочисленными, а многоводные многочисленными (Никольский, 1956). Аналогичная зависимость наблюдается и для пелагофильной группы рыб (выметывают икру непосредственно в толще воды) (Крыхтин, 1975).

В промысловом отношении амурская щука (*Esox reichertii)* – наиболее востребованный вид пресноводных рыб р. Амур, одна из самых многочисленных частиковых рыб в бассейне Амура. Ее вылов в период 1937–2016 гг. составлял в среднем 13,70 % (2,75–37,33 %) от объема вылова всех пресноводных рыб. Максимальный улов щуки был зарегистрирован в 1961 г. — 3384,1 т. В 60-е гг. прошлого века ее уловы, как и прочих промысловых видов рыб р. Амур, значительно уменьшились и до настоящего времени находятся на низком уровне. В последние **10** лет среднегодовой улов щуки составлял всего 125,4 т. По материалам исследований (Островская, 2017), улов щуки наиболее тесно связан с уровнем воды в июне – сентябре предшествующего года (рис. 4.3).

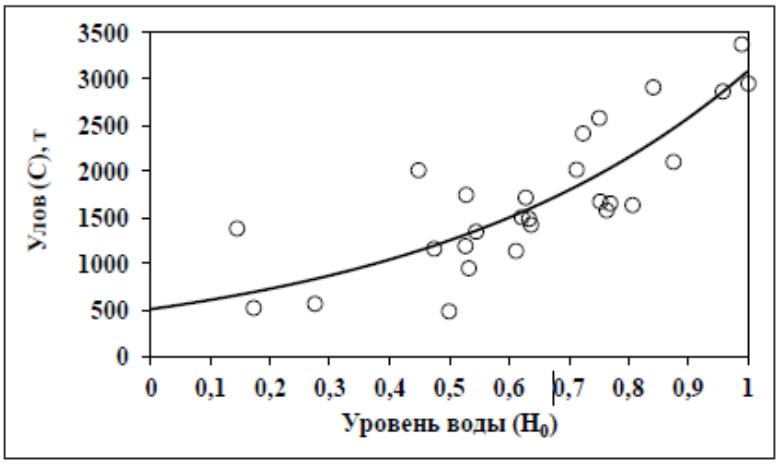


Рисунок 4.3. Зависимость уловов амурской щуки в данном году от среднего значения нормированных уровней воды в июле-сентябре предшествующего года (Островская, 2017)

Полученные результаты свидетельствуют об адекватном описании изменчивости уловов щуки под влиянием рассмотренных факторов до 1965 г. При неизменных условиях воспроизводства и промысла модель должна быть пригодна для расчета уловов после 1964 г. Однако «прогноз» на второй период оказался существенно завышенным (рис. 4.4). Поскольку интенсивность промысла, по крайней мере в начале второго периода, не изменялась, падение уловов, по-видимому, связано с уменьшением запаса по причине ухудшения

условий его формирования. Вероятно, столь масштабное изменение улова произошло из-за изменения летне-осеннего уровня воды предшествующего года (Островская, 2017).

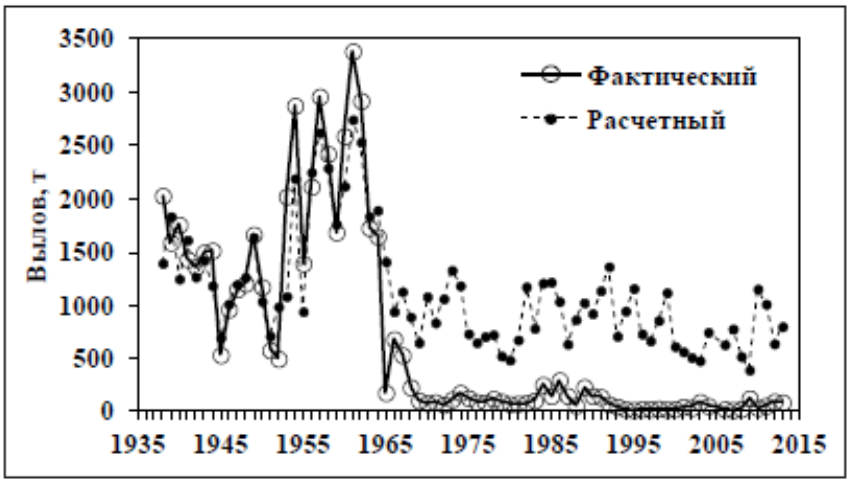


Рисунок 4.4. Динамика фактического и модельного вылова амурской щуки (Островская, 2017)

В период высоких уловов уровень воды р. Амур в районе Хабаровска в среднем превышал уровень залития поймы, составляющий 200 см в течение всего летнего сезона. В период низких уловов уровень воды превышал данный уровень только в августе-сентябре, что, видимо, слишком поздно для того, чтобы существенно улучшить условия воспроизводства рыб. Вероятно, именно то, что в большинстве лет второго периода в весенне-летние месяцы пойма Амура не была залита, послужило триггерным механизмом, качественно изменившим сложившееся ранее соотношение запаса и вылова. При темпе эксплуатации прежних лет и изменившихся в худшую сторону условиях воспроизводства запасы не успевали восстанавливаться (Островская, 2017).

Изменения уровенного режима сказываются не только на урожайности рыб через изменение условий размножения и выживания на ранних этапах онтогенеза, но и на их выживаемости в процессе дальнейшего индивидуального развития (Никольский, 1956; Вронский, 1965; Крыхтин, 1975).

4.4. Рыбохозяйственная характеристика бассейна реки Зея

Поскольку задача данной работы – оценить влияние регулирования реки Зея на видовой состав и местообитания ихтиофауны и на эффективность воспроизводства рыб, остановимся более подробно на рыбохозяйственных характеристиках бассейна Зеи.

Первые сведения о рыбах бассейна р. Зея датируются концом XIX – началом XX века (Крюков, 1894; Гассовский, 1927; Линдберг, 1927; Таранец, 1937). Наиболее полный список видов рыб, обитающих в бассейне р. Зея, был опубликован М.В. Миной (Мина, 1962). Ихтиофауна Зеи представлена 56 видами рыб, относящиеся к 16 семействам.

Выделяют три основных участка Зеи (см. рис. 4.5):

1) Верхняя Зея: участок верхнего течения Зеи до створа Зейской ГЭС
2) Средняя Зея: участок Зеи от створа Зейской ГЭС до впадения р. Селемджа
3) Нижняя Зея: участок Зеи от впадения р. Селемджа до впадения р. Зея в Амур

Видовой состав варьируется в зависимости от участка реки. Цикл ежегодных миграций большинства рыб Зеи включает весеннее движение (апрель – июнь) от мест зимовок вверх по течению на нерест, летне-осеннее (июль – сентябрь) расселение по нагульным акваториям, возвращение в нижнее течение для зимовки (октябрь – ноябрь).

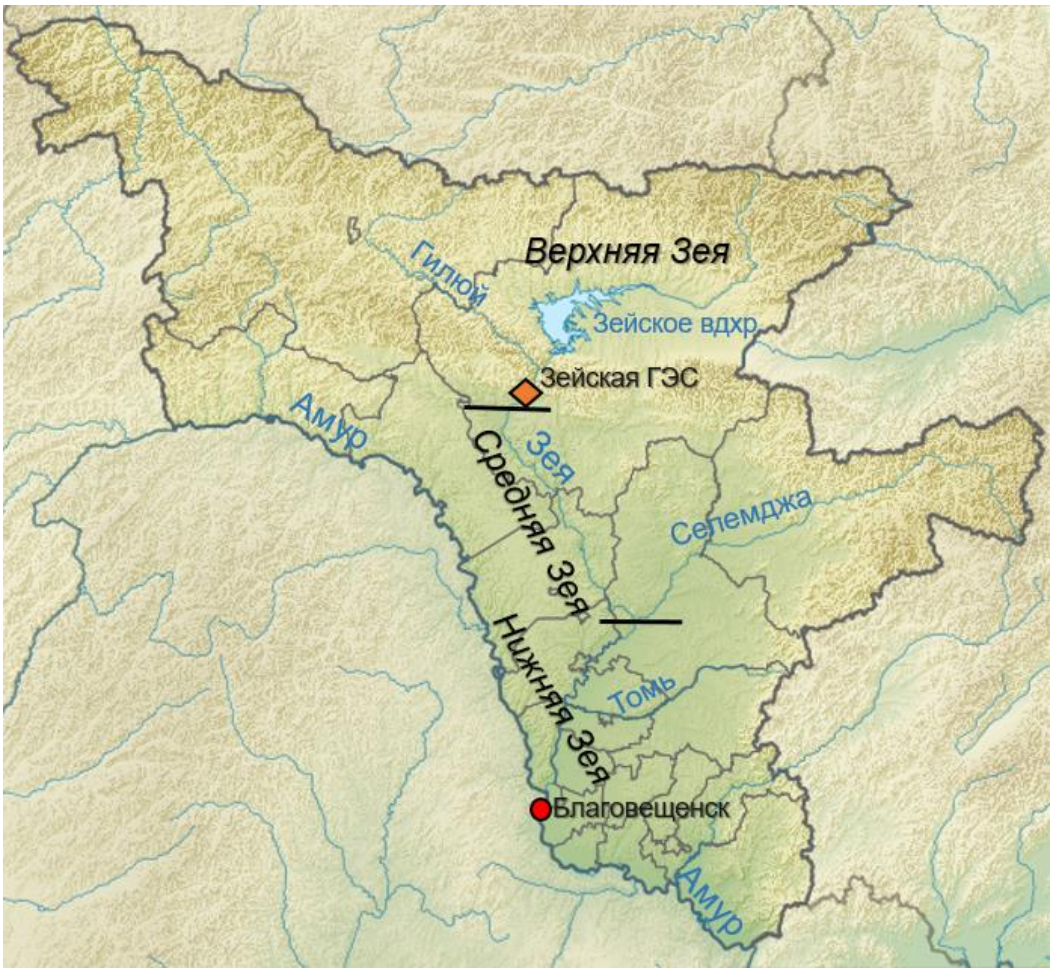


Рисунок 4.5. Схема выделения основных участков р. Зея

4.4.1. Бассейн Верхней Зеи

К Верхней Зее относится участок верхнего течения Зеи до створа Зейской ГЭС.

После строительства Зейской ГЭС в 1975 г. и сооружения водохранилища изменился видовой состав ихтиофауны Зейского водохранилища. В частности, на территории Зейского водохранилища исчезли калуга, амурский осетр, кета, гольян Чекановского, речной гольян, крупночешуйный желтопер, уссурийская востробрюшка, монгольский краснопер, пескарь Солдатова, ладиславия, амурский обыкновенный горчак, конь-губарь, амурская широколобка, амурский подкаменщик. При этом в ихтиофауне Зейского водохранилища появились пелядь и байкальский омуль (см. приложение 3) (Коцюк, 2009).

Динамика запаса основных видов рыб и уловов в Зейском водохранилище отрицательная (см. рис. 4.6 и 4.7).

