



УДК 502.33+504.052+504.58
DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.24.56>

Оценка воздействия на трансграничный бассейн реки Селенги в границах Российской Федерации в связи с планами строительства гидроэнергетических объектов на территории Монголии

И. В. Бычков^{1,4}, В. М. Никитин^{1,2}, Н. В. Абасов², Е. Н. Осипчук²,
Т. В. Бережных², И. И. Орлова¹, Н. Г. Борисова³

¹Иркутский научный центр СО РАН, Иркутск

²Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН, Иркутск

³Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ

⁴Иркутский государственный университет, Иркутск

E-mail: nikitin1310@mail.ru

Аннотация. В настоящее время продолжается предварительная подготовка проектов строительства гидротехнических сооружений в бассейне реки Селенги на территории Монголии. Их реализация может привести к существенным изменениям гидрологического режима бассейна реки на территории Российской Федерации, что, в свою очередь, повлияет на состояние экосистем и экономику региона. Важным фактором является международный статус природных объектов в России, на которые может оказать влияние реализация данных проектов, прежде всего на объект Всемирного природного наследия – оз. Байкал. В ходе исследования в трансграничном бассейне Селенги проведён анализ гидрологических характеристик монгольской и российской части бассейна, современного состояния и перспектив развития водохозяйственных систем Монголии и Российской Федерации, энергосистемы и гидроэнергетики Монголии. Выполнено моделирование регулируемого стока Селенги при различных возможных режимах работы проектируемых ГЭС и гидротехнических сооружений (проекты ГЭС Шурэн, ГЭС Эгийн-Гол, водоотвод Орхон-Гоби). Дана оценка возможных изменений гидрологических характеристик в российской части бассейна реки, включающая сравнительный анализ внутригодового стока в естественных и зарегулированных условиях для отдельных месяцев и территориальных участков реки при разных условиях водности (нормальных и экстремальных). Выявлены возможные риски воздействия потенциальных ГЭС. Представлены качественные и количественные оценки возможного воздействия в границах Российской Федерации, включающие влияние на работу водопользователей и водопотребителей в российской части бассейна Селенги и прежде всего воздействие на экосистемы. Оценки воздействия получены как отдельно для каждого из рассматриваемых проектов, так и при совместном (кумулятивном воздействии). Определены экологические требования и обоснована оценка экологического стока на границе Российской Федерации и Монголии.

Ключевые слова: трансграничный бассейн Селенги, гидротехнические сооружения, водохозяйственная система, гидрологические характеристики, регулирование стока, нормальная и экстремальная водность, водохранилища, моделирование естественного и зарегулированного стока, кумулятивное воздействие, водопользователи и водопотребители

тели, абиотические и биотические характеристики, экосистемные требования, экологический сток, риски воздействия.

Для цитирования: Оценка воздействия на трансграничный бассейн реки Селенги в границах Российской Федерации в связи с планами строительства гидроэнергетических объектов на территории Монголии / И. В. Бычков, В. М. Никитин, Н. В. Абасов, Е. Н. Осипчук, Т. В. Бережных, И. И. Орлова, Н. Г. Борисова // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2018. Т. 24. С. 56–85. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.24.56>

Введение

В связи с планами Монголии по строительству гидротехнических сооружений (ГТС) в трансграничном бассейне Селенги (ГЭС Шурэн, ГЭС Эгийн-Гол, водоотвод Орхон-Гоби) актуальной и важной задачей становится исследование их возможного воздействия на территорию Российской Федерации. Реализация этих проектов может привести к существенным изменениям гидрологического режима российской части бассейна Селенги, что, в свою очередь, повлияет на состояние экосистем и экономику региона. Важным фактором является международный статус значимости природных объектов, которые могут испытывать такое влияние, прежде всего оз. Байкал.

Целью настоящей работы является проведение качественных и количественных оценок возможного воздействия планируемых ГТС в Монголии на бассейн Селенги в границах России. Для этого проведена оценка ожидаемых изменений абиотических (гидрологических, гидроморфологических, морфометрических и др.) и биотических (гидробиологических) показателей, спрогнозирована возможная реакция экосистем в российской части бассейна Селенги в результате зарегулирования стока. Исследованы требования к регулированию гидрологических режимов Селенги с определением объёмов экологического стока (допустимого диапазона изменений) на границе России и Монголии, на основе которого делается оценка экологических попусков и ограничений на расходы воды планируемых ГТС и амплитуды колебаний воды для разных условий водности.

1. Гидрологические характеристики

Река Селенга, самый крупный приток оз. Байкал, образуется от слияния рек Идэр и Дэлгэр-Мурэн, длина реки в Монголии составляет 615 км, в РФ – 409 км. На территории Монголии и РФ Селенга принимает ряд притоков, самые крупные из них – Орхон и Эгийн-Гол в Монголии, Джида, Чикой, Хилок, Уда в РФ. Площадь трансграничного бассейна Селенги составляет 447 060 км² – это 80 % общей водосборной площади бассейна оз. Байкал. Из общей площади бассейна реки 148 060 км² (33 %) приходится на территорию РФ и 299 000 км² (67 %) – на территорию Монголии [Схема комплексного ..., 2014]. Величина её среднего многолетнего стока за 1934–2015 гг. в створе разъезд Мостовой составляет 878 м³/с, что соответствует 47 % от общего среднемноголетнего притока в оз. Байкал (1 870 м³/с за 1899–2015 гг.).

Основной гидрологической особенностью рек Монголии является их сравнительно небольшая водоносность и очень высокая неравномерность внутригодового распределения речного стока (табл. 1). Этому способствуют

незначительное количество выпадающих осадков практически по всей территории страны и большие величины испарений, обусловленные высокой температурой воздуха летом.

Таблица 1

Годовой сток рек монгольской части бассейна Селенги при разных условиях водности, км³

Название реки	Пункт наблюдений	Коэффициент вариации, CV	Коэффициент асимметрии, Cs	Расчётные величины годового стока (км ³) с обеспеченностью (%)						
				0,1	1	5	50	95	99	99,9
Селенга	Хутаг	0,38	1,86	14,2	12,0	7,7	4,5	2,2	1,8	1,5
Селенга	Шурэн	0,39	1,52	21,3	18,6	13,7	7,6	3,7	2,9	2,6
Дэлгэр-Мурэн	Мурэн	0,39	0,75	3,0	2,6	2,1	1,2	0,6	0,5	0,3
Эгийн-Гол	Хантай	0,28	0,87	7,4	6,4	5,2	3,2	1,7	1,3	1,1
Орхон	Орхон	0,59	2,63	7,1	5,7	3,4	1,6	0,4	0,2	0,1
Орхон	Сухэ-Батор	0,41	1,18	11,4	10,2	8,7	4,4	2,0	1,4	1,1

Распределение стока внутри года на реках Монголии, в том числе бассейна Селенги, характеризуется большой неравномерностью. Данные наблюдений показывают, что 92–95 % стока происходит с апреля по октябрь и только 5–8 % – в зимний период (ноябрь – март). Это обусловлено тем, что основное количество осадков выпадает в весенне-летне-осенний период. Зимой реки покрыты льдом и незначительный сток на них обеспечен в основном грунтовыми водами.

Исходя из данных наблюдений, можно отметить, что объём стока Селенги при 50 % обеспеченности в предполагаемом створе ГЭС Шурэн составляет 7,6 км³. С учётом стока р. Орхон (пост Сухэ-Батор – 4,4 км³) в сумме на границе РФ и Монголии (пост Наушки) объём стока составляет 12 км³. Это составляет около 40 % от суммарного стока Селенги и около 20 % от суммарного среднего многолетнего объёма притока в оз. Байкал (59 км³ за 1899–2015 гг.).

2. Водохозяйственные системы

Монголия. Данные по современному состоянию и перспективам развития водохозяйственной системы в монгольской части трансграничного бассейна Селенги получены из материалов национальной программы «Вода» [Action plan ..., 2010; “Water” National Programme, 2010]. В 2010 г. объём водопотребления в монгольской части трансграничного бассейна реки составлял 194,5 млн м³ в год, из них на питьевое и бытовое водоснабжение приходилось 25 %, орошение – 22 %, животноводство – 16 %, горнодобывающую промышленность – 14 %, остальные 23 % – строительство, транспорт, энергетика, туризм, рекреация [Integrated water ..., 2013]. В общем объёме использования водных ресурсов 23 % приходится на поверхностные воды и 77 % – на подземные. В соответствии с национальной программой

«Вода», к 2021 г. общая потребность в воде для трансграничного бассейна Селенги по «низкому» сценарию составит 262 млн м³/год, по «промежуточному» – 348 млн м³/год, по «высокому» – 475 млн м³/год, из них на долю поверхностных вод будет приходиться 26–29 %. Авторы программы для подробного перспективного планирования рассматривают средний сценарий.

Наиболее высокие темпы роста планируются при использовании водных ресурсов на питьевое и бытовое водоснабжение и орошение, что связано с приоритетными задачами государства по обеспечению питьевой водой населения и удовлетворению внутреннего спроса на продукты питания за счёт внутреннего производства.

В настоящее время только 30,5 % общей численности населения (менее 1 млн человек) использует воду из систем централизованного водоснабжения, три четверти городского населения и одна треть сельских жителей имеют доступ к средствам санитарии, отвечающей гигиеническим нормам. Рост потребления воды предполагает расширение охвата систем водоснабжения и канализации в городах и районах, увеличение площадей пастбищных и орошаемых земель, а также развитие легкой, пищевой, горнодобывающей, обрабатывающей промышленности и сектора возобновляемой энергетики.

Российская Федерация. В соответствии со Схемой комплексного использования и охраны водных объектов бассейна Селенги (СКИОВО) [2014] общий объём использования водных ресурсов в российской части бассейна составил в 2010 г. 488 млн м³ в год (из них 99,4 % приходится на Республику Бурятия), в 2013 г. – 508 млн м³ в год. Доля использования поверхностных вод в общем объёме используемых водных ресурсов составляет 88–90,5 %, подземных вод соответственно 12–9,5 %.

Основными водопотребителями в бассейне Селенги на территории Российской Федерации являются Улан-Удэнский и Гусиноозёрский промышленные узлы. Их доля в общем объёме потребления водных ресурсов составляла 86 % в 2010 г. и 88 % в 2013 г. В структуре использования поверхностных вод основная роль принадлежит Гусиноозёрскому промышленному центру, а по подземным водам – г. Улан-Удэ [О состоянии ..., 2015].

В целом по бассейну Селенги суммарный объём забора свежей воды из водоисточников в средний по водности год составляет около 1,8 % от объёма возобновляемых водных ресурсов, что даёт основание предполагать достаточные резервы для водопотребления.

В структуре использования водных ресурсов 80–84 % приходится на производственные нужды, 10–7 % – хозяйственно-питьевые, 7–6 % – орошение и сельскохозяйственное водоснабжение за 2010 и 2013 г. соответственно. Наиболее водоёмкими отраслями промышленности являются: лесная, топливная, металлообработка и машиностроение, цветная металлургия, производство стройматериалов. Основным водопользователем является электроэнергетика (81 % потребления на производственные нужды). В соответствии со СКИОВО, объём потребления воды в российской части бассейна Селенги к 2023 г. составит 618 млн м³ в год, в том числе из поверхностных вод 518 млн м³ в год.

