

УДК 597.553.2:626.88.004.58

ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЫСТРИНСКОЙ МГЭС-4 НА ВОСПРОИЗВОДСТВО ЛОСОСЕЙ Р. БЫСТРАЯ

А. В. Улатов, В. Н. Леман, С. Р. Чалов*, Е. В. Есин*, А. М. Бирюков



М. н. с.; зав. лаб.; стажер-исслед., Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
683000 Петропавловск-Камчатский, Набережная, 18

Тел., факс: (415-2) 41-27-01; (415-2) 42-19-94

E-mail: leman@vniro.ru; ulatov@kamniro.ru

*Ст. н. с., Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
107140 Москва, В. Красносельская, 17

Тел., факс: (499) 264-91-87; (499) 264-81-22

E-mail: chalov@vniro.ru; esin@vniro.ru

МАЛАЯ ГЭС, РЕКА БЫСТРАЯ, РЫБОЗАЩИТНЫЕ УСТРОЙСТВА, МОЛОДЬ ЛОСОСЕЙ, ПОКАТНАЯ МИГРАЦИЯ

Проведены многолетние ихтиологические и гидрологические исследования на гидроузле Быстринской МГЭС-4. Установлено, что в водозабор попадает до 30–35% скатывающихся сеголетков. Рыбозащитное устройство (РЗУ) на входе в канал отводит обратно в реку до 45–50% сеголетков. В низконапорной турбине МГЭС-4 погибает до 8,5% сеголетков, остальная молодь без снижения жизнеспособности выносится из отводящего канала обратно в реку. Доля погибающей в Быстринском гидроузле молоди от общего количества покатников в районе МГЭС-4 составляет около 1,53%. Предложены меры, направленные на повышение эффективности РЗУ водоприемного канала, и ряд рекомендаций по модернизации водозабора МГЭС-4.

THE EFFECTS PRODUCED BY THE BYSTRINSKAYA SMALL-SIZED HYDRO POWER PLANT (MGES-4) ON SALMON REPRODUCTION IN THE BYSTRAYA RIVER

A. V. Ulatov, V. N. Leman, S. R. Chalov*, E. V. Yesin*, A. M. Birukov

Junior scientist, head of the laboratory, scientist on station, Kamchatka Research Institute of Fisheries and Oceanography
683000 Petropavlovsk-Kamchatsky, Naberezhnaya, 18

Tel., fax: (415-2) 41-27-01; (415-2) 42-19-94

E-mail: leman@vniro.ru; ulatov@kamniro.ru

*Senior scientist, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography
107140, Moscow, V. Krasnoselskaya, 17

Tel., fax: (499) 264-91-87; (499) 264-81-22

E-mail: chalov@vniro.ru; esin@vniro.ru

SMALL-SIZED HYDRO POWER PLANT, BYSTRAYA RIVER, FISH PROTECTING DEVICES, JUVENILE SALMONS, JUVENILE MIGRATION DOWN THE RIVER

Long-term ichthyological and hydrological observations were provided at the water-engineering system of the Bystrinsky small-sized hydro power plant. It has been found, that up to 30–35% of migrating salmon yearlings get inside the plant's water charge channel. The fish protecting device set at the entrance to the channel returns 45–50% of the migrants to the river. Up to 8.5% of the migrants die in the low-pressure turbine of the plant, the rest yearlings with no effects on their viability get carried out from the derivation channel back to the river. The part of juvenile migrants eliminated at the water-engineering system of the Bystrinsky plant is approximately 1.53% from the total number of juvenile salmon migrants estimated near the plant. We give some recommendations to make the work of the fish protecting device at the plant's water charge channel more efficient and to improve the water charge channel itself.

Быстринская малая ГЭС-4 (МГЭС-4) введена в эксплуатацию в 1995 году. Деривационный тип данной станции — наиболее приемлемый на лососевых нерестовых реках, т. к. не создает препятствий для миграции производителей лососей вверх по реке и, при соблюдении условий надежной рыбозащиты на водозаборе, не должен наносить ущерба молоди лососей, скатывающейся вниз по реке. Но, по причине низкого качества проектирования, к моменту ввода МГЭС-4 в строй отсутствовали

не только рыбозащитные устройства (РЗУ), но и проекты данных сооружений. До 2003 г. РЗУ на водозаборе либо отсутствовали, либо устанавливались примитивные (выполненные без проекта и биологического обоснования) временные РЗУ, которые также длительное время не выполняли рыбозащитные функции.