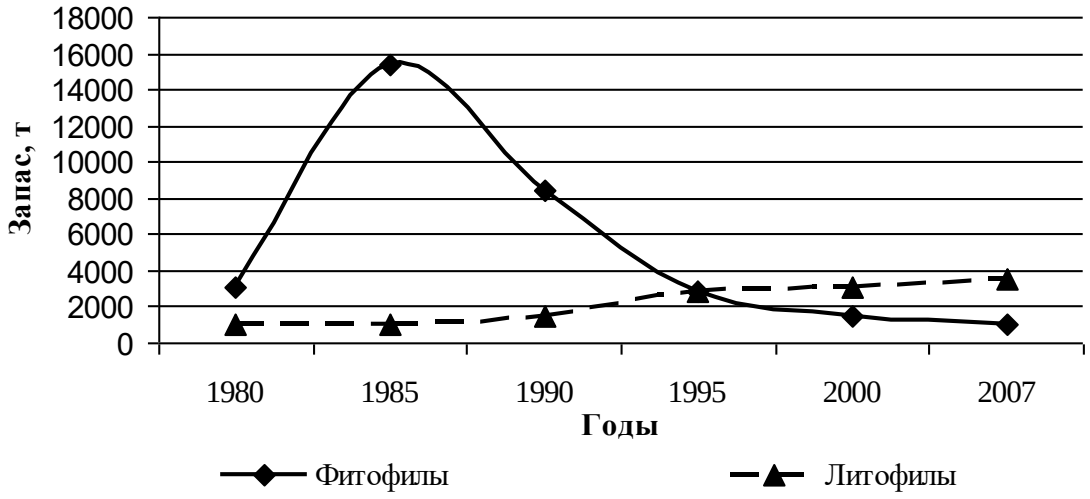


Рисунок 4.6. Динамика запаса основных видов рыб в Зейском водохранилище (Коцюк, 2009)

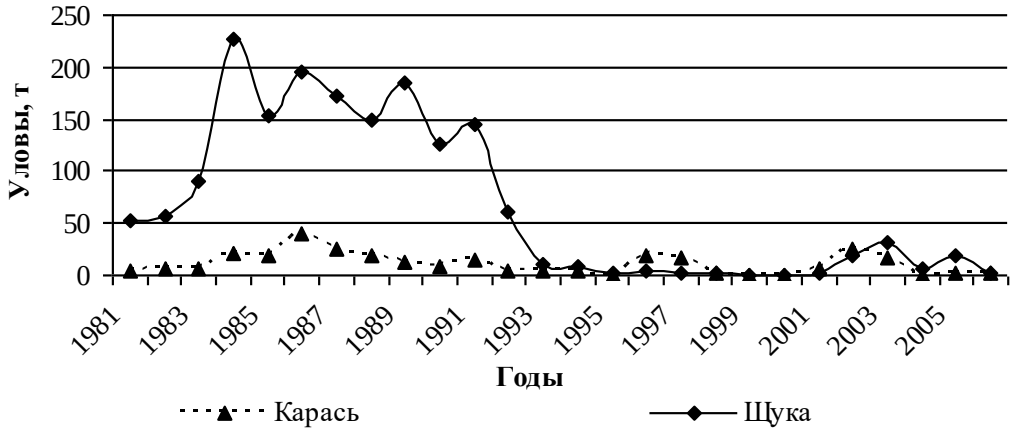


Рисунок 4.7. Динамика официальных уловов в Зейском водохранилище (Коцюк, 2009)

4.4.2. Бассейн Средней Зеи

Бассейн Средней Зеи ограничен плотиной Зейской ГЭС и устьевым участком р. Селемджа. Природные особенности Средней Зеи: слабо развитая речная долина, малое количество пойменных водоемов, низкий тепловой сток и высокие скорости течения, обуславливают количественную и качественную бедность ихтиофауны. Бассейн Средней Зеи находится под влиянием Зейской ГЭС как нижний бьеф. К сожалению, нет возможности в полной мере оценить изменение структуры ихтиофауны Средней Зеи в связи со строительством и эксплуатацией Зейской ГЭС. Однако можно заключить, что доминирующую группу в составе ихтиофауны Средней Зеи занимают рыбы-литофилы. Численность фитофилов и других теплолюбивых рыб лимитирована природными условиями.

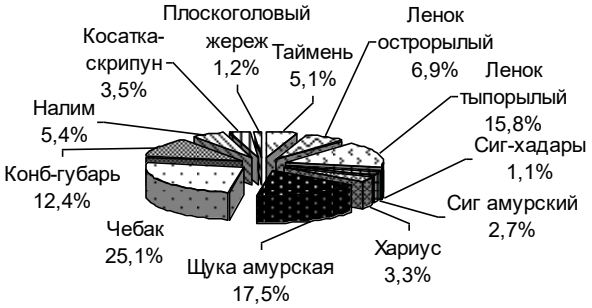
В современный период зарегулирования реки Зея, по данным исследования 2007 г., состав ихтиофауны Средней Зеи представлен 47 видами жилых пресноводных рыб, относящихся к 17 семействам. Наиболее широко представлено семейство карповых – 23 вида (Коцюк, 2009). Видовой состав ихтиофауны Средней Зеи представлен в приложении 4.

Самое сильное влияние холодной воды (4 ºС) на гидробионтов прослеживается от плотины ГЭС и до впадения Селемджи (Гидроэкологический мониторинг, 2010). На этом участке живут холодолюбивые рыбы, такие как сиги, налим, хариусы и др. До строительства Зейской ГЭС в Зею заходило относительно не многочисленное стадо осенней кеты. В настоящее время в бассейне Средней Зеи наблюдается полное отсутствие ценных проходных лососевых видов рыб. Проходные корюшки в рассматриваемом бассейне также отсутствуют. Из корюшек обитает только один жилой вид – обыкновенная малоротая корюшка. Единственный представитель группы проходных рыб, обитающий в бассейне Зеи, это тихоокеанская минога. В бассейн Средней Зеи тихоокеанская минога заходит в январе–марте. Из полупроходных рыб в бассейне Средней Зеи обитает

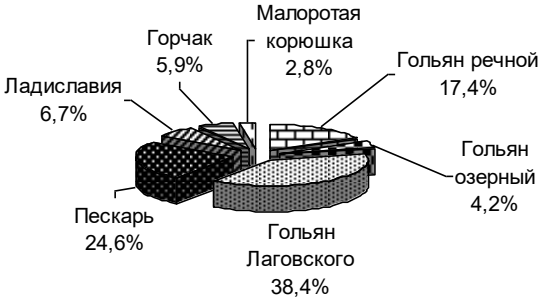
калуга и амурский осетр; эти виды относятся к особо ценным. Установить их численность крайне сложно, но по опросным данным регулярно в районе устья р. Уркан, кордона Аяк, о. Купец и с. Мазаново вылавливается до 50 экз. калуги и осетра.

Основные обитатели ихтиофауны в бассейне Средней Зеи — представители бореального равнинного, бореального предгорного, арктического пресноводного и китайского фаунистических комплексов. По численности доминируют рыбы бореального равнинного (амурская щука, чебак, серебряный карась, окунь и др.) и бореального предгорного комплексов (ленок, таймень, хариус). Численность рыб китайского фаунистического комплекса (черный и белый амуры, черный и белый амурские лещи, верхогляд и др.) лимитирована жесткими природными условиями. Такие виды как сазан, толстолоб, верхогляд и китайский окунь-ауха всегда находились на северной границе своего ареала обитания и некогда не создавали сколь либо высокой численности. Крайней северной границей ареала обитания этих видов является устье р. Деп.

Анализ уловов 2007 г. показал низкие показатели численности в современной ихтиофауне Средней Зеи теплолюбивых видов рыб, таких как косатка-скрипун, подуст-чернобрюшка, уссурийская востобрюшка. В то же время в уловах хорошо представлены типичные холодолюбивые виды: сиги (уссурийский и хадары), налим, ленки (острорылый и тупорылый), таймень и хариус. Значительна доля группы озерно-речных рыб: амурская щука и серебряный карась. Соотношение видов по численности в уловах представлены на рисунке 4.8. Остальные виды в уловах представлены единично.



А



В

Рисунок 4.8. Видовая структура уловов А – промысловых видов и В – не промысловых видов рыб по данным научно-исследовательского лова в бассейне Средней Зеи (октябрь 2007 г.) (Коцюк, 2009)

4.4.3. Бассейн Нижней Зеи

Бассейн Нижней Зеи органичен устьевой частью р. Селемджа и собственно устьем р. Зея. Основной природной особенностью Нижней Зеи является наличие широкой (до 16 км) низкой поймы и наличие большого количества пойменных водоемов (озера, протоки, курьи и др.). После впадения правого притока, р. Белая, русло р. Зея становится прямолинейным, неразветвленным и впадает в р. Амур.

В настоящее время в бассейне Нижней Зеи наблюдается полное отсутствие ценных проходных лососевых видов рыб. Проходные корюшки в рассматриваемом бассейне так же отсутствуют. Из корюшек обитает только один жилой вид – обыкновенная малоротая корюшка. Единственный представитель группы проходных рыб, обитающий в бассейне Зеи, это тихоокеанская минога. Из полупроходных рыб в бассейне Нижней Зеи обитает калуга и амурский осетр. По опросным данным регулярно в районе г. Свободного, устья р. Томь, Найоновского залива и п. Белогорье вылавливается до 20 экземпляров калуги и осетра. Основными обитателями ихтиофауны в бассейне Нижней Зеи являются представители бореального равнинного, бореального предгорного, арктического пресноводного и китайского фаунистических комплексов. По численности доминируют рыбы бореального равнинного и бореального предгорного комплексов. Такие виды как сазан, толстолоб, верхогляд и китайский окунь-ауха никогда не создавали сколь либо значимой численности. Однако в последние годы (опросные данные) участились поимки верхогляда, окуня-ауха и толстолоба (пелагофильные виды). В это же время в уловах значительно сократилась доля фитофильных видов рыб, ранее более многочисленных (карась, сазан, сом, щука). В результате практически полного отсутствия хищных рыб, большой численности достигли детритофаги (подуст-чернобрюшка) и бетософаги (конь-губарь). Эти два вида в уловах последних лет являются доминантам и субдоминантам (Коцюк, 2009).

На современном этапе роль низкой поймы Нижней Зеи в воспроизводстве фитофильных видов минимальна, так как до наводнения 2013 г. заполнение пойменных озер не происходило, постепенно заиливались и зарастали протоки. Для воспроизводства фитофильных рыб будет эффективна реализация эколого-рыбохозяйственных попусков из водохранилища Зейской ГЭС.