С учётом приведённых выше показателей можно говорить о достаточности водных ресурсов в бассейне для удовлетворения питьевых и хозяйственно-бытовых нужд в настоящее время и в перспективе. Так как доля забора свежей воды составляет около 1,4 % от среднего годового стока Селенги, требования водопользователей и водопотребителей на территории РФ в целях развития производства и поддержания условий жизни населения в настоящее время и в перспективе при любых условиях водности в различные сезоны и месяцы будут обеспечены.

3. Развитие гидроэнергетики Монголии

В соответствии с Правительственными программами Монголии [In-depth review ..., 2011; In-depth review ..., 2013] в качестве основного направления развития энергетики рассматривается строительство крупных ГЭС. Основные причины: улучшение структуры энергобаланса в энергосистеме, в том числе за счёт оптимального регулирования графика нагрузки с помощью регулирующих манёвренных ГЭС; повышение общей надёжности и эффективности работы существующих электростанций; обеспечение энергетической безопасности Монголии, в том числе за счёт снижения зависимости от импорта электроэнергии; улучшение экологической ситуации (уменьшение загрязнения воздуха в городах за счёт снижения выбросов парниковых газов).

В настоящее время в качестве основных рассматриваются три проекта: ГЭС Шурэн, ГЭС Эгийн-Гол, водоотвод Орхон-Гоби, два из которых (Шурэн и Орхон-Гоби) реализуются совместно с Всемирным банком в рамках проекта MINIS.

Основные параметры данных проектов (на основе данных предварительных ТЭО и проектов технических заданий):

- 1) ГЭС Шурэн: установленная мощность 245 МВт, годовая выработка электроэнергии 870 млн кВт·ч, объём водохранилища 3,8 км³;
- 2) ГЭС Эгийн-Гол: установленная мощность 315 МВт, годовая выработка электроэнергии 606 млн кВт·ч, объём водохранилища 5,5 км³;
- 3) проект водоотвода Орхон-Гоби, включающий ГЭС мощностью 30 МВт и водохранилище объёмом 0,73 км³.

Оценка возможного воздействия реализации данных проектов на трансграничный бассейн Селенги [Вторая оценка ..., 2011; Научно-аналитическое ..., 2014] в границах РФ является основным предметом настоящего исследования.

4. Риски воздействия строительства ГЭС в Монголии

Многолетние исследования по воздействию ГЭС, проведённые в различных странах, наиболее полно представлены в отчётах Всемирной комиссии по плотинам [Плотины и развитие ..., 2009; Dams and development ..., 2000]. Эти исследования показывают, что основным объектом воздействия ГЭС являются экосистемы [Landres, Morgan, Swanson, 1999; Gayton, 2001; Smith, Maltby, 2003]. Под рисками воздействия строительства и функциони-

рования ГЭС понимается вероятность выхода значений гидрологических, гидроморфологических, морфометрических, физико-химических и других абиотических и биотических характеристик экосистем за пределы естественной изменчивости или за пределы толерантности биологических объектов, а под стрессорами – факторы, вызывающие состояние риска.

К основным последствиям воздействия ГЭС относятся:

1) изменение внутригодового гидрологического режима, как результат регулирования речного стока ГЭС;

2) трансформация термического режима (изменение температуры, содержания кислорода);

3) изменение стока наносов, задержание седиментов водохранилищами;

4) изменение хода и направленности русловых процессов;

5) трансформация русла реки, гидробиологических и гидрохимических свойств водных объектов;

6) уменьшение площади и периода затопления пойменных территорий (утрата гидравлической связи между водотоком и поймой);

7) фрагментация единого водного бассейна в результате перегораживания русла плотиной, пресечение путей миграции биологических видов;

8) изменение видового состава, утрата и сокращение численности и биомассы отдельных популяций гидробионтов;

9) изменение почвенного покрова, растительного и животного мира прибрежных экосистем.

Отмеченные выше последствия имеют комплексное воздействие на экосистемы реки в разных временных и пространственных масштабах (изменяются в пределах бассейна одной реки). Последствия воздействий ГЭС можно объединить в три группы [Petts, 1984; Dams and development ..., 2000]. К воздействиям первого порядка относятся абиотические показатели: гидрологические, гидроморфологические, морфометрические, физические, химические. Эти воздействия, в свою очередь, вызывают воздействия второго порядка: изменения в первичной биологической продуктивности экосистем (биотических показателей). К числу воздействий третьего порядка относятся дальнейшие изменения экосистем как ответ на воздействия второго: изменение растительного, животного мира, ихтиофауны и др.

Исследования, выполненные на различных объектах, позволяют говорить о том, что изменения внутригодового гидрологического режима реки являются первичным фактором воздействия и неизбежно приводят к изменениям в экосистемах. При этом риск негативного воздействия на экосистему возрастает с увеличением амплитуды гидрологических изменений (отклонений) относительно естественных условий.

5. Система моделей для оценки возможного воздействия

Основной задачей является определение показателей экологического стока, учитывающих реакцию экосистем на изменение стока при его регулировании. В рамках подхода «сток – экология» разработана специальная

система моделей для формирования оценок воздействия зарегулированного стока на экосистему российской части бассейна Селенги.

Для моделирования и исследования территориального фактора воздействия выделены 4 участка (3 – на основном русле и 1 – в дельте) и 10 створов (6 створов на основном русле Селенги и 4 – в дельте), представленные на рис. 1.

Система включает различные модели, реализованные в виде автономных программных компонентов и выполняющие определённый набор функций, принимающих входные данные и параметры и передающие результаты другим компонентам (рис. 2).

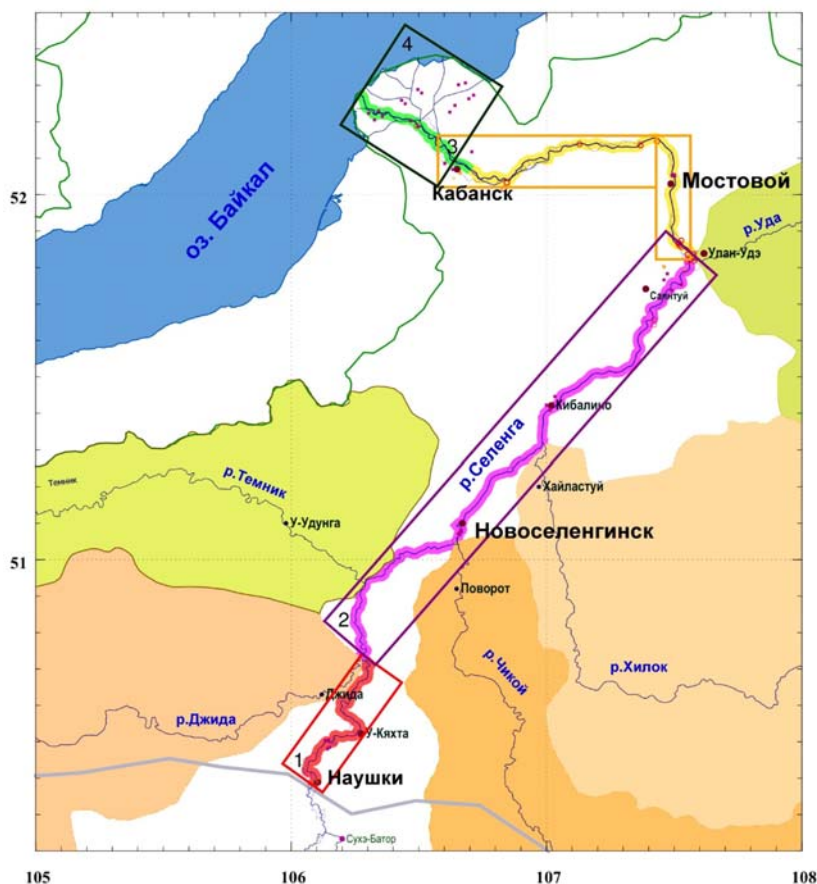


Рис. 1. Карта-схема модельных участков и створов на Селенге

Основные блоки системы:

- *энергетический*, представляющий набор моделей по управлению режимами ГЭС (оптимизационные, управление по диспетчерским графикам) для различных сценариев их использования;
- *гидрологический*, включающий набор моделей по формированию отклонений абиотических показателей в зависимости от изменения расхода ГЭС;

- *водохозяйственный*, учитывающий ограничения по лимитам на забор воды и объёмам допустимого безвозвратного изъятия, водопотреблению и водопользованию для исследуемых участков в различные периоды времени;
- *экологический*, включающий набор моделей по анализу биотических показателей, состояния водных и приречных экосистем;
- *моделирование воздействия (реакции)* экосистем и формирования ограничений по экосистемным требованиям;
- *формирование экологического стока* на заданном створе и *экологических попусков* для возможных ГЭС, учитывающих требования экологического стока.

В основе всех блоков находится *информационная база данных* по базовым гидрологическим, водохозяйственным, экологическим и энергетическим показателям различного временного (сутки, декады, месяцы) и пространственного (створы по четырём исследуемым участкам) разрешения, а также вспомогательным данным (метеопоказатели в исследуемом бассейне; ГИС-данные по состоянию русла реки для разных временных периодов с учётом его изменения, космические снимки различного масштаба и др.).

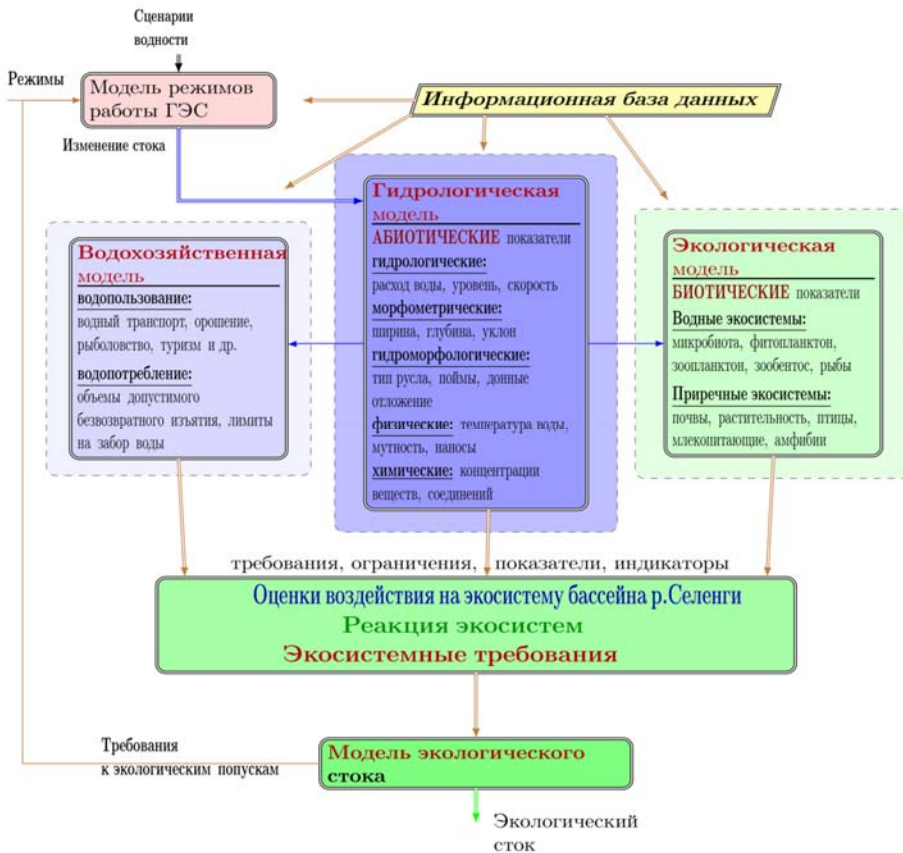


Рис. 2. Система моделей «сток – экология» для бассейна Селенги

Блок *моделирования режимов ГЭС* позволяет оценить возможные режимы работы рассматриваемых ГЭС Монголии в бассейне Селенги, наполнения и сработки их водохранилищ с учётом множества энергетических, экологических и водохозяйственных ограничений. Режимы ГЭС определяются через двухступенчатую оптимизацию: наполнение в летне-осенний и сработка в зимний период.