В соответствии с рыбохозяйственными требованиями, для исключения попадания покатной молоди рыб в деривационный канал на входе в него

должны устанавливаться эффективные РЗУ, а для исключения захода производителей в отводящий канал мГЭС-4 — специальное заградительное устройство. В соответствии со СНиПом 2.06.07-87 «Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопускные и рыбозащитные сооружения» и «Инструкцией о порядке осуществления контроля за эффективностью рыбозащитных устройств и проведения наблюдений за гибелью рыбы на водозаборных сооружениях» (утв. Приказом Госкомрыболовства РФ от 07.04.1995 № 53; согласована в Министерстве охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ 17.01.1995), нормативная эффективность отведения живой молоди рыб на РЗУ должна быть не менее 70% для молоди размером >12 мм. В данную размерную группу попадает вся молодь лососевых, сиговых и хариусовых рыб, обитающих на Камчатке. При отсутствии ущерба рыбному хозяйству именно деривационный тип ГЭС мог бы быть использован для повышения энергетического потенциала региона. Целью данной работы являются, в частности, оценка функциональной эффективности РЗУ подводящего канала мГЭС-4 и общая оценка влияния гидроузла на воспроизводство лососевых рыб.

Район работ

Быстринская мГЭС-4 расположена в Быстринском районе Камчатского края в бассейне реки Быстрой (приток р. Камчатка) и представляет собой бесплотинный речной водозаборный гидроузел. Деривационный тип ГЭС предусматривает использование естественного уклона местности для ее возведения вне основного русла реки, оставляя его свободным для прохода производителей лососей на нерестилища и покатной миграции молоди. В состав гидроузла в настоящее время входят водозабор, подводящий канал, гидроэлектростанция и водосбросная плотина, рыбозащитные сооружения (рис. 1). Водозабор — круглогодичный, по проекту без регулирования стока (нерегулируемый ка-

нал), а фактически — с зимним искусственным регулированием стока (рис. 2–6). По способу подачи воды гидроузел относится к самотечному типу.

РЗУ гидравлического действия расположено при входе в канал и выполнено в форме жалюзийных решеток, перекрывающих отбойные щиты на плавающих бонах. Устройство функционирует без рыбоотвода.

При строительстве РЗУ на подводящем канале мГЭС-4 использован проект «Рыбозащитные мероприятия на мГЭС-7 на р. Быстрой», выполненный в 1997 г. научно-производственным центром НПП «РАНД» (г. Санкт-Петербург). Согласно данным проектировщика: 1) проект «Рыбозащитные мероприятия на мГЭС-7 на р. Быстрой» прошел согласование в ЦУРЭН; 2) эксплуатация РЗУ предполагается с конца апреля по октябрь — в период отсутствия ската молоди лососей; 3) на зимний период жалюзийные щиты вынимаются из пазов и складываются на берегу; 4) в состав рыбоохранных мероприятий входят строительные работы по возведению искусственных ряжевых порогов, которые проводятся только с февраля по апрель, т. е. в период, когда нерестового хода, нереста и ската лососей на р. Быстрой не происходит.

Вместе с тем, в проекте РЗУ отсутствуют такие необходимые материалы как: 1) паспорт и биологическое обоснование выбора типа конструкции РЗУ; 2) описание принципа действия РЗУ; 3) данные по суточной и сезонной динамике водопотребления, расходам воды и уровню водосточника; 4) описание гидравлических и технических режимов работы водозабора и РЗУ; 5) проектная функциональная эффективность РЗУ. Технические характеристики Быстринской мГЭС-4 представлены в таблице 1.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для данной работы послужили результаты многолетних (2001, 2002, 2005 и 2007 гг.)