4.4.4. Требования к режиму регулирования реки Зея

На данный момент требования к эколого-рыбохозяйственным попускам и режиму регулирования Зейского водохранилища не разработаны. Для их определения нужны материалы по нерестилищам, по запасам и промыслу основных видов рыб реки Зея. Единственные требования к режиму регулирования реки Зея были сформулированы В. И. Головко, начальником Центра рыбохозяйственных исследований г. Благовещенск (Головко, 2008). В его обосновании рыбохозяйственных попусков указано, что рыбные запасы в озерно-речных водоемах Амурской области находятся в критическом состоянии, что характеризуется низкими уловами. Указано, что в 1980-е гг. промысловая рыбопродуктивность русла реки Зеи составляла 20–25 кг/га, а озер в ее пойме – 30–40 кг/га, но к 2008 г. эти показатели снизились до 0,34 и 0,22 кг/га. Ввиду регулирования стока плотинами ГЭС на реках Зея и Бурея и срезания уровня паводковых вод отсутствуют условия для нереста рыб-фитофилов, которые преобладали в уловах, достигая 80% от общих уловов. Для сохранения нерестовой части популяций основных промысловых видов рыб и создания условий для естественного восстановления рыбных запасов необходимо реализовывать специальные попуски – искусственные паводки, обеспечивающие условия нереста в нижнем бьефе ГЭС р. Зея. По мнению автора (Головко, 2008), для обеспечения условий нереста и нормального эмбриогенеза почти всех промысловых видов амурских рыб необходимо иметь по одному паводку в мае, июне и июле продолжительностью не менее 15 суток в каждом месяце.

Первый рыбохозяйственный попуск. Срок: с 3 по 18 мая. Направлен на нерест щуки, которая в уловах на территории области составляла до 30%.

Второй рыбохозяйственный попуск. Срок: с 1 по 15 июня. Направлен на нерест каряся, сазана и сома. Суммарная доля этих видов составляла 50% уловов.

Третий рыбохозяйственный попуск. Срок: с 25 июня по 10 июля. Направлен на нерест видов пелагофилов, составлявших не более 20% уловов.

По мнению автора (Головко, 2008), минимально допустимый уровень по гидрологическому посту г. Благовещенска во время рыбохозяйственных попусков должен составлять 320 см (уровень выхода воды на низкую пойму) и оптимальный 390–420 см от условного нуля (выход воды на вейниковую пойму). Частота рыбохозяйственных попусков не должна превышать 6–7 лет, чтобы не допустить разрыва поколений репродуктивного возраста основных промысловых видов рыб.

В отношении предложенных рыбохозяйственных попусков необходимо уточнить, по какой причине автор предлагал давать попуски с разрывом в сроках. Как следует из проведенного анализа, рыбы, в особенности фитофилы, негативно реагируют на снижение уровня; при реализации предложенных попусков не указано, что в период с начала реализации попусков нужно избегать снижения уровня. Также не понятно обоснование временных промежутков между попусками и их продолжительность по две недели. Эту информацию следует уточнить и дополнить требованиями как к уровням и расходам воды, так и температурному режиму.

Также, согласно информации от Н. Н. Семенченко из лаборатории пресноводных биоресурсов Хабаровского филиала ТИНРО (из личного сообщения), ожидалось, что Зейское водохранилище станет большим рыбохозяйственным водоемом, где основной промысловый объект – амурская щука. В первые годы работы ГЭС в водохранилище была выпущена молодь щуки из Амура. Ожидалось, что щука Зейского водохранилища частично компенсирует ущерб от ГЭС, и в водохранилище будут ловить до 400 т щуки ежегодно. Попав в новый водоем, подходящий по температурному режиму и обладающий большими запасами пищевых объектов, щука дала вспышку численности, но было поймано не более 200 т. Далее численность щуки начала снижаться и падает до сих пор: современные уловы щуки составляют 5–7 т в год. Естественное воспроизводство щуки осложнено нестабильным

уровневым режимом водохранилища, вследствие чего пополнение запаса щуки молодью происходит не ежегодно.

Для поддержания популяций рыб необходимо разработать и внедрить рыбохозяйственные требования как в части необходимых объемов и сроков попусков в нижний бьеф гидроузла, так и в части регулирования сработки уровня в самом водохранилище.

Выводы

На основании анализа и обобщения результатов исследований ряда авторов сформулированы следующие выводы.

1. Видовой состав рыб Амура богаче в сравнении с другими реками страны, включает более 100 видов рыб. Эти виды распространены по участкам Амура неравномерно, по мере удаления от устья количество видов уменьшается. В Среднем Амуре и его притоках встречаются 69 видов Амурского бассейна. Из общего числа обитающих в Амуре рыб 23 пресноводных вида (28 с учетом редких) – промысловые.

2. В естественных условиях периоды пониженной и повышенной водности Амура, низких и высоких уловов пресноводных амурских рыб сменяли друг друга с интервалами, близкими к 10–12 годам. Высокие уловы рыб отмечались через 3–4 года после максимумов водности Амура, падение уловов – примерно через такое же время после периодов низкой водности.

3. В естественных условиях средние и многоводные годы создают благоприятные условия для размножения рыб. В многоводные периоды лет воспроизводство, нагул большинства видов амурских рыб эффективны, резко увеличивается их численность. Маловодные годы неблагоприятно сказываются на численности многих видов рыб, в особенности страдают фитофильные рыбы.

4. Нерест фитофильных рыб возможен лишь при достижении определенной температуры воды на нерестилищах, характерной для каждого вида. Для их нереста обязательно обводнение нерестового субстрата. Все

фитофилы, особенно сазан и щука, очень чувствительны к колебаниям уровня. Особенно гибельно для икры и молоди фитофилов резкое снижение уровня воды, следующее за высоким его стоянием в период нереста.

5. Важный период для формирования численности рыб – нагул, длящийся для рыб бассейна Среднего Амура с июля по сентябрь. Если в это время происходит не только заполнение поймы водой, но и заливаются водой прилегающие к пойме леса и луга, то это благоприятно сказывается на росте, развитии и выживаемости молодых и взрослых рыб.

6. В естественных условиях, до начала регулирования стока рр. Зея и Бурея главное место в промысле среди пресноводных рыб р. Амур занимали рыбы-фитофилы; они достигали 70–80% от общей величины уловов, составляя основу частикового промысла.

7. В естественных условиях между уловами жилых рыб (включая рыб пелагофильной и фитофильной группы) в Амуре и водностью за май – октябрь выявлена прямая связь. Наиболее высокая корреляция отмечается между уловами фитофильных рыб и значениями водности за май – июнь (0,63), когда происходит размножение этих рыб.

8. В промысловом отношении амурская щука *Esox reichertii* – наиболее востребованный вид пресноводных рыб р. Амур, одна из самых многочисленных частиковых рыб. Улов щуки наиболее тесно связан с уровнем воды в июне – сентябре предшествующего года.

9. Эксплуатация гидроузлов Среднего Амура вызвала перераспределение годового стока, в том числе уменьшение стока в теплый период года. Изменился режим затопления поймы в период нереста и нагула рыб. Снижение летнего уровня воды в период нереста рыб-фитофилов привело к уменьшению размеров их нерестилищ. Снижение уровня воды в летние и осенние месяцы, т.е. в период нагула и роста рыб, также привело к снижению первичной продуктивности Амура и уменьшению пищевых объектов рыб. Увеличение стока воды в зимний период предотвращает заморы рыб, но в целом не может способствовать увеличению их численности: тот уровень

запасов пресноводных рыб р. Амур, который сформировался в последние годы, ограничен площадью нерестилищ и местами нагула. В результате регулирования стока роль низкой поймы Нижней Зеи в воспроизводстве фитофильных рыб стала минимальна: сокращаются пойменные озера, заиливаются и зарастают протоки. В современных условиях по частоте встречаемости, а также по численности и биомассе доминируют рыбы-пелагофилы.

10. После строительства Зейской ГЭС изменился видовой состав ихтиофауны Зейского водохранилища и Зеи ниже водохранилища, а также динамика уловов рыбы в водохранилище. Бассейн Средней Зеи находится под влиянием Зейского гидроузла, в условиях трансформации водного и температурного режимов. Ввиду отсутствия регулярного мониторинга нет возможности точно оценить изменение структуры ихтиофауны Средней Зеи. Из имеющихся наблюдений следует, что доминирующую группу в составе ихтиофауны Средней Зеи теперь занимают рыбы-литофилы, а численность фитофилов лимитирована сложившимися условиями. После строительства плотины в бассейне Зеи полностью отсутствуют ценные проходные виды лососевых рыб. Из полупроходных рыб в бассейне Средней и Нижней Зеи обитает калуга и амурский осетр, численность которых сложно установить; эти виды относятся к особо ценным.

11. Водные ресурсы Зейского водохранилища используются для целей энергетики, водного транспорта, водоснабжения г. Зеи и др.; водохранилище также используется для борьбы с наводнениями в долинах Зеи и Амура. Кроме того, Зейское водохранилище – водный объект рыбохозяйственного назначения, на нем расположены рыбопромысловые участки. Согласно заключению Амурского территориального управления Росрыболовства, Зейское водохранилище имеет ограниченное рыбохозяйственное значение; сформировавшийся ихтиокомплекс в перспективе не позволит создать стабильную сырьевую базу для развития рыбной промышленности.

12. Один из основных факторов, лимитирующих численность популяций рыб в водохранилище и эффективность воспроизводства, – режим сработки водохранилища. Основное требование для развития рыбного хозяйства на Зейском водохранилище – создание нормальных условий для естественного воспроизводства фитофильных рыб. Для этого требуется постоянное повышение уровня воды в водохранилище в весенне-летний период с 1 мая по 10 июля. Эти требования отражены в проекте Правил использования водных ресурсов Зейского водохранилища. В них также указано, что в маловодных условиях сработка уровня водохранилища в нерестовый период и в первую его декаду после его окончания (11–20 июля) не должна превышать 10 см за декаду. Зимнюю сработку водохранилища предписывается производить по возможности плавно: для рыб следует поддерживать постоянный уровень воды в водохранилище, не допуская его резкого снижения, а в маловодные годы не более 10 см.

13. Требования к режиму регулирования реки Зея и водному режиму нижнего бьефа водохранилища были сформулированы Центром рыбохозяйственных исследований р. Благовещенск. В них указано, что необходимо иметь по одному паводку в мае, июне и июле продолжительностью не менее 15 суток в каждом месяце. Частота рыбохозяйственных попусков должна составлять 6–7 лет, чтобы не допустить разрыва поколений репродуктивного возраста основных промысловых видов рыб. Эту информацию следует уточнить с помощью проведенного анализа по особенности экологии ихтиофауны Зеи и дополнить требованиями как к уровням и расходам воды, так и температурному режиму.

14. В действующих ПИВР Зейского водохранилища указано, что специальные рыбохозяйственные попуски из Зейского водохранилища не предусмотрены Техническим проектом. Однако их отсутствие приводит к сокращению численности рыб в нижнем бьефе Зейской ГЭС, который сложно оценить ввиду отсутствия мониторинга. Для оптимизации воспроизводства пресноводных, и в их числе фитофильных, рыб, увеличения и восстановления

их численности необходима реализация эколого-рыбохозяйственных попусков из водохранилища. Для их определения нужны материалы по расположению нерестилищ, по запасам и промыслу основных видов рыб реки Зея, но такие материалы отсутствуют. Рекомендуется провести исследования для создания подобной базы данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определение влияния эксплуатации гидроузлов на водные и пойменные экосистемы и разработка природоохранных мер для минимизации негативного воздействия – актуальная задача, реализация которой для бассейна Среднего Амура осложнена малым количеством биологических данных и отсутствием регулярного гидроэкологического мониторинга.