Гидрологическая модель включает набор взаимоувязанных компонентов по анализу абиотических показателей:

- гидрологических (расход, уровень, скорость);
- морфометрических (ширина, глубина, уклон) для исследования характеристик русла по всем створам, начиная от створов ГЭС Монголии и заканчивая дельтой;
- гидроморфологических (тип русла, характеристики дна, уровня и вида поймы, донные отложения); тип русла имеет существенное значение для определения средней скорости в заданном створе, определяемой по гидравлическим формулам (Шези, Маннинга и др.);
- физических (температура воды, мутность, расход взвешенных наносов);
- химических (концентрации различных веществ и соединений).

В блоке *экологической модели* в качестве индикаторов (показателей) *биотических характеристик* рассматриваются микробиота, фитопланктон, зоопланктон, зообентос, рыбы. Дополнительно включены приречные показатели: почвы, растительность, амфибии, птицы и млекопитающие.

6. Сценарии регулирования стока

Моделирование. Для определения возможного изменения стока Селенги на границе РФ были разработаны модели регулирования режимов каждой из рассматриваемых ГЭС. Для расчётов использовались имитационные модели [Абасов, Осипчук, 2012; Абасов, Чернышов, Осипчук, 2014], позволяющие выполнить моделирование режимов ГЭС с учётом водного баланса, данных о притоке воды, характеристиках водохранилищ, установленной мощности гидротурбин и других параметров гидроузлов. Для учёта различных критериев управления режимами ГЭС и системы ограничений (экологических, энергетических и др.) применялись оптимизационные модели.

За основу моделирования регулируемого стока Селенги принят классический «энергетический вариант» регулирования режимов ГЭС с водохранилищем в энергосистеме: максимальным наполнением водохранилища в летний период (с апреля по октябрь, с пониженными относительно естественного стока расходами через ГЭС) и сработкой водохранилища в зимний период (с ноября по март). Для водохранилищ ГЭС Шурэн и водоотвода Орхон-Гоби были определены режимы сезонного регулирования, для ГЭС Эгийн-Гол – сезонного и многолетнего регулирования.

При наполнении водохранилища в летний период минимальный расход через ГЭС ограничивался санитарным попуском по каждому месяцу, определяемым 95%-ной обеспеченностью естественного стока в створе, для условий экстремально низкой водности расход ограничивался 99%-ной обеспеченностью.

Требования энергосистемы учитывались в виде ограничений.

Сценарии. Для регулирования стока Селенги были рассмотрены четыре отдельных сценария моделирования режимов: 1) ГЭС Шурэн; 2) ГЭС Эгийн-Гол; 3) ГЭС водоотвода Орхон-Гоби; 4) регулирование всех рассматриваемых ГЭС (кумулятивный эффект).

Оценки изменения зарегулированного стока Селенги проводились на трёх ключевых постах РФ: Наушки, Новоселенгинск, Мостовой.

Каждый из четырёх сценариев режимов ГЭС включал в себя два этапа моделирования:

На первом этапе проводилось моделирование возможных режимов ГЭС на естественном непрерывном гидрологическом ряде (1959–2016 гг.). В модели конечные уровни водохранилищ текущего года становились начальными условиями для следующего года. В результате серий расчётов для каждой ГЭС были определены параметры расчётной зимней выработки электроэнергии ГЭС.

На втором этапе режимы ГЭС моделировались в рамках одного гидрологического года с притоком заданной обеспеченности. По каждому сценарию были проведены расчёты режимов ГЭС исходя из заданной обеспеченности естественного стока по посту Наушки: 0,01; 0,1; 1; 5; 50; 95; 99; 99,9 и 99,99 %.

Дополнительно был рассмотрен «экологический вариант» режимов ГЭС, при котором расходы каждой ГЭС определялись ограничениями экологического стока Селенги (верхний и нижний уровни) на границе РФ и Монголии.

7. Воздействие отдельных проектов ГЭС, изменение расходов Селенги относительно естественных условий

ГЭС Шурэн. Для условий нормальной водности (рис. 3, а) наибольшие отклонения расходов регулируемых режимов от естественных (в 2–3 раза) наблюдаются в летний период на границе РФ (створ Наушки). В нижнем течении Селенги (створ Мостовой) эти отклонения не превышают 15–20 % относительно естественных условий. Происходит значительное (в 3–5 раз) увеличение расходов в зимний период с выходом за пределы максимально наблюдаемых значений в естественных условиях, причём при всех условиях водности. Наибольшие отклонения от уровня естественного стока в летний период происходят в условиях экстремально низкой водности (рис. 3, б), в том числе при обеспеченности 99 % и выше нарушается нижняя граница диапазона колебаний естественного стока.

ГЭС Эгийн-Гол. При регулировании режимов ГЭС Эгийн-Гол (рис. 4), как и для ГЭС Шурэн, наибольшие отклонения от уровня естественного стока наблюдаются для зимнего периода в условиях высокой водности (для всех рассматриваемых створов). При этом высокие отклонения характерны только для верхнего участка Селенги (Наушки). В целом воздействие ГЭС Эгийн-Гол на территорию РФ является более мягким относительно ГЭС Шурэн по величине отклонения регулируемых режимов от естественных как в летний, так и в зимний период. Это является следствием различий данных

ГЭС: Эгийн-Гол находится на большем расстоянии от границы, имеет больший полезный объём водохранилища при меньшем и более стабильном среднегодовом стоке.

Проект водоотвода Орхон-Гоби. При регулировании стока в проекте водоотвода Орхон-Гоби (рис. 5) отклонение от естественного режима очень незначительно во всем диапазоне обеспеченностей как для зимних, так и для летних периодов, за исключением теоретических экстремально маловодных периодов (с обеспеченностью 99 % и более). Для многоводных периодов влияние на естественный сток практически отсутствует.

Кумулятивное воздействие. При совместном регулировании режимов рассматриваемых ГЭС в случае реализации в будущем всех рассматриваемых проектов диапазон отклонений сопоставим с показателями режимов ГЭС Шурэн, которая в этом случае становится регулятором каскада.

Необходимо отметить, что при регулировании стока рассматриваемых ГЭС, предусматривающего выполнение экологических требований («экологический вариант»), значительно изменятся параметры их работы. Из-за ограничений расходов в зимний период существенно (в среднем на 30–40 %) снизится зимняя выработка электроэнергии. Основное регулирование стока и выработка электроэнергии в этом варианте переносится на летний период. Таким образом, сценарий «экологического варианта» по сравнению с «энергетическим» имеет множество дополнительных ограничений, определяемых экологическими требованиями с внутригодовым перераспределением стока (снижением зимней и увеличением летней выработки электроэнергии), что приведёт к значительному изменению технико-экономических характеристик ГЭС, возможному увеличению себестоимости электроэнергии, а также может не соответствовать планируемым энергобалансам в энергосистеме (участие в покрытии графика нагрузки).

Территориальное воздействие. Наибольшему воздействию подвержен верхний приграничный участок Наушки – Джиды. По мере приближения к устью Селенги воздействие ГЭС будет снижаться. Территориальное воздействие оценивалось как отношение зарегулированного стока к естественному за период с апреля по сентябрь (табл. 2). В нижнем течении реки (посты Мостовой и Кабанск) отклонения от естественных режимов будут наблюдаться, главным образом, в зимний период. Гидрологические режимы в дельте Селенги будут определяться прежде всего регулированием уровня оз. Байкал. При обеспеченности менее 50 % влияние зарегулированного стока постепенно уменьшается.

Таблица 2

Оценка территориального воздействия планируемых ГЭС

Гидропосты	Отклонение зарегулированного стока от естественного при различных обеспеченностях, %					
	50	95	99	50	95	99
	ГЭС Шурэн			ГЭС Эгийн-Гол		
Наушки	38,9	12,2	4,5	19,4	8,2	2
Новоселенгинск	16,5	5,9	1,8	8,2	1,7	0,8
Мостовой	11,8	4,4	1,4	5,9	1,3	0,6