Таблица 1. Технические характеристики Быстринской мГЭС-4

Напор на плотине	10 м
Расход воды через турбину (min–max)	3,0–7,15 м ³ /с
Площадь живого сечения потока в межлопастном пространстве	0,94 м ²
Количество лопастей на рабочем колесе турбины	4 шт.
Скорость вращения рабочего колеса	300 об./мин.
Диаметр турбины	1,2 м
Диаметр ступицы рабочего колеса	0,5 м
Глубина воды в подводящем канале	2–10 м
Глубина воды в понуре ГЭС	10 м
Глубина расположения лопаток направляющего аппарата в открытой спиральной камере	9–10 м
Глубина воды в отводящем канале	2,0 м



Рис. 1. Рыбозащитное сооружение жалюзийного типа, установленное на водозаборе подводящего канала Быстринской мГЭС-4 (май 2005 г.)

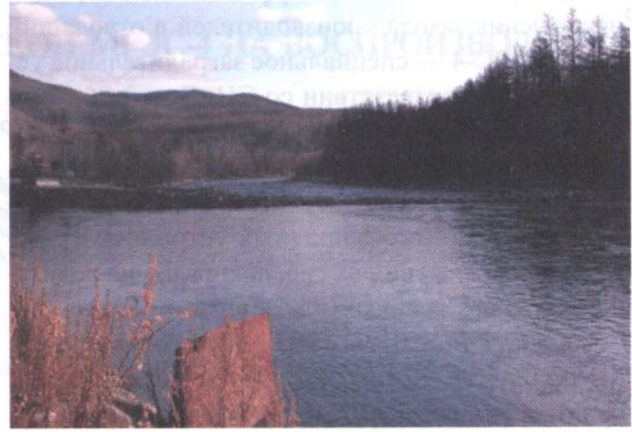


Рис. 2. Водозабор без РЗУ с отсыпанной в русло р. Быстрой временной дамбой перед входом в подводящий канал Быстринской мГЭС-4 (октябрь 2007 г.)



Рис. 3. Временная дамба в русле р. Быстрой — вид снизу, ниже водозабора Быстринской мГЭС-4 (октябрь 2007 г.)



Рис. 4. Водозабор без РЗУ в зимний период (март 2005 г.)



Рис. 5. Временная дамба в русле р. Быстрой в зимний период — вид с правого берега — напротив водозабора Быстринской мГЭС-4 (март 2006 г.)

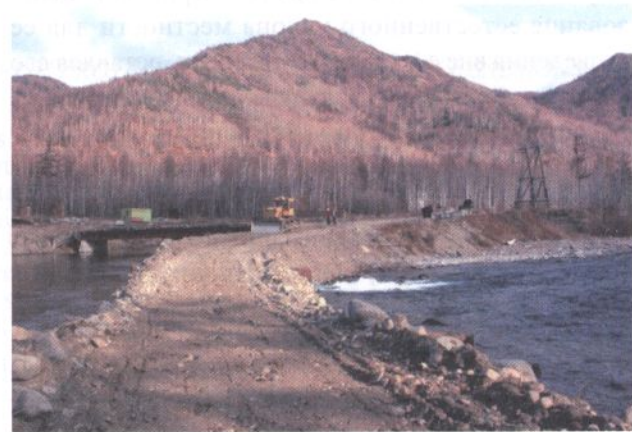


Рис. 6. Временная дамба в русле р. Быстрой — вид с дамбы на водозабор Быстринской мГЭС-4 (октябрь 2007 г.)

ихтиологических и гидрологических исследований на гидроузле Быстринской мГЭС-4. Полевые исследования включали гидрологические и ихтиологические работы в русле реки Быстрой — в зоне влияния водозабора, а также на участке реки

выше водозабора, в деривационном канале, на входе и выходе из турбинного тракта электростанции.

Гидрологические исследования на водозаборе проводились с целью описания скоростного

поля, свойств течений и построения схемы изотак в зоне влияния водозабора, РЗУ и применяемых орудий лова.

Для изучения распределения скатывающихся рыб и оценки их численности при попадании в деривационный канал был оборудован специальный створ в 100 м выше по течению от входа в канал. Поперечное распределение рыб в створе оценивали по их концентрациям в местах взятия проб, а количество рыб, попавших в деривационный канал, — по гидрологическим особенностям потока в районе водозабора мГЭС-4. Поведение и распределение рыб вблизи РЗУ и в деривационном канале оценивали визуально. В местах наибольших концентраций рыб отлавливали мальковым неводом.