Целью данной работы было оценить изменения водных и пойменных экосистем в бассейне Среднего Амура, обусловленные регулированием стока, и выявить индикаторы, позволяющие в дальнейшем разработать режимы экологических попусков из водохранилищ.

Проведенное исследование демонстрирует, что при резком изменении гидрологического режима происходят процессы трансформации водных и деградации пойменных экосистем, нарушается их экологическое равновесие. Именно поэтому так важна роль пространственно-временной изменчивости естественного (или малонарушенного) режима стока и сохранение разных фаз водности в режиме стока. Эти фазы при регулировании стока должны быть по возможности максимально приближены к естественным условиям.

В ходе анализа установлены изменения водного режима рр. Зея и Амур и рассмотрены примеры влияния подобных изменений на состояние экосистем и протекающие в них процессы. Обобщение литературных данных позволило оценить трансформацию русловых процессов, растительности, условий воспроизводства рыб. Для оценки изменений объектов поймы на обширных территориях и выявления направленности изменения экосистем эффективно использование данных дистанционного зондирования; результаты оценки могут быть использованы для разработки мер по поддержанию или восстановлению экосистем. Указаны причины изменения количественного и видового состава ихтиофауны в связи с регулированием стока.

К основным результатам работы относятся следующие положения:

1) Эксплуатация гидроузлов вызвала перераспределение годового стока Зеи, Буреи и Амура. Снижение расходов и уровней воды в летние и осенние месяцы привело к сокращению площадей пойменных озер, заилению и зарастанию речных проток, уменьшению площадей нерестилищ рыб. Редкая повторяемость паводков в нижнем бьефе привела к отмиранию стариц и рукавов высокой поймы. Трансформация водного режима Зеи обусловила утрату естественных пойменных экосистем, смену растительных сообществ. В результате увеличения зимних расходов выросли скорости смещения и размеров донных гряд, удлинились перекатные участки. Плотины стали преградой для путей миграции гидробионтов и привели к смене видового состава ихтиофауны.

2) Сравнение площади объектов на двух участках широкой поймы Зеи по снимкам 1969/1971 и 2016 гг. показало сокращение площади озер и болот, превращение ряда проток в старичные озера. По космическим снимкам многоводных 2007 и 2013 годов при использовании водного индекса MNDWI можно выделить объекты и территорию, обводнение которых определяется расходами р. Зея при выходе ее воды на пойму. Состояние этих объектов может быть улучшено при реализации экологических попусков.

3) До начала регулирования стока главное место в промысле среди пресноводных рыб р. Амур занимали рыбы-фитофилы; в современных условиях регулирования доминируют рыбы-пелагофилы. Снижение летнего уровня воды в период нереста рыб-фитофилов привело к уменьшению размеров их нерестилищ, а также к снижению первичной продуктивности водных объектов и к уменьшению пищевых объектов рыб. Увеличение стока воды в зимний период предотвращает заморы рыб, но не способствует увеличению их численности: ее падение определяется прежде всего сокращением площадей нерестилищ и мест нагула в летне-осенний период.

4) Один из основных факторов, лимитирующих численность популяций рыб в водохранилище и эффективность воспроизводства, – режим сработки

водохранилища. Отсутствие рыбохозяйственных попусков приводит к сокращению численности рыб в нижнем бьефе Зейской ГЭС, которое сложно оценить ввиду отсутствия мониторинга. Для оптимизации воспроизводства пресноводных, и в их числе фитофильных, рыб, восстановления и увеличения их численности необходима реализация эколого-рыбохозяйственных попусков из водохранилища. Для определения таких попусков нужны материалы по расположению нерестилищ, по запасам и промыслу основных видов рыб р. Зея, которые пока отсутствуют.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амурская область. Опыт энциклопедического словаря (науч. ред. В. В. Воробьев и А. П. Деревянко, ред.-сост. Н. К. Шульман). – Благовещенск: Амурское отд. Хабаровского кн. изд-ва, 1989. – 416 с.
2. Ахтямов М. Х. Ценотаксономия прирусловых ивовых, ивово-тополевых и уремных лесов поймы реки Амур. Владивосток: Дальнаука, 2001. – 138 с.
3. Бассейн реки Гильчин: История. Водно-болотные угодья. Водные ресурсы / С. Н. Власова, И. С. Воропаева, И. О. Дугина и др. — Дальнаука Владивосток, 2016. — 202 с.
4. Богатов В.В. Экология речных сообществ российского Дальнего Востока.- Владивосток, 1994. 218 с.
5. Бортин Н. Н., Горчаков А. М. Трансформация стока реки Зея водохранилищем Зейской ГЭС и ее влияние на водный режим в нижнем бьефе // Водное хозяйство России. – 2009. - № 5. – с. 110–128.
6. Брыкина И. Г. Сельскохозяйственное использование пойм зарегулированных рек. Книга: Аграрная наука – сельскому хозяйству. Алтайский государственный университет. 2017. С. 404-406.
7. Водный кодекс Российской Федерации от 16 ноября 1995 г. N 167-ФЗ (ВК РФ) (с изменениями и дополнениями) (утратил силу)
8. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ.
9. 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, вып. 1(34). — С. 111-126.
10. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Основной том. Под ред. А.В. Фролова. — Росгидромет Москва, 2014. — 1018 с.

11. Гассовский Г.Н. Гилюй-Ольдойский охотничье-промысловый район. Результаты зимней экспедиции 1925–26 гг. // Производственные силы Дальнего Востока, 1927. – Т. IV. – С. 471–570.
12. Гидроэкологический мониторинг зоны влияния Зейского гидроузла. – Хабаровск: ДВО РАН, 2010. – 354 с.
13. Головко В.И. Обоснование необходимости внесения рыбохозяйственных попусков в регламент эксплуатации ГЭС Амурской области // Приложение к письму в Мин-во сельского хоз-ва. Центр рыбохозяйственных исследований. Благовещенск, 2008. 2 с.
14. Горбатенко Л. В. Географические проблемы водопользования в трансграничном бассейне р. Амур / Л. В. Горбатенко // Географические факторы регионального развития Азиатской России: материалы науч.-практ. конф., 18–19 апр. 2013 г. – Владивосток, 2013. – С. 384–390.
15. Гусев М. Н. Русловая деятельность магистральных рек Амурской области в условиях современного хозяйствования / М. Н. Гусев, Ю. В. Помигуев // География и природные ресурсы. – 2008. – № 2. – С. 45–50.
16. Дубинина В. Г. Рациональное использование водных ресурсов Дона с учетом рыбохозяйственных требований // Водные ресурсы. №3. 1978. С. 67–82.
17. Дубинина В. Г. Методические основы экологического нормирования безвозвратного изъятия речного стока и установления экологического стока (попуска). М.: Экономика и информатика. 2001. 118 с.
18. Дубинина В. Г. Экологические принципы использования и управления водными ресурсами южных рек России. Диссертация. 2003.
19. Дубинина В.Г. Экологические принципы использования и управления водными ресурсами южных рек России: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра геогр. наук: 25.00.36 / В. Г. Дубинина — Москва: [б. и.], 2003. — 56 с.
20. 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) // Федеральное государственное учреждение «Межведомственная ихтиологическая комиссия» // Москва, 2009.

21. Дубинина В. Г., Катунин Д. В., Косолапов А. Е. Экологические последствия зарегулирования и изъятия речного стока для водных экосистем бассейнов южных морей и мероприятия по их восстановлению // Материалы VII Гидрологического съезда. С.-Петербург, ноябрь 2013.
22. Егидарев Е.Г. Картографирование и оценка пойменных комплексов в долине реки Амур // Вестник ДВО РАН, 2012. № 2. – С. 9-16.
23. 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
24. Каракин В. П. Трансграничное водопользование на Амуре – конкуренция и сотрудничество // Экологические риски российско-китайского трансграничного сотрудничества: от коричневых планов к «зеленой стратегии». – Москва – Владивосток – Харбин: WWF, 2010. – С. 84–93.
25. Комплексная эколого-экономическая оценка развития гидроэнергетики бассейна реки Амур / общ. ред. Никитина О. И., Меньшиков Д. А. – Всемирный фонд дикой природы (WWF), En+ Group. – М.: WWF России, En+ Group, 2015. – 279 с.
26. Коцюк Д.В. Формирование ихтиофауны Зейского водохранилища: ретроспективный анализ и современное состояние. — Автореферат дисс. канд. биол. наук. — Владивосток, 2009. — 24 с.
27. Коцюк Д.В. Формирование ихтиофауны Зейского водохранилища: ретроспективный анализ и современное состояние.- Автореферат дисс. канд. биол. наук. – Владивосток, 2009. – 24 с.

28. Красная книга Хабаровского края. – Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2000. – 253 с.
29. Крыжановский С.Г., Смирнов А.И., Соин С.Г. Материалы по развитию рыб р. Амура. Тр. Амурской ихтиол. экспед. 1945-1949 гг.,1951. – Т.II. – С. 5-222.
30. Крыхтин М.Л. О периодических колебаниях численности жилых рыб Амура и их причинах // Вопр. ихтиол. — 1975. — Т. 15, вып. 5(94). — С. 919–922.
31. Крюков Н.А. Некоторые данные о положении рыболовства в Приамурском крае // Оттиск из Записок Приамурского отдела Императорского Русского Географического Общества, 1894. – 87 с.
32. Курганович К. А., Носкова Е. В. Использование водных индексов для оценки изменения площадей водного зеркала степных содовых озер юго-востока Забайкалья, по данным дистанционного зондирования. Вестник ЗабГУ № 6 (121). 2015. С. 16–24.
33. Линдберг Г.У. Заметка о рыбах, собранных Г.Н. Гассовским в бассейне рек Уркана и Гилюя (система р. Зеи Амурской области) // Производительные силы Дальнего Востока, 1927. – Т. IV. – С. 571–573.
34. Лоция реки Амур. Часть II. Средний Амур // Министерство обороны Союза РФ: Главное управление навигации и океанографии. – 1976. – 220 с.
35. Маккавеев, Н.И. Русловые процессы [Книга] / Н.И. Маккавеев, Р.С. Чалов. – М.: МГУ, 1986.
36. Мартынов А.В. Структура почвенного покрова поймы крупных рек Амурской области (на примере рр. Зея и Селемджа) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. — 2013. — С. 108–116.
37. Махинов А. Н. и др. Водно-экологические проблемы бассейна р. Амур. – ИВЭП ДВО РАН, Хабаровск, 2003. – С. 154.

38. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. Утверждены приказом МПР РФ от 12 декабря 2007 г. N 328.
39. Мина М.В. Материалы по ихтиофауне реки Зеи // Научные доклады высшей школы, биологические науки. М.: Изд. Моск. общ.испыт. прир., 1962. – №4. – С. 33–37.
40. Мищенко Н.В., Трифонова Т.А., Шоба С.А. Почвенно-продукционный потенциал малых речных бассейнов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2009. № 4. С. 26–32.
41. Мищенко Н.В. Почвенно-продукционный потенциал экосистем речных бассейнов на основе наземных и дистанционных данных: автореф. дис. докт. биол. наук. Владимир. 2011. 50 с.
42. Мы и амурские наводнения: невыученный урок? / Под ред. А. В. Шаликовского. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2016. – 216 с.
43. Нестеренко И. А. О необходимости соответствия весенного попуска в низовья р. Волги экологическим требованиям рыбного хозяйства и сельскохозяйственной отрасли Астраханской области // Современное состояние водных ресурсов Нижней Волги и проблемы их управления [Текст]: материалы научно-практической конференции (18–19 ноября 2009 г., г. Астрахань) / Э. И. Бесчетнова [и др.] ; АГУ, КаспНИРХ, АГТУ. – Астрахань, 2009. – 160 с.
44. Никольский Г.В. Рыбы бассейна Амура : монография. — М. : АН СССР, 1956. — 551 с.
45. Никольский Г. В. Экология рыб. М.: Высшая школа. 1974. – 357 с.
46. Новомодный Г. В. Рыбы Амура: богатство и кризис / Г. В. Новомодный, С. Ф. Золотухин, П. О. Шаров. АВК «Апельсин» – Владивосток, 2005. – 63 с.
47. Островская Е.В. Причины изменения запасов амурской щуки *Esox reicherti*. Известия ТИНРО, 2017. Т. 189. С. 67–73.

48. Отчет о НИР по реализации ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса РФ в 2012-2020 годах» по научному обоснованию мероприятий, обеспечивающих рациональное использование водных ресурсов и устойчивое функционирование водохозяйственого комплекса Нижней Волки, сохранение уникальной системы Волго-Ахтубинской поймы». Информационный отчет ФГУП «КаспНИРХ». Астрахань, 2014. – 25 с.
49. Приказ Минприроды РФ от 26.01.2011 N 17 «Об утверждении Методических указаний по разработке правил использования водохранилищ», п. 17.
50. Ресурсы поверхностных вод СССР / под ред. А. П. Муранова. Вып.1: Верхний и средний Амур (от истоков до с. Помпеевка). – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1966. – Т. 18. – 782 с.
51. Сапаев В.М. Зарегулирование Амура. Возможна ли оптимизация условий? – Наука и природа Дальнего Востока. – 2006. – 2.
52. Семенченко Н.Н., Переводчикова Т.О. Абсолютная плодовитость и характер созревания яичников верхогляда р. Амур// Чтения памяти профессора Владимира Яковлевича Леванидова. 2005. – Вып. 3. Владивосток: Дальнаука. – С.557-565
53. Семенченко Н.Н. Гидрологический режим р. Амур и численность промысловых пресноводных рыб // Современное состояние водных биоресурсов: мат-лы науч. конф., посвящ. 70-летию С.М. Коновалова. — Владивосток: ТИНРО-центр, 2008. — С. 246–250.
54. Сиротский С.Е. Первичная продукция и деструкция органического вещества бассейна Нижнего Амура: Автореф. дис. канд. биол. наук. Киев, 1991. 26 с.
55. Совместная российско-китайская схема комплексного использования водных ресурсов пограничных участков рек Аргунь и Амур. Том XII. Рыбное хозяйство. Москва–Чанчунь, 1993. С. 417–479.

56. Таранец А.Я. О рыбах и рыболовстве в Норо-Селемджинском районе // Изв. ТИНРО, 1937. – Т. XII. – С. 471–570.
57. 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.
58. Фащевский Б. В. Экологическое обоснование допустимой степени регулирования речного стока / Б. В. Фащевский. - Минск : БелНИИНТИ, 1989. - 51 с.
59. Фащевский Б.В. Основы экологической гидрологии. Минск: Экоивест. 1996. 240 с.
60. Фащевский, Б.В. Экологическое значение поймы в речных экосистемах [Журнал] / Б.В. Фащевский // Ученые записки РГГМУ. – 2007. – 5. – с. 118–129.
61. Шаликовский А.К., Курганович К.А. Оценка опасности и риска хозяйственного использования речных пойм бассейна верхнего и среднего Амура. Вестник Забайкальского государственного университета. 2011. №11. С. 119-124.
62. Шульман Н. К. Амурская область. – Благовещенск: Хабаровское кн. изд-во, 1984. – 114 с.
63. Acreman, Mike. (2016). Environmental flows-basics for novices: Environmental flows. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water. 2016. 10.1002/wat2.1160.
64. 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., and Ward S. The Brisbane Declaration and Global Action Agenda on Environmental Flows (2018). Frontiers in Environmental Science (6) https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00045

65. Balian, E. V., Segers, H., Lévèque, C. & Martens, K. The Freshwater Animal Diversity Assessment: an overview of the results. *Hydrobiologia* **595**: 627-637, doi:10.1007/s10750-007-9246-3 (2008).
66. Barrios, O. J.E., Rodríguez, S, López, S., Pérez, M., Villón Bracamonte R., Rosales, A.F., Guerra, G. A., Sánchez Navarro R. (2015). National Water Reserves Program in Mexico: Experiences with Environmental Flows and the Allocation of Water for the Environment. Interamerican Development Bank, Water and Sanitation Division. Retrieved from https://publications.iadb.org/handle/11319/7316. (92)
67. 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. doi: 10.12952/journal.elementa.000083.
68. Bunn, S. and Arthington, A. (2002). Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity. Environmental Management, 30(4), pp. 492–507.
69. Chen, J. and Q. Li. 2015. Assessment of eco-operation effect of Three Gorges Reservoir during trial run period. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute 32(4): 1-6.
70. Chinese National Committee on Large Dams (CHINCOLD). 2017. Recap of the Three Gorges Dam. Newton 5: 8-53.
71. Chinese Sturgeon Research Institute. 2015. Ecological operation of the Three Gorges Dam for natural spawning of four species of Chinese carp. http://zhxyjs.ctg.com.cn/newsdetail.php?mnewsid=92995&mClassId=059003001&mClassName=%BF%C6%D1%D0%B3%C9%B9%FB.
72. Dyson, M., Bergkamp, G. and Scanlon, J. (2003). Flow. Gland, Switzerland: IUCN -- the World Conservation Union.
73. Farr T.G., Hensley S., Rodriguez E., Martin J., Kobrick M. The shuttle radar topography mission. CEOS SAR Workshop, Toulouse, 26–29 Oct. 1999. Noordwijk, 2000. P. 361–363.

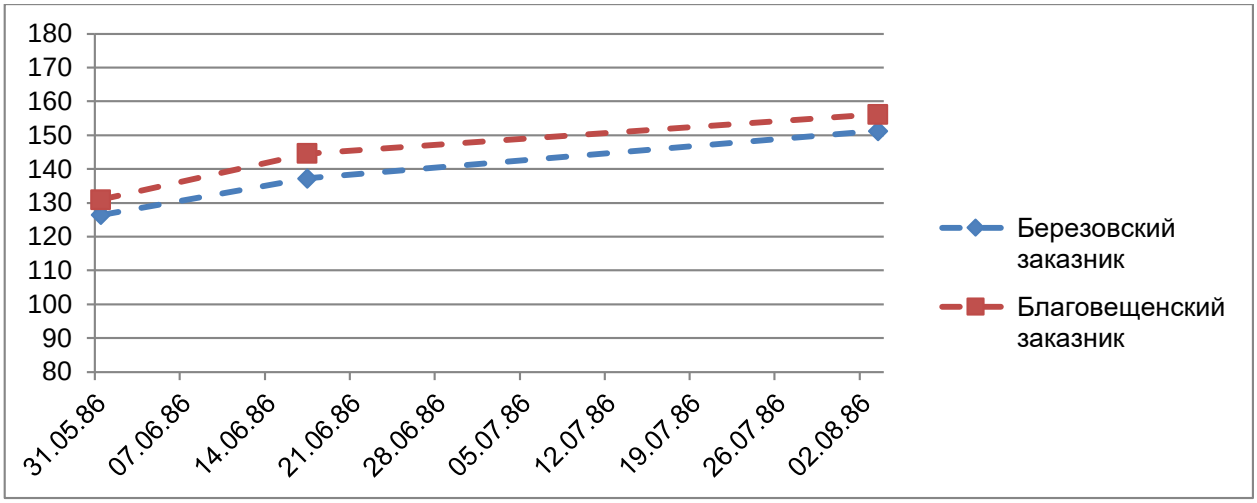
74. Giglio L., Schroeder, W., Justice, C.O. (2016). The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. Remote Sensing of Environment, 178, 31-41.
75. Harwood, A., Johnson, S., Richter, B., Locke, A., Yu, X. and Tickner, D. 2017. Listen to the river: Lessons from a global review of environmental flow success stories, WWF-UK, Woking, UK
76. Harwood, A., S. Johnson, I. Girard, S. Richard, J. Wick, A. Locke, G. Wendling, and T. Hatfield 2017. Guidance on Assessing and Reporting Cumulative Impacts of Water Withdrawal on Environmental Flow Needs. Consultant's report prepared for the Canadian Council of Ministers of the Environment by Ecofish Research Ltd., GW Solutions Inc. and Locke and Associates, February 27, 2017.
77. Hirji, R., Davis, R. 2009. Environmental Flows in Water Resources Policies, Plans, and Projects: Case Studies. Environment department papers; no. 117. Natural resource management series. World Bank, Washington, DC. © World Bank. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/18381 License: CC BY 3.0 IGO.
78. ICOLD. ICOLD World Register of Dams, <www.icold-cigb.net/GB/world_register/general_synthesis.asp> (2017).
79. Karr, J. R. & Dudley, D. R. Ecological perspective on water quality goals. *Environmental Management* **5**: 55-68 (1981).
80. King, J., Louw, D. Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology. Aquatic Ecosystem Health and Management 1 (1998): 109–124.
81. Le Quesne, T., G. Pegram, and C. Von Der Heyden. 2007. WWF Water Security Series 1. Allocating Scarce Water. A primer on water allocation, water rights and water markets. April 2007.
82. Lu, C., J. Duan, M. Junaid, T. Cao, S. Ding, and D. Pei. 2016. Recent status of fishes in the Yangtze River and its ecological health assessment. American Journal of Environmental Sciences 12 (2): 86-93.