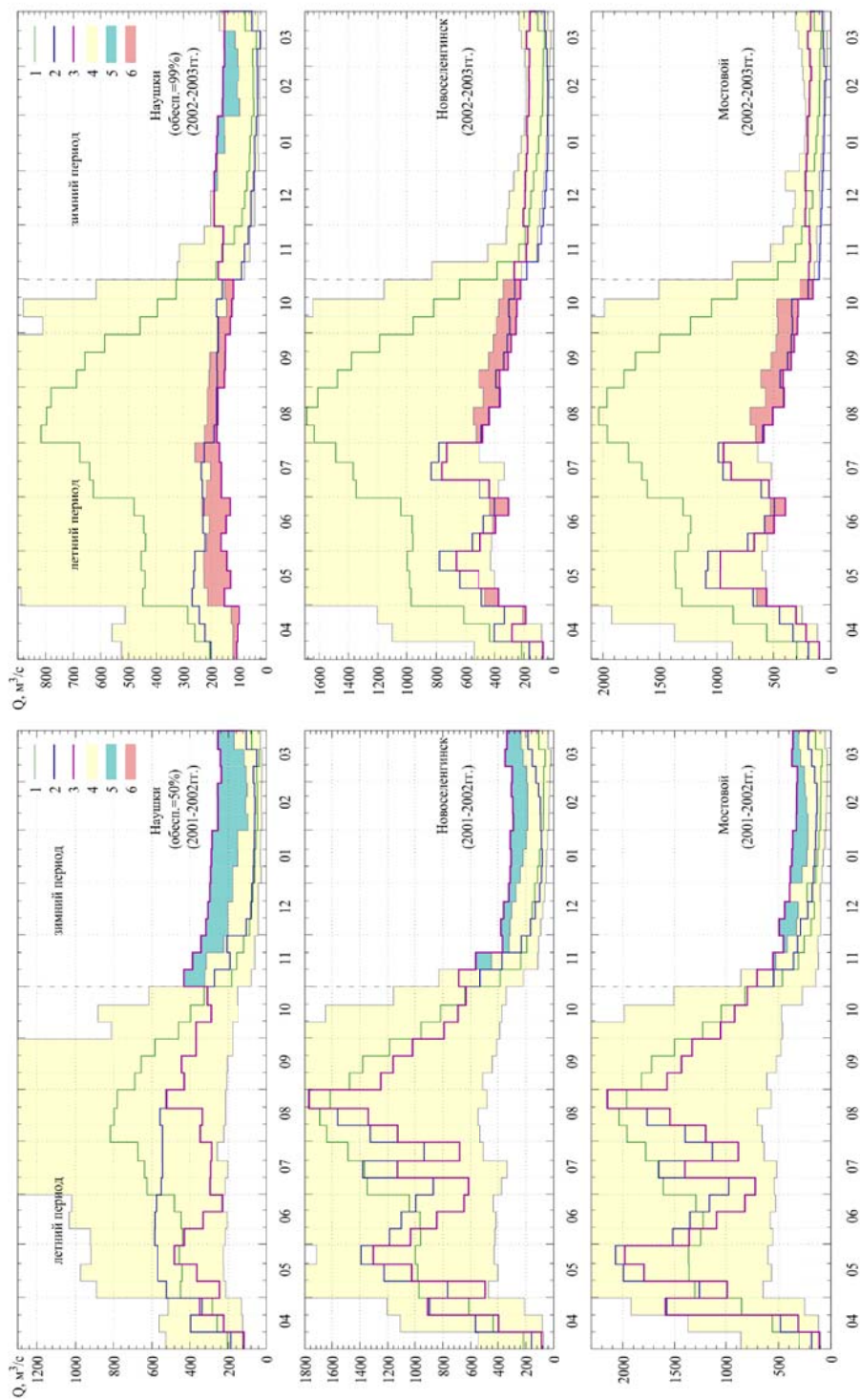
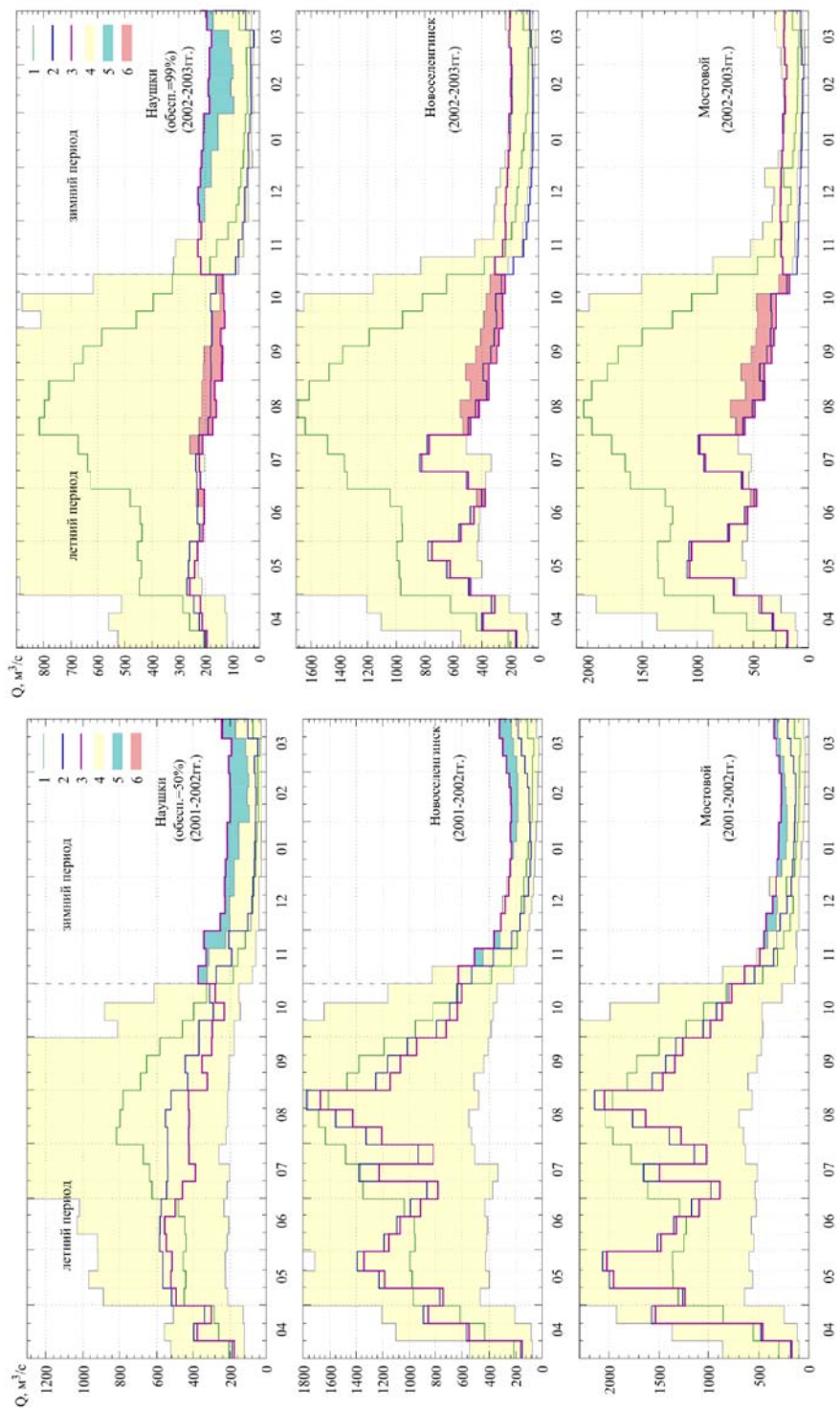


Рис. 3. Изменение стока Селенги в постах Наушки, Новоселенник, Мостовой при регулировании режимов ГЭС Шуурэн для обеспеченности расхода 50 % (а) и 99 % (б). 1 – норма; 2 – естественный сток; 3 – зарегулированный сток; 4 – диапазон изменения естественного стока; 5 – выход за верхнюю границу диапазона; 6 – выход за нижнюю границу диапазона

б

а



б

а

Рис. 4. Изменение стока Селенги в постах Наушки, Новоселенгинск, Mostovoyi при регулировании режимов ГЭС Эгийн-Гол для обеспечения расхода 50 % (а) и 99 % (б). 1 – норма; 2 – естественный сток; 3 – зарегулированный сток; 4 – диапазон изменения естественного стока; 5 – выход за верхнюю границу диапазона; 6 – выход за нижнюю границу диапазона

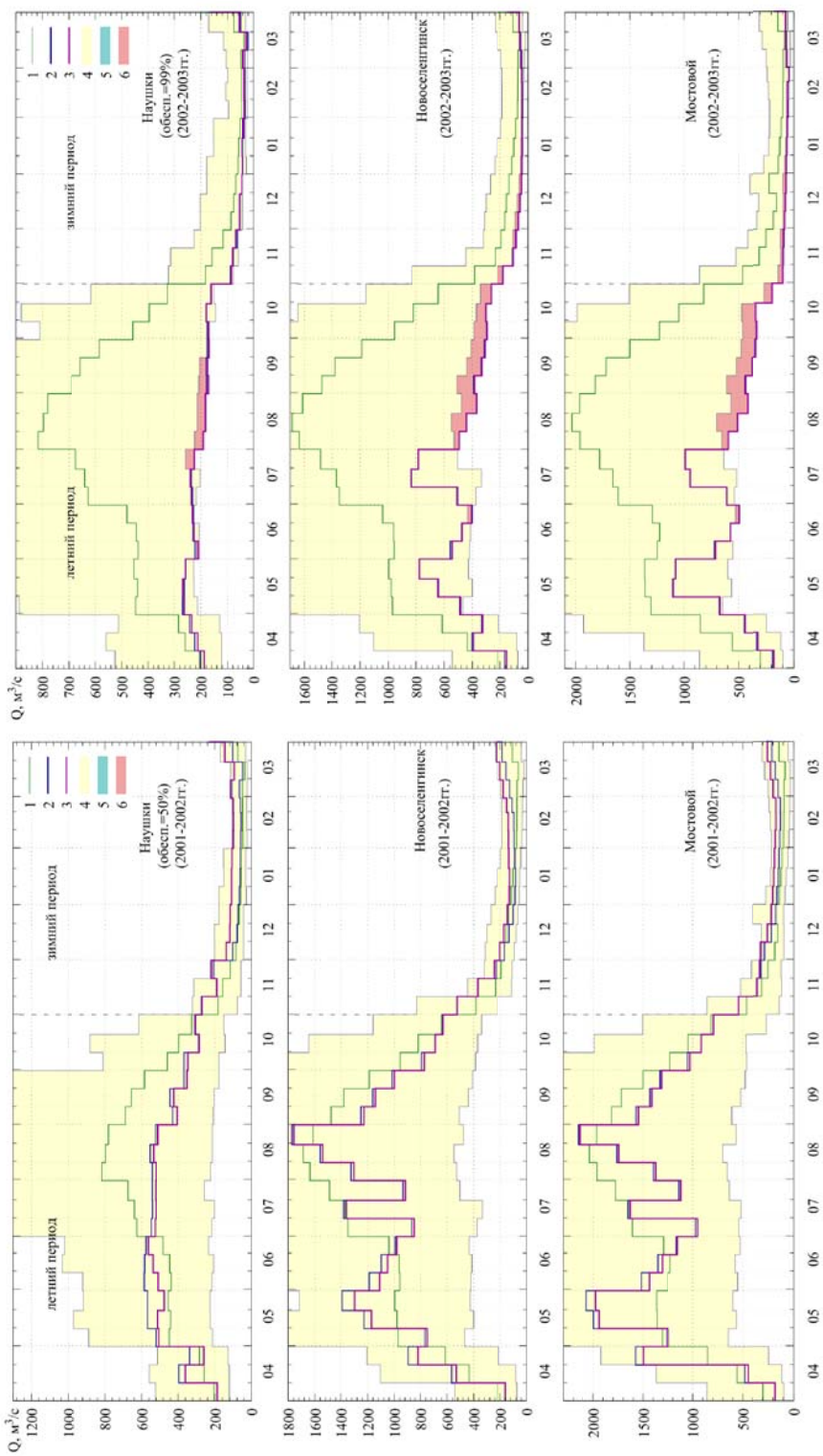


Рис. 5. Изменение стока Селенги в постах Наушки, Новоселенгск, Мостовой при регулировании режимов ГЭС водоотвода Орхон-Гоби для обеспеченности расхода 50 % (а) и 99 % (б). 1 – норма; 2 – естественный сток; 3 – зарегулированный сток; 4 – диапазон изменения естественного стока; 5 – выход за верхнюю границу диапазона; 6 – выход за нижнюю границу диапазона

Сроки наполнения водохранилищ. Одним из наиболее ответственных периодов является период наполнения водохранилища. Если в нормальных условиях для наполнения водохранилищ рассматриваемых ГЭС достаточно нескольких месяцев, то в условиях маловодья может потребоваться несколько лет (табл. 3). Например, для наполнения водохранилища ГЭС Эгийн-Гол, имеющего большой объём при относительно низком значении среднегодового стока, в случае наступления маловодного периода может потребоваться 5–6 лет при сохранении минимальных попусков в нижний бьеф в течение всего периода.

Таблица 3

Сценарии сроков наполнения водохранилищ планируемых ГЭС для разных условий водности

Проект	Обеспеченность стока, %	Кол-во месяцев
ГЭС Шурэн	50	4
	95	25
	99	27
ГЭС Эгийн-Гол	50	39
	95	66
	99	76
Водоохранилищеводоотвода Орхон-Гоби	50	2
	95	15
	99	25

Изменение других абиотических показателей. Для прочих абиотических показателей характерны следующие изменения:

Уровни и скорости. В летний период уровни и средние скорости течения меняются в соответствии с изменёнными показателями расходов и кривыми их связей с расходами. Скорости в зимний период возрастут на 0,2–0,5 м/с, а уровни повысятся на 0,5–1 м по сравнению с естественным стоком.