Согласно Инструкции (1995), основным методом учета рыб, попадающих в водозаборы V класса (самотечные каналы с расходом воды менее $10 \text{ м}^3/\text{с}$, к каковым относится водозабор мГЭС-4), является учет ловушками в центральной части открытого магистрального канала.

Основной ихтиологический материал собран в период массовой покотной миграции, которая происходит в темное время суток при освещенности менее 1,0 люкса (Павлов и др., 1999). Для оценки функциональной эффективности РЗУ подводящего канала производилось чередование работы водозабора с РЗУ и без него. Для отбора ихтиологических проб в качестве орудия лова использовалась коническая сетная ловушка из капронового газа № 7 с площадью устья $1,21 \text{ м}^2$ (в основе металлический каркас — квадрат со стороной 110 см). Ловушка устанавливалась в подводящем канале с тыльной стороны РЗУ — в местах, где водозаборный поток наиболее выражен и имеет скорости течения 0,2–0,5 м/с.

Согласно Инструкции (1995), показателем рыбозащитной эффективности является отношение количества рыб, задержанных РЗУ, к числу рыб, попадающих в водозабор при отсутствии РЗУ, выраженное в процентах:

$$K\text{Эф} = \frac{N_2T - N_1T}{N_2T} x$$

где: N_1T — количество рыб, попавших в водозабор за расчетный период T при наличии рыбозащитного устройства;

N_2T — количество рыб, попавших в водозабор за тот же расчетный период T при отсутствии рыбозащитного устройства.

Показатель рыбозащитной эффективности определяется экспериментальным путем — на-

блюдениями за попаданием рыбы в водозабор поочередно при наличии и отсутствии РЗУ. Оценку показателей эффективности работы РЗУ проводили по серии опытов (один опыт включает в себя однократные ловы на всех выбранных створах). Количество опытов в каждой серии удовлетворяло двум условиям: 1) количество опытов не должно быть менее трех; 2) количество рыб в серии, отловленных из мест с минимальной концентрацией рыб, в сумме должно составлять не менее 50 экз. данной видовой и размерной группы. Это условие определяется выбором 95% точности определения концентрации рыб.

Исследования гибели рыб в турбинных трактах проводили в период с 17 мая по 3 июня 2002 г. В ходе проведения работ по оценке гибели молоди в турбинах использовали два метода исследований: запуск рыб в турбину в специальных контейнерах с последующим ихтиопатологическим обследованием рыб, прошедших и не прошедших через турбину; отлов рыб пассивными орудиями лова с последующей оценкой их выживаемости. Использование контейнеров при запуске через турбину позволяло оценить действие на рыб не только перепада давления, возникающего в турбинном тракте ГЭС, но и определить вероятность их механического контакта с лопастями рабочего колеса турбины.

Операцию по помещению рыб в контейнер проводили в емкости с водой. Снаряженный контейнер присоединяли к специальной оснастке и через водоприемное окно запускали в турбинный тракт по методу, разработанному сотрудниками ИПЭЭ РАН. В нижнем бьефе (отводящем канале) контейнеры всплывали. Их отлавливали, отмечали следы контакта с лопастями турбины, помещали в емкость с водой, рыб выпускали, визуально оценивали особенности их поведения, отмечали внешние травмы и затем доставляли в садок. В садке рыб выдерживали в течение 48 часов, отмечая число погибших экземпляров. Параллельно были поставлены контрольные опыты. В них рыб также помещали в контейнеры, которые выпускали в отводящий канал после турбин ГЭС. В дальнейшем контрольная процедура не отличалась от опытной, но контрольных рыб помещали в отдельный садок, установленный параллельно с опытным. В опытах отмечали смертность и характерные травмы у рыб, а также число контактов контейнеров с лопастями рабочего колеса турбины.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты гидрометрических исследований на водозаборе