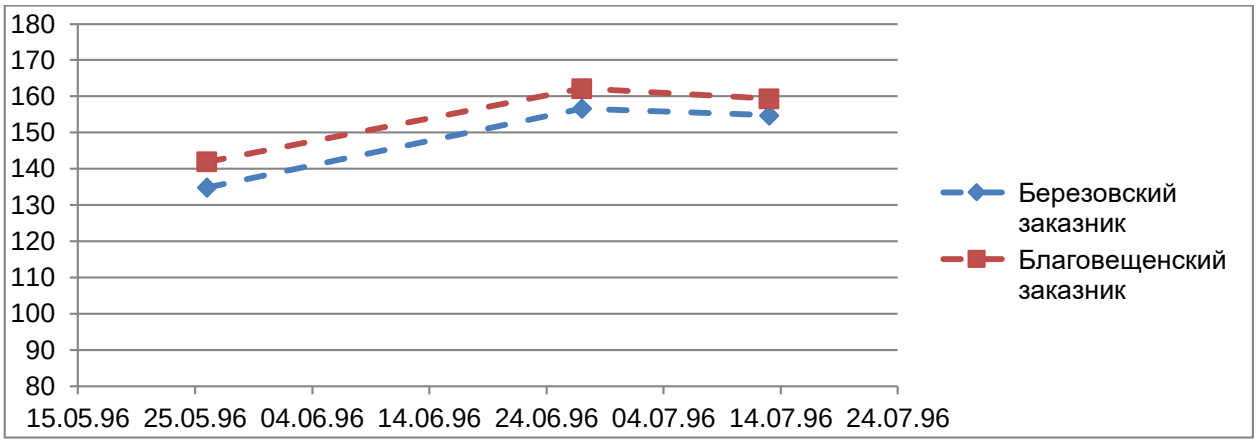
83. Mathews R., Richter B.D. Application of the indicators of hydrologic alteration software in environmental flow setting. Journal of the American Water Resources Association, Vol. 43, No. 6, 2007.
84. MDBA (Murray Darling Basin Authority). 2015. Water markets in the Murray-Darling Basin. July 2015.
85. Mechanisms for Rivers. World Wildlife Fund and The Nature Conservancy. Washington D.C. 24p.
86. Moir, K., M. Thieme, and J. Opperman. 2016. Securing a Future that Flows: Case Studies of Protection Mechanisms for Rivers. World Wildlife Fund and The Nature Conservancy. Washington D.C. 24p.
87. Moore, M. 2004. Perceptions and interpretations of environmental flows and implications for future water resource management: A survey study. Maters Thesis, Department of Water and Environmental Studies, Linköping University, Sweden.
88. O'Keeffe, J. H. Sustaining river ecosystems: balancing use and protection. Progress in Physical Geography 33(3) (2009) pp. 339–357.
89. Opperman J. Indicators of Hydrologic Alteration Analysis for the Patuca River. 2006. https://www.conservationgateway.org/Documents/Patuca%20IHA%20report%20v2.pdf
90. Opperman, J. J., S. Orr, H. Baleta, M. Dailey, D. Garrick, M. Goichot, A. McCoy, A. Morgan, L. Turley and A. Vermeulen. 2018. Valuing Rivers: How the diverse benefits of healthy rivers underpin economies. WWF.
91. Poff, N. L. et al. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. *Bioscience* **47**: 769-784 (1997).
92. Richter, B.D. A method for assessing hydrologic alteration. Conservation Biology 4(10): 1163–1174 (1996).
93. Richter, B.D. and Thomas, G.A. (2007) Restoring environmental flows by modifying dam operations. Ecology and Society, 12(1).

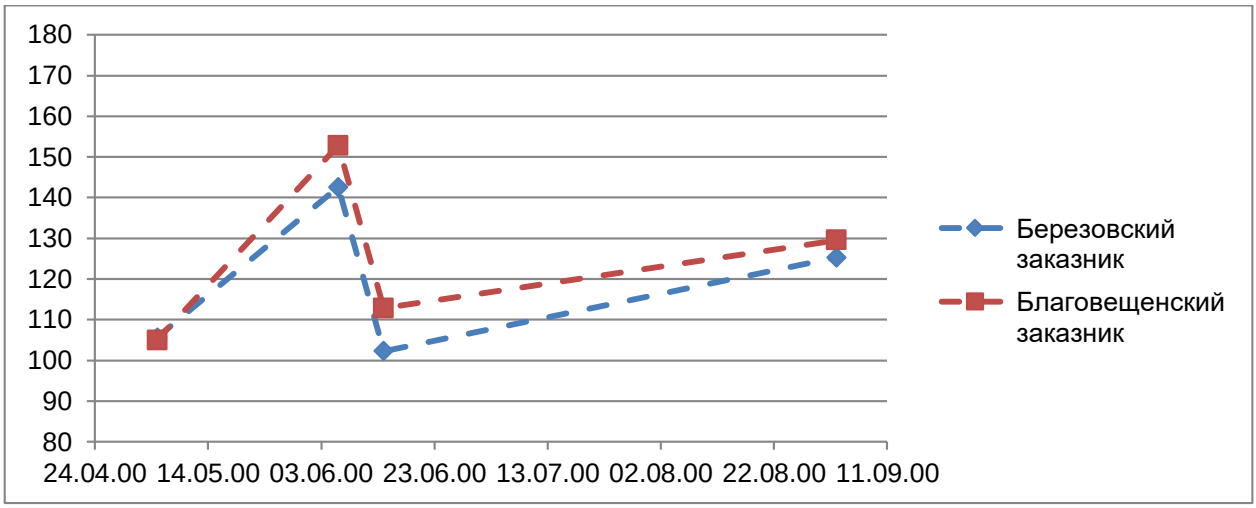
94. Richter, B.D., Baumgartner, J., Wigington, R., Braun, D. How much water does a river need? Freshwater Biology. 1997. Vol. 37(1), pp. 231-249
95. Winemiller, K. O., McIntyre, P. B., Castello, L., Fluet-Chouinard, E., Giarrizzo, T., Nam, S., et al. (2016). Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. Science 351, 128–129. doi: 10.1126/science.aac7082
96. WWF Water Security Series Keeping rivers alive. A primer on environmental flows and their assessment. 2009
97. WWF. 2018. Living Planet Report - 2018: Aiming Higher. Grooten, M. and Almond, R.E.A.(Eds). WWF, Gland, Switzerland.
98. Zarfl, C., Lumsdon, A. E., Berlekamp, J., Tydecks, L. & Tockner, K. A global boom in hydropower dam construction. Aquatic Sciences **77**: 161-170 (2015).
99. http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/ndvi-function.htm
100. http://gis-lab.info/qa/ndvi.html
101. http://www.burges.rushydro.ru/hpp/general/
102. http://www.nbges.rushydro.ru/
103. http://www.zges.rushydro.ru/press/freshet/press_kit/88002.html

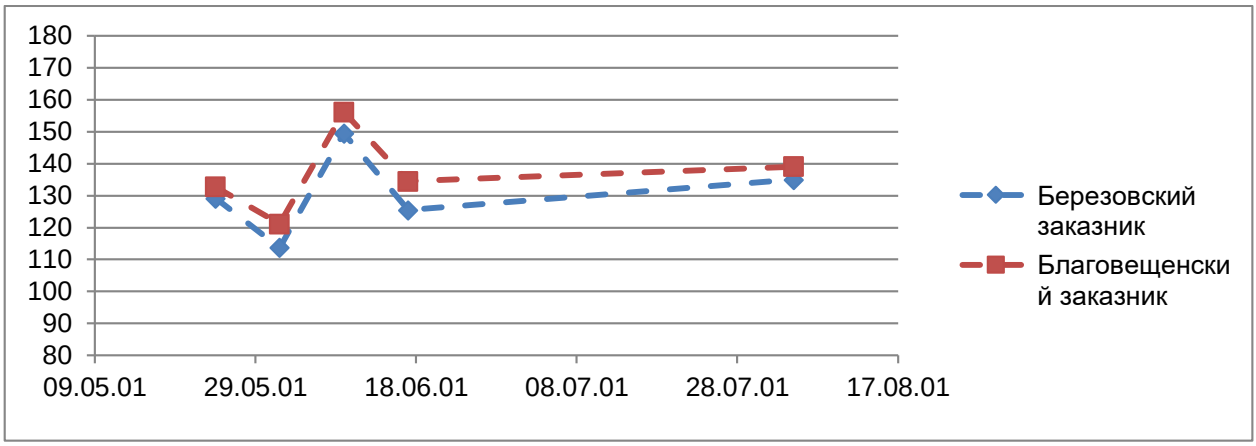
ПРИЛОЖЕНИЯ

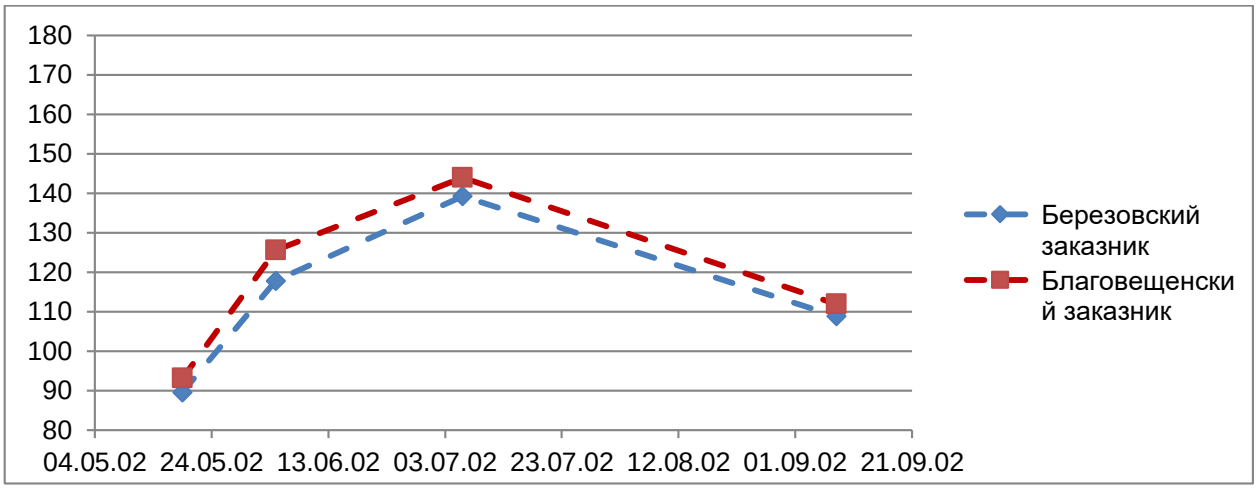
Приложение 1. Внутригодовой ход вегетационного индекса NDVI в разные годы