Температуры. Понижение температур в весенне-летний период составит 1–3 °С, а повышение в осенний период будет в пределах 0,5–2 °С со смещением сроков установления льда на 1–2 недели позднее.

Мутность и наносы. Мутность снижается, за исключением случаев, когда высока доля расхода р. Орхон при впадении в Селенгу. В связи с созданием плотин расход взвешенных наносов уменьшается, кроме случаев со значительными колебаниями внутрисуточных расходов, когда возможен дополнительный снос взвешенных частиц из нижнего бьефа [Современная и прогнозная ..., 2016].

Русловые характеристики. Уменьшаются длительность и величины половодий и паводков со смещением на осенний период. Сокращается длительность стояния высокой воды в многоводный период. В маловодные периоды увеличивается длительность межени. При нормальной (средней) водности значительных изменений не происходит. При внутрисуточном управлении режимами ГЭС возможны значительные колебания расходов в их створах, что неизбежно приведёт к изменениям русла в монгольской части

течения Селенги. Это, в конечном итоге, может повлиять и на территорию российской части её бассейна.

Изменение биотических показателей. Изменение абиотических показателей, в свою очередь, выступает стрессором для биотических (*водных и приречных экосистем*). Снижение расходов летнего периода приведёт к падению количественных характеристик отдельных видов гидробионтов (фитопланктон), снижению продуктивности сообществ на фоне увеличения видового разнообразия, увеличению доли лимнофильных теплолюбивых видов (зоопланктон).

Из всех абиотических факторов (расходы, температура, ледовые явления, свет) наиболее критичным для рыб, особенно для байкальского омуля, будет повышенный расход воды в зимний период. Он приведёт к возрастанию скоростей течения и отрыву икры от субстрата, сносу по течению, попаданию в неблагоприятные условия и, в конечном итоге, к снижению её выживаемости с высокой вероятностью гибели. Изменение параметров стока в конце зимнего периода наиболее важно в верхнем течении Селенги. Пониженные расходы воды в это время (в связи с окончанием сработки водохранилищ), наряду со сбросом охлаждённой воды зимой, приведут к изменению условий массового выклева личинок омуля. Увеличение расходов воды в зимний период может привести к снижению количественного развития организмов фитопланктона в протоках дельты Селенги, вымыванию и сносу организмов зообентоса. Можно ожидать замедление продукционно-деструкционных процессов, процессов трансформации веществ.

Для растительности наиболее значимым будет пониженный сток в течение летнего периода. Будет происходить снижение водности протоков и связанное с этим снижение влажности почв. Изменится длительность периодов избыточного увлажнения. Снизится уровень грунтовых вод в пойме и дельте, что приведёт к перестройке пространственной структуры растительности прибрежных экосистем реки. Уменьшение продолжительности затопления приведёт к значительному сокращению площадей пойменных растительных сообществ, развитию процессов остепнения.

Для обитающих в приречных экосистемах амфибий, птиц и млекопитающих ухудшатся условия воспроизводства.

8. Экологические требования для различных видов биоты

Рыбы. Необходимо поддержание расходов воды, обеспечивающих разнообразие биотопов в реке [Хохлова, 1967; Технологическая схема ..., 1991; Воронов, 1993], вертикальной и латеральной связности (также обеспечивающих разнообразие биотопов и микробиотопов). Не должно быть резких колебаний расходов воды.

Нерест. Необходимо сохранять параметры окружающей среды (триггеры), запускающие нерест и нерестовые миграции рыб. Для инициации нереста важны половодья весной и паводки летом. Для успешного нереста омуля [Черняев, 1982; Базов, Базова, 2010], развития его икры и для созревания половых продуктов у осетра важно не допускать повышения температур в осенне-зимний период. Для соблюдения условий нереста весенне- и

летне-нерестующих видов рыб в реке важно не допускать понижения температур в весенне-летний период времени.

Развитие икры и личинок. Для развития икры всех видов рыб необходим определенный диапазон скоростей течения – не слишком высоких, с одной стороны, во избежание сноса икринок вниз по течению и, с другой стороны, не слишком медленных, во избежание снижения содержания кислорода в омывающей икринки воде и заноса икринок тонкими седиментами.

Для развития личинок рыб необходимо наличие мелководий, представляющих благоприятные условия для роста, питания и защиты от выедания хищниками.

Для развития личинок омуля [Сорокин, Сорокина, 1977] в дельте и на Селенгинском мелководье важен оптимальный уровень Байкала в мае-июне, который, в свою очередь, зависит от расхода воды в Селенге в предшествующем году.

Зообентос. Снижение расхода относительно естественного оптимума ведёт к изменению характера сообществ путём трансформации спектров обилия организмов зообентоса [Вершинин, 1964; Отчет ..., 1990] за счёт повышения удельной роли имеющих малые размеры тела толерантных видов, уменьшению числа и обилия реофильных видов, а также усиливает дрейфт (снос вниз по течению) организмов, снижая энергетический баланс системы.

Повышение температуры потока зимой и весной даже на десятки доли градуса ведёт к смещению сроков вылета имаго амфибиотических насекомых на более ранние сроки, когда метеорологические условия еще неблагоприятны (низкая температура воздуха). Это неизбежно вызывает повышенную смертность организмов, являющихся одними из базовых в трофической организации водных экосистем, с последующими неблагоприятными последствиями для всех вышележащих трофических уровней.

Зимний период. Повышение расходов зимой приведёт к сносу организмов вниз по течению и коренному изменению энергетического баланса на каждом локальном участке, вызовет ослабление вертикальной связности реки и обусловит гибель организмов зообентоса. Гидропики зимой приведут к обсыханию организмов в прибрежной зоне и их гибели.

Почвы и растительность. Для естественного функционирования почвенно-растительного покрова приречных экосистем, необходимо обеспечение регулярных и продолжительных затоплений поймы, соответствующим естественным условиям, а также поддержание естественных уровней грунтовых вод [Экология растительности ... 1981; Убугунов, Убугунова, Корсунов, 2000; Почвы дельты ..., 2012].

Амфибии и рептилии. Обеспечение условий для зимовки: проточность, стабильность ледяного покрова (без подвижек, увеличения площади).

Сохранение условий для нереста и вызревания икры, а также роста и развития личинок (головастиков) амфибий: поддержание существования пойменных водоёмов и стабильных мелководий в протоках реки.

Для поддержания русловых процессов и обеспечения нормальных условий функционирования почвенно-растительного покрова в качестве

мест обитания и кормовой базы для амфибий и рептилий необходимо сохранение естественной межгодовой и внутригодовой динамики многоводий: частоты, амплитуды и продолжительности фаз.

Птицы и млекопитающие. Обеспечение условий для размножения: сохранность естественной прибрежной растительности, стабильность береговой кромки, защита от хищников, достаточная пищевая база (планктон, зообентос, рыбы, растительность).

9. Экологические требования для разных сезонов года

Зима (ноябрь – март). Зима в силу суровости условий является критичным временем года, которое большинство организмов переживает, резко снижая метаболизм, либо впадая в анабиоз. В это время года естественные условия абиотических факторов в реке очень стабильны – низкий, маловариабельный расход воды, низкая мутность, стабильная температура (ниже 0,2 °С). Повышенные расходы воды могут привести к сносу донных организмов, поскольку в этот период они малоактивны. Большая часть рыб в это время не питается, отставаясь в глубоких ямах. Повышенные расходы воды могут привести к дополнительным энергетическим тратам при перемещении в оптимальные места и ослаблению животных. Базовые расходы воды (характерные для естественных условий), обеспечивающие поддержание её температурного режима, определяют успешность зимовки организмов в реке.

Ключевые потребности экосистем в зимний период:

- для обеспечения условия развития икры омуля, сига и налима, а также зимовки организмов зообентоса, амфибий и рыб, скорость течения должна быть стабильной и незначительно отклоняться от среднего значения в соответствующем створе в рассматриваемый месяц;

- для организмов зообентоса важен транспорт наносов в рамках естественного, соответствующего диапазону величин базового расхода.

Весна (апрель – май). Весной происходит вскрытие льда и повышаются расходы воды. Период распаления является критичным для многих видов беспозвоночных и инициации развития ряда видов растений. Подъём уровня воды является триггером для запуска многих процессов в развитии разных групп организмов. Заливание поймы создаёт условия для размножения беспозвоночных, амфибий и рыб.

Ключевые потребности экосистем:

- триггер для выклева личинок омуля, скат личинок омуля, нерест весенне-нерестующих рыб – резкий подъём уровня воды в апреле;

- обеспечение условий для роста организмов зообентоса в водотоке – температура и объём транспорта наносов после прохождения паводковой волны должны находиться в рамках диапазона базовых значений;

- триггеры для вылета амфибиотических насекомых, развивающихся в составе зообентоса, – отсутствие резких колебаний уровня и скорости воды после прохождения паводковой волны, одновременно являющиеся триггерами и для организмов разных форм из состава дрифта: вылета в воздушную среду и миграции вниз по течению.

Лето (июнь – август). Лето в силу благоприятных температурных факторов является периодом роста и развития всех форм живых организмов в экосистемах реки. Критичным естественным фактором в этот промежуток является расход воды с характерными максимальными значениями в период летних паводков, к которым хорошо приспособлены все обитатели реки.

Ключевые потребности экосистем:

- триггеры для нереста осетра – определённое значение температуры воды в июле;
- триггеры для нереста других летне-нерестующих видов рыб – летние паводки;
- обеспечение условий для нереста – заливание пойменных площадей;
- обеспечение условий для развития икринок летне-нерестующих видов рыб – температура, наличие мелководий;
- обеспечение условий для размножения организмов зообентоса и развития яиц в прибрежной зоне – заливание пойменных площадей, скорость отступления воды, отсутствие резких повышений уровня и внезапных отступлений воды;
- обеспечение условий для функционирования почвенно-растительного покрова – сохранение хода паводков, в остальном – не допускать выхода за нижний предел расходов, наблюдаемых в естественных условиях.

Осень (сентябрь – октябрь). Осень в Селенге – наиболее благоприятный период для развития организмов зообентоса и рыб, поскольку расходы воды стабилизируются, а температура продолжает оставаться достаточно высокой для жизнедеятельности.

Ключевые потребности экосистем:

- триггеры для миграции и нереста омуля – относительно низкие расходы воды в конце августа – сентябре – октябре для максимально дальнего продвижения омуля вверх по реке с тем, чтобы нерест прошёл на участках, наиболее благоприятных для выживания икры;
- обеспечение условий для нереста омуля – поддержание средних уровней воды в период нереста. Для увеличения площадей, пригодных для нереста, не допускать высоких уровней с тем, чтобы отложенная в прибрежной зоне икра не оказалась позднее (после отступления воды) в зоне обсыхания;
- обеспечение условий для развития личинок организмов зообентоса – поддержание средних уровней воды, без резких колебаний, мутности в пределах средних значений.

10. Определение экологического стока

Экологический сток определяет суммарный сток монгольской части бассейна Селенги на границе Российской Федерации (пост Наушки). Данный сток определяется экологическими требованиями, приведёнными выше.

За основу ограничений зарегулированного стока приняты диапазоны среднемесячных колебаний стока в естественных условиях в диапазоне от 75–80 до 10–5 % обеспеченности. С вероятностью 70–80 % зарегулированный сток должен удовлетворять этим ограничениям. В остальных

случаях показатели расхода не должны выходить за пределы диапазона естественной изменчивости.