1. Расход в р. Быстрой у мГЭС-4 Q_0 оценен 06.06.2005 по гидрометрическому створу в 40 м выше от входа в деривационный канал в $160,41 \text{ м}^3/\text{с}$. Минимальный расчетный расход воды (февраль) — $52,1 \text{ м}^3/\text{с}$. Среднесуточный расход воды на водозаборе $Q_{\text{вдз}}$ составляет $7,54 \text{ м}^3/\text{с}$. В светлое время суток, при одновременной работе двух гидрогенераторов, расход воды на водозаборе составляет около $10 \text{ м}^3/\text{с}$. Со снижением энергопотребления в сети (приблизительно с 02:00 до 07:00) расход воды при работе одного гидрогенератора в ночное время также снижается до $4\text{--}5 \text{ м}^3/\text{с}$. Таким образом, коэффициент водозабора $K_{\text{вдз}}$ в среднем равен $0,05$. При максимальных расходах воды $K_{\text{вдз}}$ оказывается еще ниже. В соответствии с нормативами, используемыми при проектировании бесплотинных водозаборов (Мелиорация и водное хозяйство, 1987; Курсовое и дипломное проектирование по ГТС, 1989), $K_{\text{вдз}}$ ограничивают $0,2$. Следовательно, водозабор отвечает нормативным условиям.

Подводящий самотечный канал Быстринской ГЭС берет начало от левого берега р. Быстрая (рис. 7).

Гидравлический режим участка реки непосредственно возле водозабора мГЭС-4 формируется в следующих условиях. В 200 м выше начала канала река под углом около 10° поворачивает от правого коренного берега. Русло реки значительно

расширяется: от 65 м в 50 м выше начала канала до 80 м в створе канала. В этих условиях происходит определенное отклонение струй в сторону левого берега, т. е. в сторону водозабора. Одновременно расширение русла приводит к расплыванию потока, определяющего неоднородность линий тока, и направлений вектора скорости.

Специальные гидрометрические измерения, проведенные в период половодья (т. е. период ската молоди лососевых рыб), позволили оценить поле поверхностной скорости на участке начала канала методом поплавков. Исходный створ запуска поплавков (гидрометрический створ 1) был расположен в 30 м выше начала канала и расположения РЗУ (рис. 8). Далее регистрировался путь поплавков, и фиксировалось их поступление в канал. Оказалось, что в канал поступают струи, в гидрометрическом створе 1 проходящие на расстоянии не более 15 м от левого берега. Искривление водного потока отмечается только в прибрежной зоне, где на расстоянии 10 м на мелководье водный поток заворачивает к водозабору канала. В створе начала канала ширина захвата поверхностных струй составляет около 22 м. Для оценки ширины захвата донных токов B_0 из русла шириной b_p использована формула В.А. Шаумяна (Филончиков, 1990):

$$B_0 = R(K_{\text{вдз}} + C) b_p,$$

где $R=1,65$ и $C=0,04$.