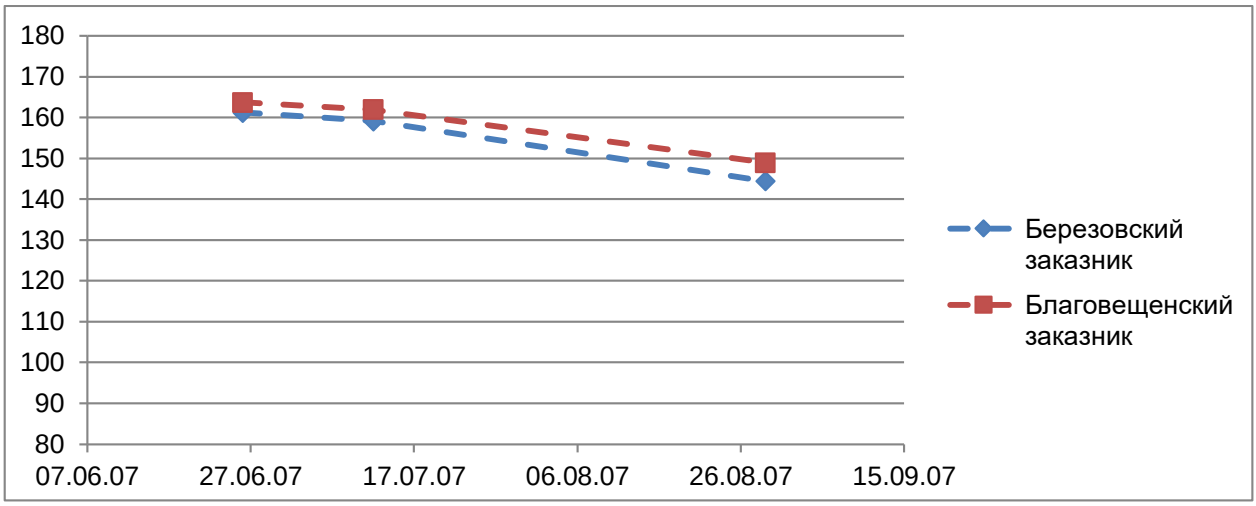


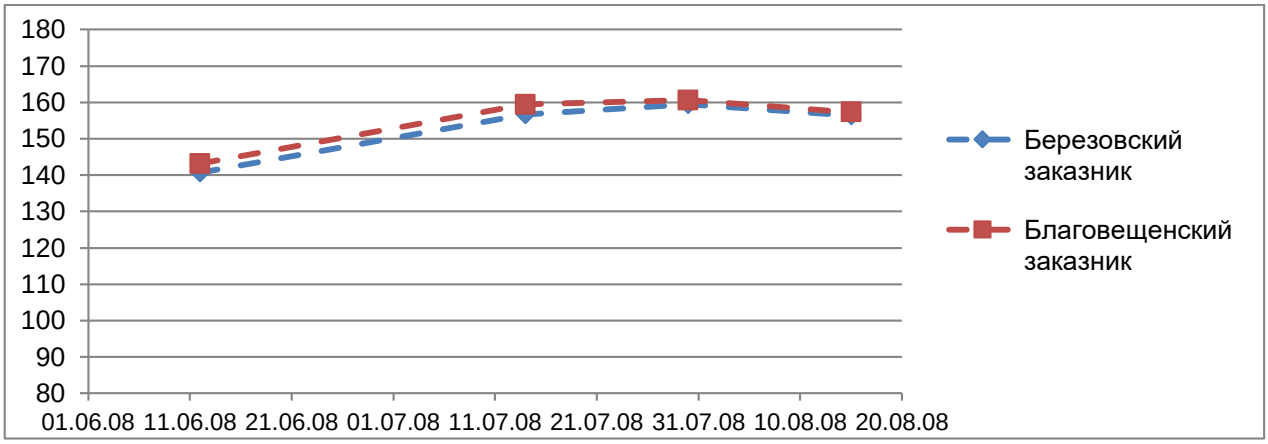




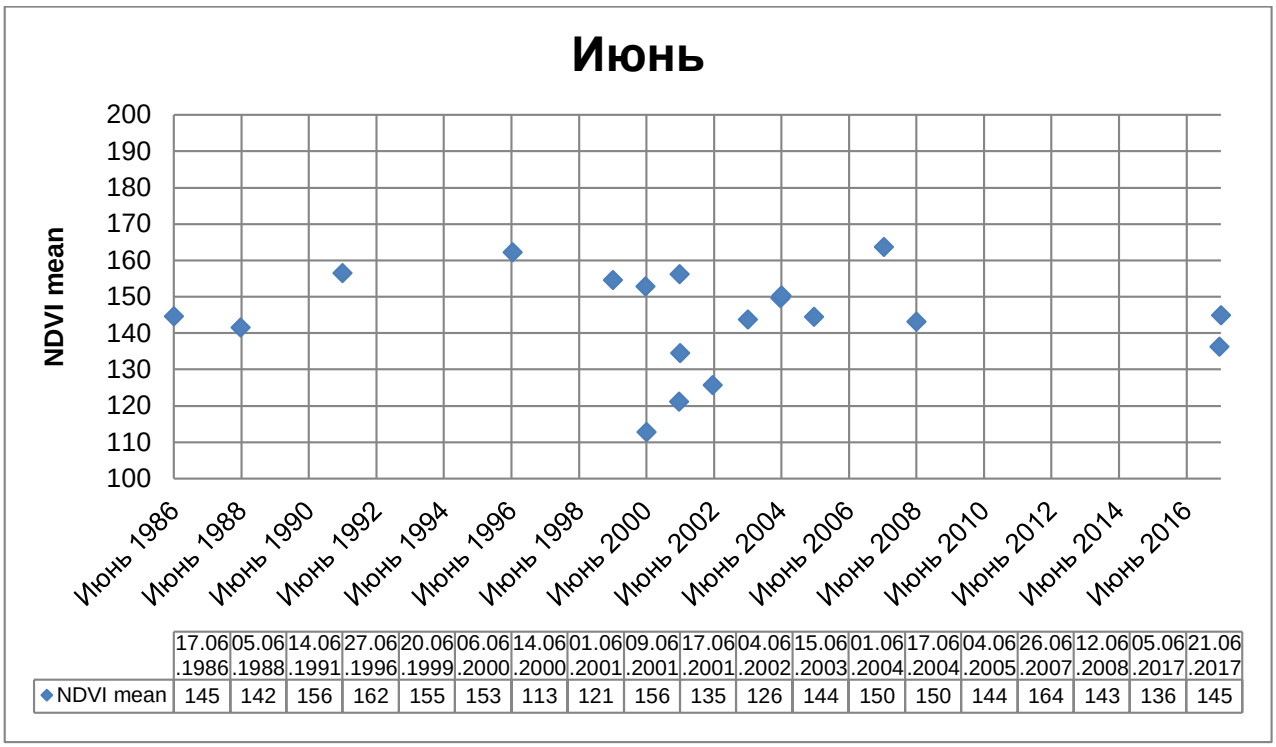

180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
09.05.01
29.05.01
18.06.01
08.07.01
28.07.01
17.08.01
Березовский заказник
Благовещенский заказник


180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
04.05.02
24.05.02
13.06.02
03.07.02
23.07.02
12.08.02
01.09.02
21.09.02
Березовский заказник
Благовещенский заказник

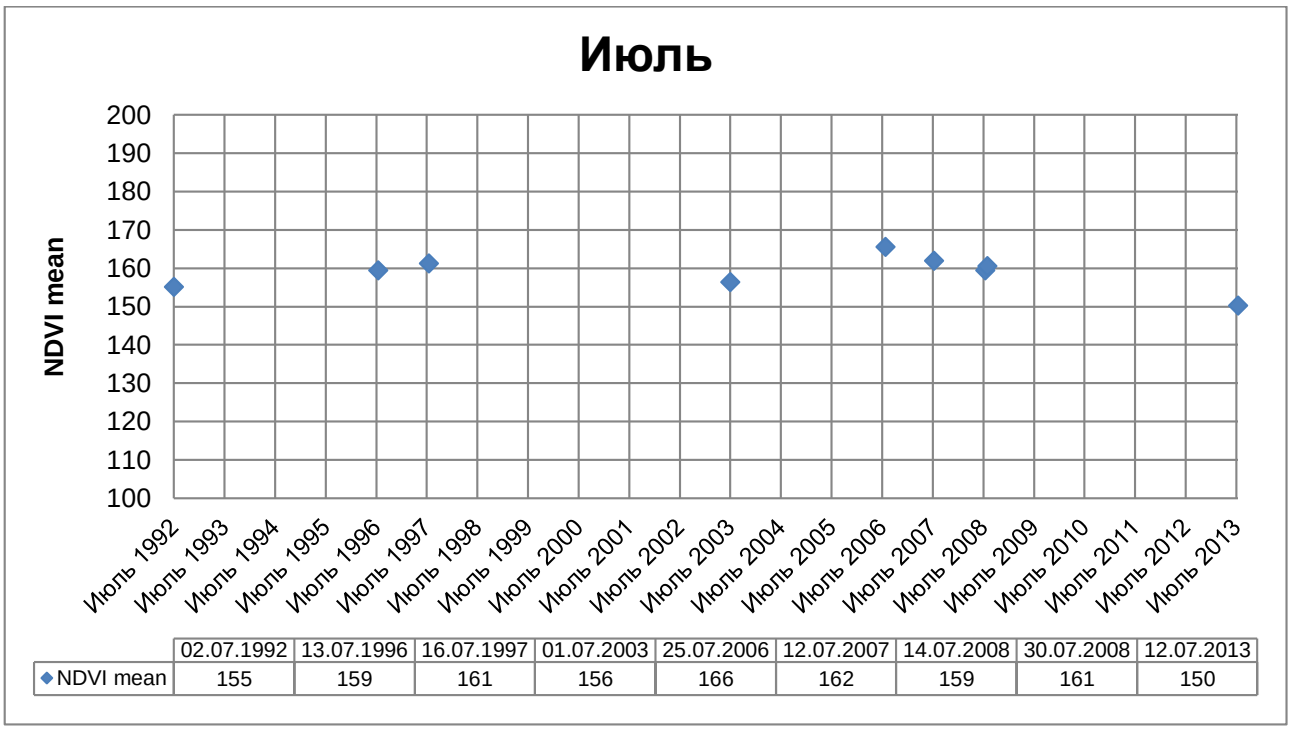

180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
07.06.07
27.06.07
17.07.07
06.08.07
26.08.07
15.09.07
Березовский заказник
Благовещенский заказник


180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
01.06.08
11.06.08
21.06.08
01.07.08
11.07.08
21.07.08
31.07.08
10.08.08
20.08.08
Березовский заказник
Благовещенский заказник