В результате были определены минимально и максимально допустимые значения экологического стока по месяцам (табл. 4). Основными показателями экологического стока для Селенги являются минимально допустимые значения в летний период (апрель – октябрь) и максимально допустимые в зимний (ноябрь – март). Нарушения этих ограничений оказывают наибольшее негативное воздействие на экосистемы.

Таблица 4

Объём экологического стока р. Селенги по посту Наушки

Месяц	Среднемесячный сток, м ³ /с	
	Минимальный	Максимальный
Апрель	170	360
Май	300	740
Июнь	350	790
Июль	350	1360
Август	350	1690
Сентябрь	300	1290
Октябрь	200	610
Ноябрь	100	220
Декабрь	80	125
Январь	60	100
Февраль	60	75
Март	60	90

Примечание: выделены минимально допустимые значения в летний (апрель – октябрь) и максимально допустимые в зимний (ноябрь – март) периоды.

Кроме диапазона изменчивости показателей среднемесячного стока необходимо учитывать множество суточных и многолетних ограничений по амплитуде и частоте колебаний, такие как:

- попуски 10–20 % обеспеченности в апреле (или начале мая для холодной весны) в течение 3–5 суток для смыва личинок рыб вниз по течению;
- попуски до 10 % обеспеченности в июне – августе при высоких паводках, необходимых для затопления пойм;
- постепенное уменьшение расходов в сентябре – октябре для осуществления возможности нереста ценных пород рыб в верховьях Селенги;
- особый режим в ноябре, связанный с недопустимостью заторно-зажорных явлений;
- ограниченность суточных колебаний расходов в весенний и осенний периоды (амплитуда не более 10 м³/с в сутки).

Кроме того, в периоды освобождения от ледяного покрова для суточных и внутрисуточных колебаний расхода в пос. Наушки должны быть разработаны специальные правила, гарантирующие отсутствие заторно-зажорных явлений.

Приведённые характеристики экологического стока являются лишь основой для разработки более детальных правил регулирования стока рассматриваемых ГЭС в случае их сооружения.

11. Оценка экологических попусков

Под экологическим попуском понимается попуск из водохранилищ, обеспечивающий условия устойчивого и безопасного функционирования водных экосистем на участке реки ниже водохранилища (в нашем случае – на границе Российской Федерации). Требования к экологическим попускам определяются ограничениями экологического стока по посту Наушки по верхней и нижней границе.

Требования к экологическим попускам на примере ГЭС Шурэн представлены на рис. 6. Для оценок экологических попусков ГЭС Шурэн требуется учёт среднемесячного стока р. Орхон (пост Сухэ-Батор), чтобы сумма зарегулированного стока Селенги (расхода через ГЭС) и стока Орхона попала в допустимый диапазон экологического стока.

Для ГЭС Эгийн-Гол, наряду с Орхоном, необходимо дополнительно учитывать расход Селенги в створе Хутаг, расположенном выше впадения в неё р. Эгийн-Гол.

В случае реализации проекта водоотвода Орхон-Гоби необходимо учитывать трансформацию стока (расход р. Орхон, пост Сухэ-Батор) и безвозвратное изъятие воды.

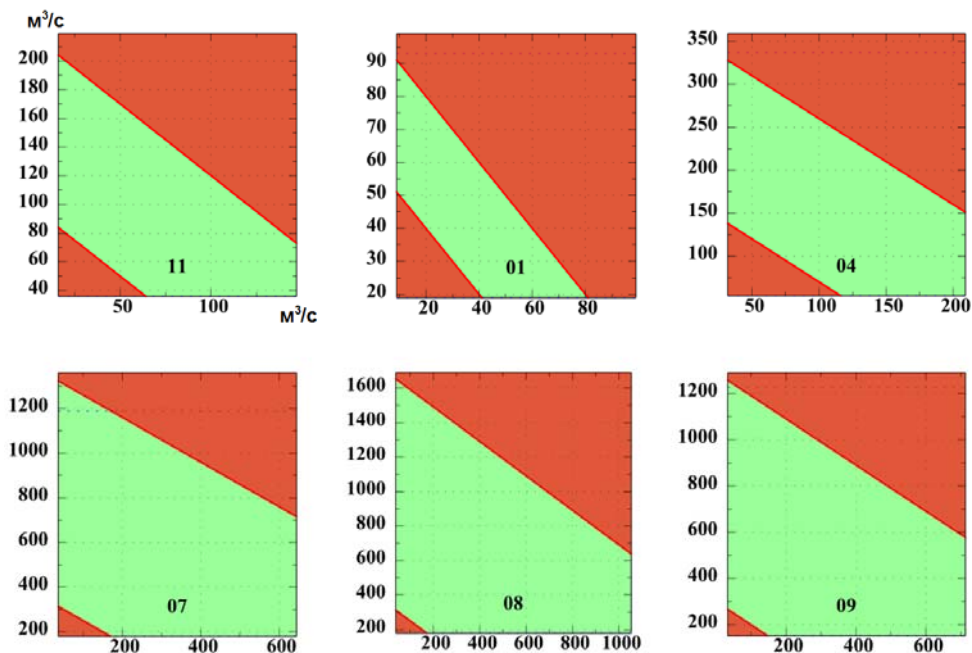


Рис. 6. Пример основных требований к экологическим попускам ГЭС Шурэн для отдельных месяцев: ноябрь, январь, апрель, июль, август, сентябрь. Ось абсцисс – расход р. Орхон (пост Сухэ-Батор), ось ординат – расход ГЭС Шурэн. Зелёный фон – допустимая область, красный фон – нарушение)

При совместном использовании всех рассматриваемых ГЭС проверка ограничений должна осуществляться по зарегулированному расходу в створе ГЭС Шурэн (регулирует сток ГЭС Эгийн-Гол) и зарегулированному расходу в створе водоотвода Орхон-Гоби (с учётом безвозвратного изъятия воды).

Как показали результаты сравнения расходов ГЭС в «энергетическом варианте» с экологическими требованиями, в летний маловодный период при обеспеченности 95 % и выше в большинстве месяцев на всех рассматриваемых ГЭС экологический сток нарушается. При этом для ГЭС Шурэн также происходит значительный выход не только за границы экологического стока, но и за нижнюю границу наблюдаемого ранее естественного стока. В зимний период нарушения происходят на всех ГЭС, при этом наиболее значимые отклонения возникают в январе-феврале.

При обеспеченности 50 % в летний период нарушения наблюдаются лишь в нескольких месяцах летнего периода и только для ГЭС Шурэн. В зимний период нарушения будут во всех месяцах для всех ГЭС.

Таким образом, выполнение экологических попусков представляет собой очень сложную задачу, требующую непрерывного мониторинга состояния водности и биоты в монгольской и российской частях бассейна Селенги, а также согласованного управления режимами регулирования стока в трансграничном бассейне.

Заключение

Строительство ГЭС в Монголии неизбежно приведёт к негативным изменениям в экосистемах. При определённых условиях водности (экстремально маловодье) и режимах регулирования стока появляется высокая вероятность выхода абиотических и биотических характеристик экосистем за пределы естественной изменчивости.

Основными рисками для экосистем являются изменения внутригодового гидрологического режима, в том числе повышенные расходы в зимний период, что приведёт к возрастанию скоростей течения, снизит эффективность естественного воспроизводства омуля (нерестовая миграция, нерест, инкубация икры, скат личинок в дельту), а также других видов рыб в Селенге. При пониженных расходах в летний период паводки будут оказывать меньшее влияние на почвообразование, понизится уровень грунтовых вод, особенно в приграничном участке реки. Изменения водного режима могут сказаться на условиях работы водопользователей и водопотребителей, прежде всего водного транспорта в экстремально маловодные периоды.

Из рассмотренных проектов ГЭС, планируемых в монгольской части трансграничного бассейна Селенги, наибольшее негативное воздействие на территорию Российской Федерации окажет ГЭС Шурэн. Воздействие ГЭС Эгийн-Гол будет относительно меньшим по величине, при этом сохраняются риски негативных воздействий на экосистемы, аналогичные ГЭС Шурэн. Проект водоотвода Орхон-Гоби оказывает минимальное воздействие.

При регулировании режимов ГЭС Шурэн и Эгийн-Гол наибольшие отклонения от естественного стока (в 3–5 раз) характерны для зимнего перио-

да на всём протяжении российского участка Селенги. Наибольшие отклонения от естественного стока в летний период происходят в основном в условиях экстремально низкой водности, при этом в случае обеспеченности 99 % и выше нарушается нижняя граница диапазона колебаний естественного стока.

В территориальном разрезе наибольшему воздействию подвержен верхний приграничный участок течения Наушки – Джиды. По мере приближения к устью Селенги воздействие монгольских ГЭС будет снижаться. В нижнем течении реки (посты Мостовой и Кабанск) отклонения от естественных режимов будут наблюдаться только в зимний период. Гидрологические режимы в дельте Селенги будут определяться прежде всего регулированием уровня Байкала.

В случае регулирования стока должны быть установлены экологические требования, определяющие среднемесячные допустимые значения экологического стока на границе Российской Федерации и Монголии, в том числе минимально допустимые в летний период и максимально допустимые в зимний период. Нарушения данных ограничений оказывают наибольшее негативное воздействие на экосистемы.

По установленному экологическому стоку, с учётом складывающейся гидрологической обстановки, требований водопользователей и водопотребителей, притоков в нижнем бьефе гидроузлов для каждой из рассматриваемых ГЭС должны определяться экологические попуски для отдельных периодов.

Учёт экологических требований и принятие экологических попусков уменьшат негативное воздействие, но не смогут гарантировать сохранение экосистем в состоянии, близком к естественному. Их соблюдение является чрезвычайно сложной задачей, трудно реализуемой на практике.

При реализации проектов ГЭС в Монголии с учётом экологических требований значительно изменятся технико-экономические показатели. Появится множество дополнительных ограничений и условий регулирования, приводящих к снижению выработки электроэнергии, повышению её себестоимости, уменьшению гарантированной мощности, что может привести к невозможности выполнения требований энергосистемы Монголии при участии ГЭС в покрытии графика нагрузки.

В выполненном исследовании приведены не все возможные последствия регулирования стока. Имеется значительная доля последствий, которые в настоящее время оценить невозможно или необходимо выполнить дополнительные исследования. В этой связи следует в первую очередь рассмотреть варианты, альтернативные строительству ГЭС в Монголии.

В качестве первоочередной альтернативы могут рассматриваться поставки электроэнергии из Российской Федерации в Монголию на основе долгосрочного контракта в достаточном объёме и по тарифу, который делает импорт электроэнергии и мощности из России существенно более выгодным, чем строительство ГЭС. При этом возможны несколько вариантов:

– усиление существующего транзита ЛЭП 220 кВ Гусиноозёрская ГРЭС – Селендума-Дархан, позволяющее увеличить максимальный переток мощности до 600 МВт (в 2017 г. переток мощности составлял 70–245 МВт);

– транзит электроэнергии Саяно-Шушенской ГЭС в Монголию через Туву по ЛЭП 500 кВ.

Возможны и другие альтернативы: газификация с подключением к газопроводу «Сила Сибири», строительство ГАЭС, АЭС, модернизация энергосистемы Монголии.