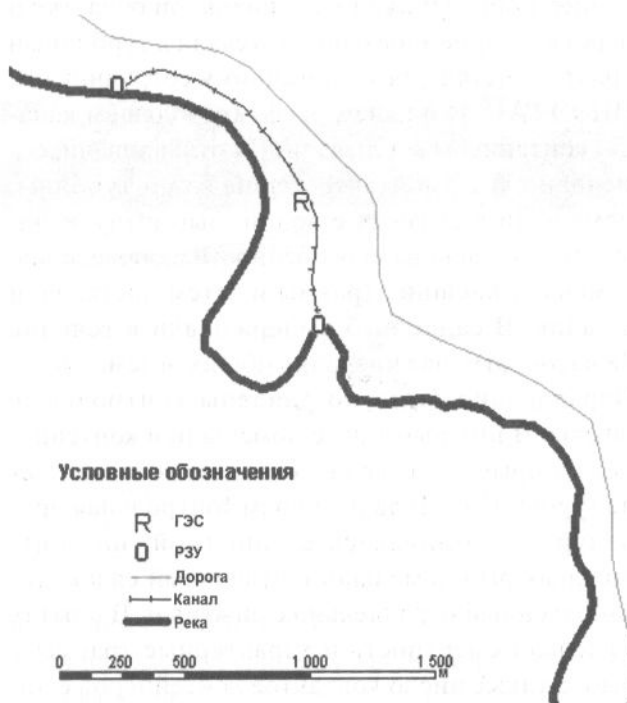


Рис. 7. План участка р. Быстрая в районе Быстринской мГЭС-4

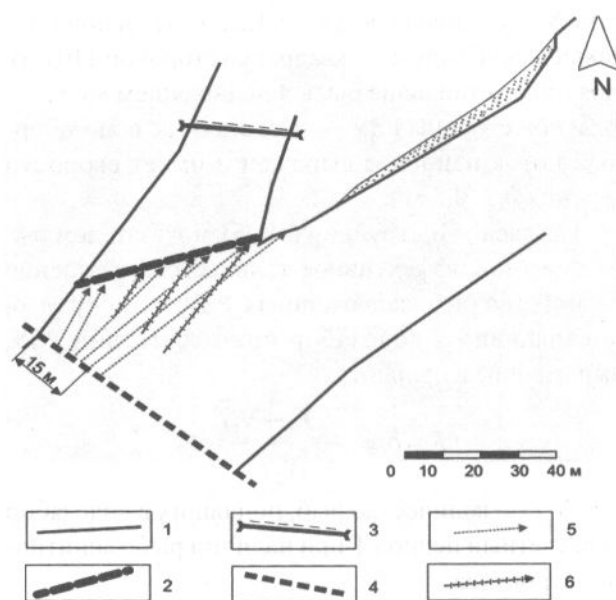


Рис. 8. План р. Быстрая в начале подводящего канала ГЭС. 1 — урез русла; 2 — РЗУ; 3 — мост; 4 — гидрометрический створ р. Быстрая; 5 — направление поверхностных струй (по измерениям 25.05.2007); 6 — направление донных струй (рассчитанное)

Учитывая, что $K_{вдз} = 0,2$, $B_0 = 30$ м. На большем удалении от левого берега направление течения совпадает с направлением русла.

Следует учесть, что такая оценка может быть заниженной, так как в ней не учитывается малый угол отвода канала от реки. В условиях бурного потока набег потока на элементы водозабора с увеличением угла отвода увеличивается, а образующиеся при этом вальцовые течения препятствуют захвату водных струй (Сатаркулов, 1960). Зона захвата течения по всей глубине русла формируется в прибрежной мелководной части русла, которая образуется непосредственно выше водозабора (рис. 9). Если средняя глубина в русле в межень 1,2–1,5 м, то здесь она составляет <1 м. Отвлечение воды в эти зоны, распластывание потока и направление струй в сторону водозабора определяет, что в верхнем створе водозабора донные струи захватываются каналом с ширины русла, превышающей 1/3 русла. Таким образом, до 30% расхода воды направляется непосредственно вдоль водозабора и проходит по линии раздела водной массы канала и реки.

Результаты ихтиологических исследований на водозаборе

В ходе работы выявлены: особенности покатной миграции молоди лососевых рыб, распределение покатной молоди в реке, причины ее попадания в деривационный канал, и дана оценка этому явлению.

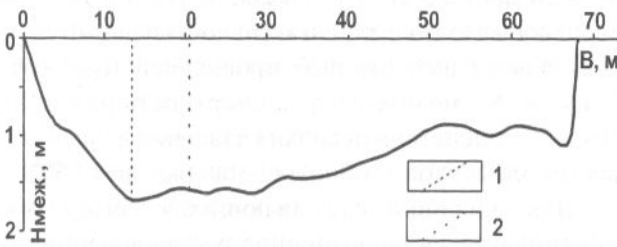


Рис. 9. Поперечный профиль р. Быстрая выше водозабора (при глубине, соответствующей меженному уровню). 1 — граница захвата поверхностных струй; 2 — граница захвата донных струй

Основными видами рыб, нерестящихся в р. Быстрая, по мере снижения их численности, в настоящее время являются: мальма (голец), нерка, кета, кижуч, чавыча, хариус, кунджа, горбуша и микижа. По данным аэровизуальных наблюдений КамчатНИРО, максимальный за последние 50 лет заход промысловых видов лососей в р. Быстрая составлял: нерки — 160–220 тыс. экз., кеты — 63–84 тыс. экз., кижуча — 30–55 тыс. экз., горбуши — 10,5–21,0 тыс. экз., чавычи — 4,1–4,8 тыс. экз. По данным Остроумова, полученным до 1983 г., общая площадь нерестилищ р. Быстрая превышает 183,5 га, из которых 118,5 га, или почти две трети, находятся выше створа мГЭС-4. В настоящее время субпопуляция лососей р. Быстрая, как и локальное стадо р. Камчатка в целом, испытывает депрессию численности. Из-за хронического дефицита производителей на нерестилищах современная рыбопродуктивность нерестилищ р. Быстрая в 8,1 раза ниже исторической.