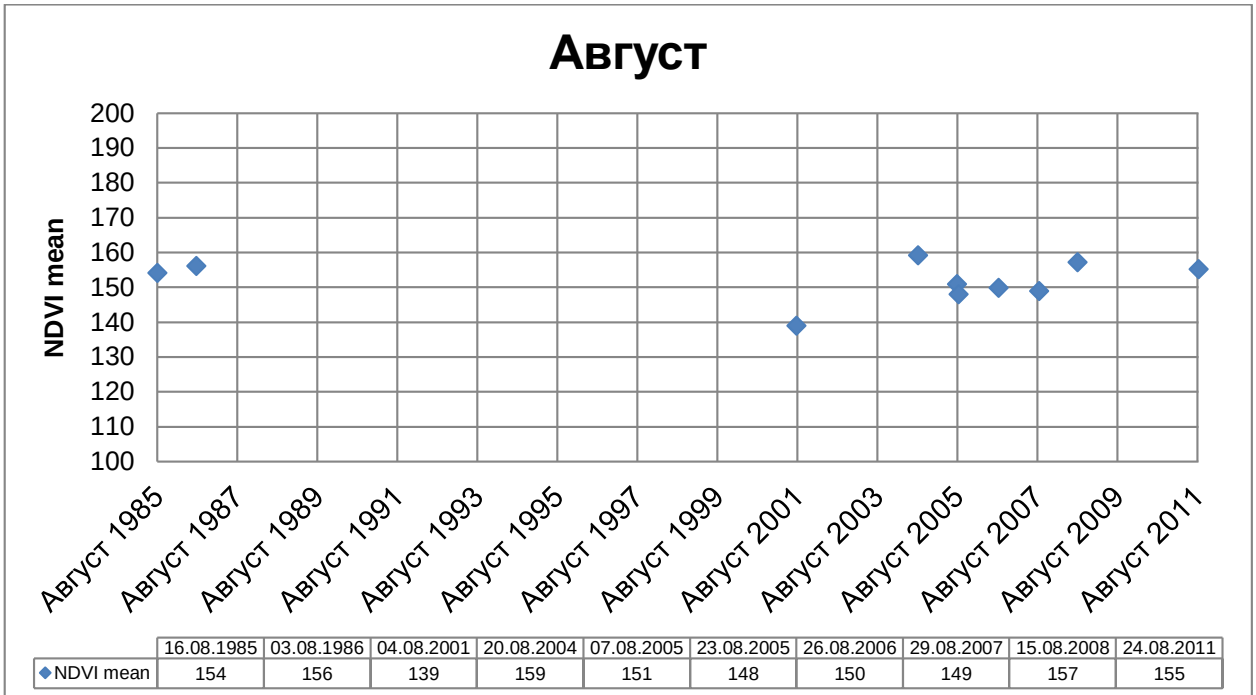
Приложение 2. Динамика вегетационного индекса NDVI, осредненного по территории Благовещенского заказника, в разные месяцы теплого периода



	17.06.1986	05.06.1988	14.06.1991	27.06.1996	20.06.1999	06.06.2000	14.06.2000	01.06.2001	09.06.2001	17.06.2001	04.06.2002	15.06.2003	01.06.2004	17.06.2004	04.06.2005	26.06.2007	12.06.2008	05.06.2017	21.06.2017
NDVI mean	145	142	156	162	155	153	113	121	156	135	126	144	150	150	144	164	143	136	145



	02.07.1992	13.07.1996	16.07.1997	01.07.2003	25.07.2006	12.07.2007	14.07.2008	30.07.2008	12.07.2013
NDVI mean	155	159	161	156	166	162	159	161	150



	16.08.1985	03.08.1986	04.08.2001	20.08.2004	07.08.2005	23.08.2005	26.08.2006	29.08.2007	15.08.2008	24.08.2011
NDVI mean	154	156	139	159	151	148	150	149	157	155

Приложение 3. Изменение видового состава ихтиофауны Зейского водохранилища за период с 1975 по 2008 гг.

(Коцюк, 2009)

Виды рыб	1975 г.	2008 г.
1. *Lathenteron reissneri* (Dybowski, 1869) – дальневосточная ручьевая минога	+	+
2. *Huso dauricus* (Georgi, 1775) – калуга	+	-
3. *Asipenser schrenckii* Brandt, 1869 – амурский осетр	+	-
4. *Oncorhynchus keta* (Walbaum, 1792) – кета	+	-
5. *Hucho taimen* (Pallas, 1773) - таймень	+	+
6. *Brachymystax lenok* (Pallas, 1773) – острорылый ленок	+	+
7. *Brachymystax tumensis* Mori. 1930 – тупорылый ленок	+	+
8. *Coregonus ussuriensis* Berg, 1906 – амурский сиг	+	+
9. *Coregonus chadary* Dybowski, 1869 – сиг-хадары	+	+
10.*Thymallus grudii* Dybowski, 1869 – верхнеамурский хариус	+	+
11.*Esox reichertii* Dybowski, 1869 амурская щука	+	+
12.*Leuciscus waleckii* (Dybowski, 1869) – амурский язь, чебак	+	+
13.*Phoxinus percnurus* (Pallas, 1814) – озерный гольян	+	+
14.*Phoxinus czekanowskii* Dybowski, 1869 – гольян Чекановского	+	-
15.*Phoxinus lagowskii* Dybowski, 1869 – гольян Лаговского	+	+
16.*Phoxinus phoxinus* (Linnaeus, 1758) – речной гольян	+	-
17.*Xenocypris macrolepis* Bleeker, 1871 – крупночешуйный желтопер	+	-
18.*Hemiculter lucidus* (Dybowski, 1872) – уссурийская востробрюшка	+	-
19.*Pseudaspius leptocephalus* (Pallas, 1776) – амурский плоскоголовый жерех	+	+
20.*Erithroculter mongolicus* (Basilewsky, 1855) – монгольский краснопер	+	-
21.*Gobio soldatovi* Berg, 1914 – пескарь Солдатова	+	-
22.*Gobio cynocehalus* (Linnaeus, 1758) – амурский обыкновенный пескарь	+	+
23.*Ladislavia taczanowskii* Dybowski, 1869 - ладиславия	+	-
24.*Rhodeus sericeus* (Pallas, 1776) – амурский обыкновенный горчак	+	-
25.*Hemidarbus labeo* (Pallas, 1776) конь-губарь	+	-
26.*Carassis gibelio* (Bloch, 1782) – серебряный карась	+	+
27.*Barbatula toni* (Dybowski, 1869) – сибирский голец	+	+
28.*Misgurnus anguillicaudatus* (Canton, 1842) – азиатский вьюн	+	+
29.*Cobitis melanoleuca* Nichols, 1925 – сибирская щиповка	+	+
30.*Cobitis lutheri* Linnaeus, 1758 – щиповка Лютера	+	+
31. *Silurus asotus* Linnaeus, 1758 – амурский сом	+	+
32.*Pelteobagrus fulvidraco* (Richardson, 1846) – китайская косатка-скрипун	+	+
33.*Pelteobagrus ussuriensis* (Dybowski, 1872) – косатка-плеть	+	+
34.*Perccottus glenii* Dybowski, 1877 – ротан-головешка	+	+
35.*Mesocottus haitej* (Dybowski, 1869) – амурская широколобка	+	-
36.*Cottus szanaga* Dybowski, 1869 – амурский подкаменщик	+	-
37.*Lota lota* (Linnaeus, 1758) – налим	+	+
38.*Hypomesus olidus* (Pallas, 1814) – обыкновенная малоротая корюшка	+	+
39.*Coregonus peled* (Gmelin,1789) – пелядь	-	+
40.*Coregonus migratorius* (Georgi, 1775) – байкальский омуль	-	+
ВСЕГО:	**38**	**26**

Приложение 4. Видовой состав ихтиофауны бассейна Средней Зеи (ниже от плотины)

(Коцюк, 2009)

Название вида	2007 г.
1. *Lathenteron reissneri* (Dybowski, 1869) - дальневосточная ручьевая минога	+
2. *Lathenteron camtschaticum* (Tilesius, 1811) - тихоокеанская минога	+
3. *Huso dauricus* (Georgi, 1775) - калуга	+
4. *Asipenser schrenckii* Brandt - амурский осетр	+
5. *Hucho taimen* (Pallas, 1773) - таймень	+
6. *Brachymystax lenok* (Pallas, 1773) - остроpылый ленок	+
7. *Brachymystax tumensis* Mori. 1930 - тупорылый ленок	+
8. *Coregonus ussuriensis* Berg, 1906 - амурский сиг	+
9. *Coregonus chadary* Dybowski, 1869 - сиг-хадары	+
10. *Thymallus grudii* Dybowski, 1869 - верхнеамурский хариус	+
11. *Hypomesus olidus* (Pallas, 1814) - обыкновенная малоротая корюшка	+
12. *Esox reichertii* Dybowski, 1869 - амурская щука	+
13. *Leuciscus waleckii* (Dybowski, 1869) - амурский язь, чебак	+
14. *Phoxinus percnurus* (Pallas, 1814) - гольян озерный	+
15. *Phoxinus czekanowskii* Dybowski, 1869 - гольян Чекановского	+
16. *Phoxinus lagowskii* Dybowski, 1869 - гольян Лаговского	+
17. *Phoxinus phoxinus* (Linnaeus, 1758) - речной гольян	+
18. *Phoxinus oxycephalus* (Sauvage et Dabry de Thiersant, 1874) - китайский гольян	+
19. *Pseudorasbora parva* (Temminck et Schlegel, 1846) - амурский чебачок	+
20. *Gobio cynocehalus* (Linnaeus, 1758) - амурский обыкновенный пескарь	+
21. *Gobio soldatovi* Berg, 1914 - пескарь Солдатова	+
22. *Sarcocheilichthys sinensis* Bleeker, 1871 - пескарь-лень	+
23. *Ladislavia taczanowskii* Dybowski, 1869 - ладиславия	+
24. *Hemidarbus labeo* (Pallas, 1776) - конь-губарь	+
25. *Hemidarbus maculatus* Bleeker, 1871 - пятнистый конь	+
26. *Xenocypris macrolepis* Bleeker, 1871 - крупночешуйный желтопер	+
27. *Hemiculter lucidus* (Dybowski, 1872) - уссурийская востробрюшка	+
28. *Erithroculter mongolicus* (Basilewsky, 1855) - монгольский краснопер	+
29. *Chanodichthys erythropterus* (Basilewsky, 1855) - верхогляд	+
30. *Pseudaspius leptocephalus* (Pallas, 1776) - амурский плоскоголовый жерех	+
31. *Opsariichthys bidens* Gunther, 1873 - китайская трегубка	+
32. *Rhodeus sericeus* (Pallas, 1776) - амурский обыкновенный горчак	+
33. *Carassis gibelio* (Bloch, 1782) - серебряный карась	+
34. *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758 - сазан	+
35. *Hypophthalmichthys molitrix* (Valencienns, 1844) - белый толстолобик	+
36. *Siniperca chuatsi* (Basilewsky, 1855) - окунь-ауха	+
37. *Barbatula toni* (Dybowski, 1869) - сибирский голец	+
38. *Misgurnus anguillicaudatus* (Canton, 1842) - азиатский вьюн	+
39. *Cobitis melanoleuca* Nichols, 1925 - сибирская щиповка	+
40. *Cobitis lutheri* Linnaeus, 1758 - щиповка Лютера	+
41. *Silurus asotus* Linnaeus, 1758 - амурский сом	+
42. *Pelteobagrus fulvidraco* (Richardson, 1846) - китайская косатка-скрипун	+
43. *Pelteobagrus ussuriensis* (Dybowski, 1872) - косатка-плеть	+
44. *Perccottus glenii* Dybowski, 1877 - ротан-головешка	+
45. *Mesocottus haitej* (Dybowski, 1869) - амурская широколобка	+
46. *Cottus szanaga* Dybowski, 1869 - амурский подкаменщик	+
47. *Lota lota* (Linnaeus, 1758) - налим	+