Проблема развития энергосистемы является актуальной не только для самой Монголии, а также и для стран Северо-Восточной Азии. Обоснование и создание оптимальной структуры генерирующих мощностей и сетевой инфраструктуры представляется специальной задачей, учитывающей внутренние энергетические возможности Монголии и перспективы её интеграции в азиатско-тихоокеанское энергетическое пространство. Формирование межгосударственных электроэнергетических объединений стран Северо-Восточной Азии представляется актуальной задачей, решение которой будет способствовать удовлетворению потребностей этого региона в электрической энергии на взаимовыгодных условиях. Монголия, имеющая удобное пространственное расположение, энергетические ресурсы, заинтересованность в обеспечении собственного энергетического баланса, может быть активным участником такого интеграционного процесса.

С этой целью требуется разработать национальную концепцию участия Монголии в формировании межгосударственного электрического объединения (МГЭО). Представляется, что реализация концепции должна быть направлена на создание единой электроэнергетической системы страны и её интеграции в МГЭО, что позволит обеспечить электроэнергией возрастающий спрос регионов Северо-Восточной Азии, снизить неравномерность производства энергии на возобновляемых источниках, содействовать переходу монгольской энергосистемы к экспортно-импортному характеру режимов функционирования.

Список литературы

Абасов Н. В., Осипчук Е. Н. Язык описания метамоделей задач математического программирования и его применение в гидроэнергетике // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та, 2012. № 5 (64). С. 8–15.

Абасов Н. В., Чернышов М. Ю., Осипчук Е. Н. Применение технологии метамоделирования в управлении технологическими режимами ГЭС // Вестн. Бурят. гос. ун-та, 2014. № 9 (2). С. 42–53.

Базов А. В., Базова Н. В. Экологические условия залегания и распределения икры байкальского омуля на нерестилищах р. Селенги (бассейн оз. Байкал) по данным мониторинговых работ (1997–2008 гг.). Биология, биотехника разведения и состояние запасов сиговых рыб // Материалы VII Междунар. науч.-произв. совещ. Тюмень : Госрыбцентр, 2010. С. 70–74.

Вершинин Н. В. Донная фауна р. Селенга и ее рыбохозяйственное значение // Рыбное хозяйство Восточной Сибири / Тр. Сиб. отд-ния ГОСНИОРХ. Красноярск, 1964. С. 219–249.

Воронов М. Г. Эколого-биологические основы повышения эффективности воспроизводства омуля в р. Селенге в современных условиях : автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб. : ГосНИОРХ, 1993. 18 с.

Вторая оценка трансграничных рек, озер и подземных вод. ЕЭК ООН, Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер.

ECE/MP.WAT/33, 2011 [Электронный ресурс]. URL: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/assessment/Russian/ECE_Second_Assessment_Ru.pdf (23.04.2018).

Доклад «О состоянии окружающей среды бассейна озера Байкал» / А. Н. Бешенцев, С. С. Палицына, З. З. Пахахинова, А. А. Лубсанов, А. А. Аюржанаев // Аналитический обзор публикаций экологической и природоохранной тематики. Улан-Удэ : Байк. меридиан, 2015. 136 с.

Научно-аналитическое обеспечение управления водными ресурсами основных трансграничных водных объектов Российской Федерации. Отчет о научно-исследовательской работе по Государственному контракту от 26 ноября 2012 г. № 52-НИОКР/4-13-2012 базового проекта 12-фцп-У12-02 (заключительный). М. : МГУ, 2014.

Отчет Лимнологического института СО АН СССР о научно-исследовательской работе «Оценить влияние сточных вод г. Улан-Удэ и Селенгинского ЦКК на биоценотический комплекс р. Селенга». Иркутск, 1990. С. 295–340.

Плотины и развитие: новая методическая основа для принятия решений. Отчет Всемирной комиссии по плотинам. М. : Всемир. фонд дикой природы (WWF), 2009. 200 с.

Почвы дельты р. Селенги / А. Б. Гынинова, С. А. Шоба, Л. Д. Балсанова, Б. Д. Гынинова Улан-Удэ: изд-во БНЦ СО РАН, 2012. – 343 с.

Рыбохозяйственный раздел к «Технологической схеме добычи песчано-гравийной смеси речным портом Улан-Удэ ВСРП на месторождениях, расположенных в рр. Селенга и Чикой» / Новосибирский центр. Улан-Удэ, 1991. 37 с.

Современная и прогнозная оценка стока воды и наносов рек бассейна Селенги / С. Р. Чалов, М. Г. Гречушников, М. И. Варенцов, Н. С. Касимов // География и природные ресурсы, 2016, № 5. С. 39–48.

Сорокин В. И., Сорокина А. А. Воспроизводство селенгинской популяции омуля и экология ее молоди // Биологическая продуктивность пелагиали Байкала и ее изменчивость. Новосибирск : Наука, 1977. С. 141–155.

Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна р. Селенга : утв. приказом Енисейского БУ от 24 июня 2014 г., № 100 [Электронный ресурс]. URL: <http://skiovo.enbv.ru> (23.04.2018).

Убугунов Л. Л., Убугунова В. И., Корсунов В. М. Почвы пойменных экосистем Центральной Азии. Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2000. 217 с.

Хохлова Л. В. Рыбы р. Селенги // Тр. Краснояр. отд. СИБНИИРХа, 1967. Т. 9. С. 291–324.

Черняев Ж. А. Воспроизводство байкальского омуля. М. : Легкая и пищ. пром-сть, 1982. 128 с.

Экология растительности дельты реки Селенги. Новосибирск : Наука, 1981. 274 с.

Action Plan to implement "Water" National Programme. Attachment of Government resolution № 340, 2010. Ulan Bator, Mongolia.

Dams and development: a new framework for decision-making. The report of the World Commission on Dams. Earthscan Publications, London and Sterling, VA, 2000. 404 p.

Gayton D. Ground Work: Basic Concepts of Ecological Restoration in British Columbia. Southern Interior Forest Extension and Research Partnership, 2001. Vol. 3. 25 p.

In-Depth Review of Energy Efficiency Policies and Programmes: Mongolia. Energy Charter Secretariat. Brussels, Belgium, 2011. 126 p.

In-Depth Review of the Investment Climate and Market Structure in the Energy Sector of Mongolia. Energy Charter Secretariat. Brussels, Belgium, 2013. 98 p.

Integrated Water Management Plan of Mongolia // Government of Mongolia. Ministry of environment and green development. Ulaanbaatar, 2013. 340 p.

Landres P. B., Morgan P., Swanson F. J. Overview of the Use of Natural Variability Concepts in Managing Ecological Systems. Ecological Applications, 1999. Vol. 9, N 4. P. 1179–1188.

Petts G. E. Impounded rivers: perspective for ecological management. Wiley & Sons, Chichester UK, 1984. 326 p.

Smith R. D., Maltby E. Using the Ecosystem Approach to Implement the Convention on Biological Diversity: Key Issues and Case Studies. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 2003. 119 p.

“Water” National Programme. Attachment to Mongolian Parliament Resolution N 24. 20 May, 2010. Ulan Bator, Mongolia, 2010.

Assessment of the Impact of Planned Construction of Hydropower Plants in Mongolia on the Transboundary Basin of the Selenga River in the Russian Federation

I. V. Bychkov^{1,4}, V. M. Nikitin^{1,2}, N. V. Abasov², E. N. Osipchuk²,
T. V. Berezhnykh², I. I. Orlova¹, N. G. Borisova³

¹ Irkutsk Scientific Center SB RAS, Irkutsk

² Melentiev Energy Systems Institute SB RAS, Irkutsk

³ Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude

⁴ Irkutsk State University, Irkutsk

Abstract. At present preliminary development of the projects on construction of hydropower plants (HPPs) in the basin of the Selenga River in Mongolia is going on. Their realization can lead to essential changes in hydrological regime of the Selenga River basin in the Russian Federation, which will influence the state of regional ecosystems and economy. The international status of natural objects in Russia, which can be affected by realization of these projects, is an important factor. First of all, this concerns the Lake Baikal – the World natural heritage site. The study of the transboundary basin of the Selenga River comprises the analysis of hydrological characteristics of the Mongolian and Russian parts of the Selenga basin, the state of the art and prospects for development of water supply systems of Mongolia and the Russian Federation, the energy system including HPPs in Mongolia. The regulated runoff of the Selenga River is modeled for different possible operation conditions of projects of HPPs and hydraulic engineering structures (projects of Shuren HPP, Egiin Gol HPP, Orkhon-Gobi water transfer). Potential changes in hydrological characteristics in the Russian part of the Selenga basin are estimated with comparative analysis of the annual natural and regulated runoffs for individual seasons and areas under different conditions of water content (normal and extreme). Possible risks of the effect of potential HPPs are revealed. Their possible impact within the Russian Federation is estimated quantitatively and qualitatively. The estimates include the effect of HPPs on work of water users and consumers in the Russian part of the Selenga basin and the impact on ecosystems. The influence are estimated for separated and joined projects (cumulative influence). The ecological requirements are defined and the estimate of environmental flow on the border of the Russian Federation and Mongolia is validated.

Keywords: transboundary basin of the Selenga River, hydraulic facilities, water supply system, hydrological characteristics, runoff regulation, normal and extreme water content, reservoirs, natural and regulated runoff modeling, cumulative influence, water users and consumers, abiotic and biotic characteristics, ecosystem requirements, ecological runoff, risks of influence.

For citation: Bychkov I.V., Nikitin V.M., Abasov N.V., Osipchuk E.N., Berezhnykh T.V., Orlova I.I., Borisova N.G. Assessment of the Impact of Planned Construction of Hydropower Plants in Mongolia on the Transboundary Basin of the Selenga River in the Russian Federation. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2018, vol. 24, pp. 56-85. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.24.56> (in Russian)

References

Abasov N.V., Osipchuk E.N. *Yazyk opisaniya metamodelei zadach matematicheskogo programirovaniya i ego primeneniye v gidroenergetike* [A Language for Describing Meta-models of Mathematical Programming Problems and its Application in Hydropower]. *Proc. Irkutsk St. Techn. Univ.*, 2012, no. 5(64), pp. 8-15. (in Russian)

Abasov N.V., Chernyshov M.Yu., Osipchuk E.N. *Primeneniye tekhnologii metamodelirovaniya v upravlenii tekhnologicheskimi rezhimami GES* [The Use of Metamodeling Technology in the Management of Technological Regimes of Hydropower Plants]. *Bull. Buryat St. Univ.*, 2014, no. 9(2), pp. 42-53. (in Russian)

Bazov A.V., Bazova N.V. *Ekologicheskie usloviya zaleganiya i raspredeleniya ikry baikal'skogo omulya na nerestilishchakh r. Selengi (bassein oz. Baikal) po dannym monitoringovykh rabot (1997–2008 gg.)* [Ecological Conditions of Depositing and Distribution of Baikal Omul Eggs on the Spawning Grounds of the Selenga River (Lake Baikal Basin) According to Monitoring Data (1997–2008)]. *Biologiya, biotekhnika razvedeniya i sostoyaniye zapasov sigovykh ryb. Materialy VII Mezhdunar. nauch.-proizv. soveshch.* [Biology, breeding biotechnics and status of whitefishes stocks. VII Int. Meet. Tyumen', Russia]. Tyumen', Gosrybtsentr Publ., 2010, pp. 70-74. (in Russian)

Vershinin N.V. *Donnaya fauna r. Selenga i ee rybokhozyaistvennoe znachenie* [Bottom Fauna of the Selenga River and its Fishery Importance]. *Rybnoe khozyaistvo Vostochnoi Sibiri: Tr. Sib. otdeleniya GOSNIORKh* [Fisheries in East Siberia. Proc. SB GosNIORKh]. Krasnoyarsk, SB GosNIORKh Publ, 1964, pp. 219-249.

Voronov M.G. *Ekologo-biologicheskie osnovy povysheniya effektivnosti vosproizvodstva omulya v r. Selenge v sovremennykh usloviyakh* [Ecological and Biological Basis for Improving the Efficiency of Reproduction of Omul in the Selenga River in Modern Conditions: Candidate in Biology dissertation abstract]. St.-Petersburg, GosNIORKh Publ., 1993, 18 p. (in Russian)

Vtoraya otsenka transgranichnykh rek, ozer i podzemnykh vod [Second Assessment of Transboundary Rivers, Lakes and Groundwater]. UNECE, Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes. ECE/MP.WAT/33, 2011 [Electronic resource]. URL: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/assessment/Russian/ECE_Second_Assessment_Ru.pdf (23.04.2018). (in Russian)

Beshentsev A.N., Palitsyna S.S., Pakhakhinova Z.Z., Lubсанov A.A., Ayurzhanayev A.A. *Doklad "O sostoyanii okruzhayushchei sredy basseina ozera Baikal"* [On the State of the Environment of the Lake Baikal Basin. Report]. *Analiticheskii obzor publikatsii ekologicheskoi i prirodookhrannoi tematiki* [Analytical Review by Ecological and Environmental Publications]. Ulan-Ude, Baikal'skii meridian Publ., 2015, 136 p. (in Russian)

Nauchno-analiticheskoe obespecheniye upravleniya vodnymi resursami osnovnykh transgranichnykh vodnykh ob"ektov Rossiiskoi Federatsii. Otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote po Gosudarstvennomu kontraktu ot 26 noyabrya 2012 g. № 52-NIOKR/4-13-2012 bazovogo proekta 12-ftsp-U12-02 (zaklyuchitel'nyi) [Scientific and Analytical Support of Water Management of the Main Transboundary Water Bodies of the Russian Federation. Scientific Report]. Moscow, Moscow St. Univ., 2014. (in Russian)

Otchet Limnologicheskogo instituta SO AN SSSR o nauchno-issledovatel'skoi rabote «Otsenit' vliyaniye stochnykh vod g. Ulan-Ude i Selenginskogo TsKK na biotsenoticheskii kompleks r. Selenga» [Assess the Impact of Wastewater from the City of Ulan-Ude and the Selenginsk Pulp and Paper Mill on the Biocenotic Complex of the Selenga River. The Report of the Limnological Institute SB AS USSR]. Irkutsk, 1990, pp. 95-340. (in Russian)

Plotiny i razvitiye: novaya metodicheskaya osnova dlya prinyatiya reshenii. Otchet Vsemirnoi komissii po plotinam. [Dams and Development: A New Framework for Decision-Making. The Report of the World Commission on Dams]. Moscow, WWF Russia Publ., 2009, 200 p.

Gyninova A.B., Shoba S.A., Balsanova L.D., Gyninova B.D. *Pochvy del'ty r. Selengi* [Soils of the Selenga River Delta]. Ulan-Ude, BSC SB RAS Publ., 2012, 343 p. (in Russian)

Rybkhozyaistvennyi razdel k «Tekhnologicheskoi skheme dobychi peschano-graviinnoi smesi rechnym portom Ulan-Ude VSRP na mestorozhdeniyakh, raspolozhennykh v rr. Selenga i Chikoi» [Fisheries Section to the “Technological Scheme for the Extraction of Sand and Gravel by the River Port of Ulan-Ude of the East Siberian Shipping Company on the Fields Located in the Selenga and Chikoy Rivers”]. Ulan-Ude, Vostsibrybtsentr corp. doc., 1991, 37 p. (in Russian)

Chalov S.R., Grechushnikova M.G., Varentsov M.I., Kasimov N.S. *Sovremennaya i prognoznaya otsenka stoka vody i nanosov rek basseina Selengi* [Modern and Forecast Estimation of Water Flow and Sediments of Rivers of the Selenga Basin]. *Geography and Natural Resources*, 2016, no. 5, pp. 39-48. (in Russian)

Sorokin V.I., Sorokina A.A. *Vosproizvodstvo selenginskoi populyatsii omulya i ekologiya ee molodi* [Reproduction of the Selengan Omul Population and the Ecology of its Juveniles]. *Biologicheskaya produktivnost' pelagiali Baikala i ee izmenchivost'* [Biological Productivity of Lake Baikal Pelagial and its Variability]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977, pp. 141-155. (in Russian)

Skhema kompleksnogo ispol'zovaniya i okhrany vodnykh ob'ektov basseina r. Selenga Utverzhdena prikazom Eniseiskogo BVU ot 24 iyunya 2014 g., N 100 [Scheme of Integrated Use and Protection of Water Bodies of the Selenga River Basin] [Electronic resource]. URL: <http://skiovo.enbv.ru> (23.04.2018). (in Russian)

Ubugunov L.L., Ubugunova V.I., Korsunov V.M. *Pochvy poimennykh ekosistem Tsentralnoi Azii* [Soils of Floodplain Ecosystems of Central Asia]. Ulan-Ude, BSC SB RAS Publ., 2000, 217 p. (in Russian)

Khokhlova L.V. *Ryby r. Selengi* [Fishes of Selenga River]. *Trudy Krasnoyarsk. otd. SIBNIIRKha*, 1967, vol. 9, pp. 291-324. (in Russian)

Chernyaev Zh.A. *Vosproizvodstvo baikal'skogo omulya* [Reproduction of Baikal Omul]. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost Publ., 1982, 128 p. (in Russian)

Ekologiya rastitel'nosti del'ty reki Selengi [Ecology of Vegetation of the Selenga River Delta]. Novosibirsk, Nauka Publ, 1981, 274 p. (in Russian)

Action Plan to implement "Water" National Programme. Attachment of Government resolution N 340, 2010, Ulan Bator, Mongolia.

Dams and development: a new framework for decision-making. The report of the World Commission on Dams. Earthscan Publ., London and Sterling, VA, 2000, 404 p.

Gayton D. *Ground Work: Basic Concepts of Ecological Restoration in British Columbia. Southern Interior Forest Extension and Research Partnership*, 2001, vol. 3, 25 p.

In-Depth Review of Energy Efficiency Policies and Programmes: Mongolia. Energy Charter Secretariat. Brussels, Belgium, 2011, 126 p.

In-Depth Review of the Investment Climate and Market Structure in the Energy Sector of Mongolia. Energy Charter Secretariat. Brussels, Belgium, 2013, 98 p.

Integrated Water Management Plan of Mongolia. Government of Mongolia. Ministry of environment and green development. Ulaanbaatar, 2013, 340 p.

Landres P.B., Morgan P., Swanson F.J. Overview of the Use of Natural Variability Concepts in Managing Ecological Systems. *Ecological Applications*, 1999, vol. 9, no. 4, pp. 1179-1188.

Petts G.E. *Impounded rivers: perspective for ecological management*. Wiley&Sons, Chichester UK, 1984, 326 p.

Smith R.D., Maltby E. *Using the Ecosystem Approach to Implement the Convention on Biological Diversity: Key Issues and Case Studies*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK., 2003, 119 p.

"Water" National Programme. Attachment to Mongolian Parliament Resolution No. 24, 20 May, 2010, Ulan Bator, Mongolia.

Бычков Игорь Вячеславович
академик РАН, научный руководитель
Иркутский научный центр СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 134
тел.: (3952) 45–30–70
и. о. ректора
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: (3952) 52–19–00
e-mail: bychkov@icc.ru

Bychkov Igor Vyacheslavovich
Academician of RAS, Scientific Director
Irkutsk Scientific Center SB RAS
134, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: (3952) 45–30–70
Acting Rector
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
tel.: (3952) 52–19–00
e-mail: bychkov@icc.ru

Никитин Вячеслав Михайлович
доктор технических наук,
зав. лабораторией
Институт систем энергетики
им. Л. А. Мелентьева СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова,
130
тел.: (3952) 52–63–07
Иркутский научный центр СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 134
тел.: (3952) 45–30–70
e-mail: nikitin1310@mail.ru

Nikitin Vyacheslav Mikhailovich
Doctor of Sciences (Technics), Head
of Laboratory
Melentiev Energy Systems Institute SB RAS
130, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: (3952) 52–63–07
Irkutsk Scientific Center SB RAS
134, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: (3952) 45–30–70
e-mail: nikitin1310@mail.ru

Абасов Николай Викторович
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Институт систем энергетики
им. Л. А. Мелентьева СО РАН
Россия, 664033, Иркутск,
ул. Лермонтова, 130
тел.: (3952) 50–06–46 (333)
e-mail: nva@isem.irk.ru

Abasov Nikolay Viktorovich
Candidate of Sciences (Technics),
Senior Research Scientist
Melentiev Energy Systems Institute SB RAS
130, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: (3952) 50–06–46 (333)
e-mail: nva@isem.irk.ru

Осипчук Евгений Николаевич
кандидат технических наук,
научный сотрудник
Институт систем энергетики
им. Л. А. Мелентьева СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 130
тел.: (3952) 50–06–46 (333)
e-mail: eugene.os@mail.ru

Osipchuk Evgeny Nikolayevich
Candidate of Sciences (Technics),
Research Scientist
Melentiev Energy Systems Institute SB RAS
130, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: (3952) 50–06–46 (333)
e-mail: eugene.os@mail.ru

Бережных Тамара Васильевна
кандидат географических наук,
старший научный сотрудник
Институт систем энергетики
им. Л. А. Мелентьева СО РАН.

Berezhnykh Tamara Vasilyevna
Candidate of Sciences (Geography),
Senior Research Scientist
Melentiev Energy Systems Institute SB RAS
130, Lermontov st., Irkutsk, 664033,

*Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 130
тел.: (3952) 50-06-46 (443)
e-mail: berejn@isem.irk.ru*

*Russian Federation
tel.: (3952) 50-06-46 (443)
e-mail: berejn@isem.irk.ru*

*Орлова Ирина Ильинична
доктор экономических наук,
старший научный сотрудник
Иркутский научный центр СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 134
тел.: (903) 79-55-123
e-mail: maksimova.irina.il@gmail.com*

*Orlova Irina Ilinichna
Doctor of Sciences (Economics),
Senior Research Scientist
Irkutsk Scientific Center SB RAS
134, Lermontov St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: (903) 79-55-123
e-mail: maksimova.irina.il@gmail.com*

*Борисова Наталья Геннадьевна
кандидат биологических наук,
заведующий лабораторией
Институт общей и экспериментальной
экологии СО РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ,
ул. Сахьяновой, 6
тел.: (3012) 43-32-47
e-mail: nboris@list.ru*

*Borisova Natalya Gennadievna
Candidate of Science (Biology),
Head of Laboratory
Institute of General and Experimental
Biology SB RAS
6, Sakhyanova st., Ulan-Ude, 670047,
Russian Federation
tel.: (3012) 43-32-47
e-mail: nboris@list.ru*