В верхнем–среднем течении р. Быстрая основу численности покатников составляет молодь кеты. Ее доля от количества всех покатников в последние годы достигает 95%. Также катятся сеголетки мальмы (гольца), нерки, чавычи и кижуча, а также старшая молодь мальмы, кижуча и чавычи в возрасте от 1 до 3 лет (табл. 2).

Суточная динамика ската крупной молоди не выражена, сформированные пестрятки и смолты могут катиться весь день, отстаиваться на выбранных отмелях в течение нескольких дней или катиться ночью, а днем держаться в убежищах. Максимальная интенсивность покатной миграции пассивно скатывающейся молоди приходилась на самое темное время суток — с 23 до 4 часов. В этот период скатывается максимальное количество сеголетков (рис. 10). Такая тенденция отмечалась на протяжении всего времени исследований в 2002–2007 гг.

Сигнальным фактором начала ската для ранней молоди является снижение освещенности. В регионах с темными ночами (в т. ч. в бассейне р. Камчатка) у сеголетков почти всегда наблюдается четкая сумеречно-ночная ритмика миграции

Таблица 2. Разнообразие экологических групп рыб, принимающих участие в летне-осеннем скате в верхнем и среднем течении р. Быстрая

Экологические группы	Вид и возраст
Пассивно кочующие особи	Сеголетки мальмы, нерки, чавычи, кижуча
Активно-произвольно кочующие особи	Двух- и трехлетки мальмы, кижуча, чавычи и микижи
Активные смолты	Двухлетки нерки, трехлетки мальмы
Пассивно скатывающиеся катадромные покатники	Сеголетки кеты
Диадромные мигранты	Производители проходной мальмы

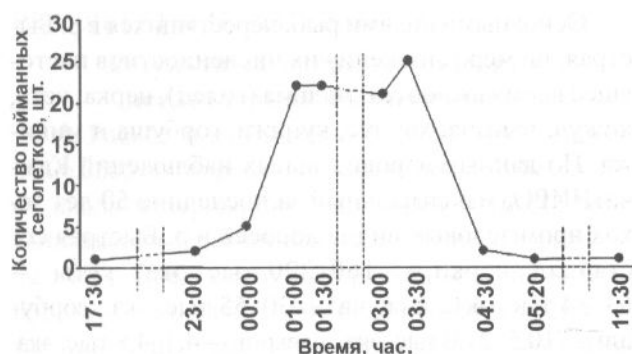


Рис. 10. Суточная динамика ската сеголетков на входе в водозабор мГЭС-4 22–23 мая 2007 г.

(Павлов, Пахоруков, 1983; Бугаев, 2007). Это связано с прекращением ориентации в пространстве, которая у ранней молоди является определяющей при удержании на участках с медленной скоростью течения. Днем в поддержании постоянного положения сеголетков, в основном, принимают участие органы зрения (Павлов и др., 1999). У старшей молоди освещенность, по-видимому, не является определяющим фактором в суточной динамике миграции, ориентация осуществляется также за счет осязания, боковой линии и лабиринта. Потеря способности ориентироваться вызывает у сеголетков исчезновение реореакции — врожденного компенсаторного движения рыб против течения. Наличие врожденной реакции препятствует сносу рыб потоком (Павлов, Пахоруков, 1983; Павлов и др., 1999). В апреле–июне, начиная с 22.00–23.00, при освещенности менее 1,0 люкса (Павлов, Пахоруков, 1983) сеголетки выносятся с отмелей на стрежень и подхватываются потоком. Скот происходит по всей толще потока, наибольшая концентрация сеголетков отмечается на стрежне. Временная активизация двигательной активности у молоди в неориентированном состоянии может происходить только при попадании в область локального возмущенного потока (Павлов и др., 1999). С наступлением рассвета у сеголетков вновь активизируется реореакция, и они начинают прижиматься к берегам; скот прекращается.

Для пассивно скатывающейся молоди тихоокеанских лососей и голецов показано, что в дневные часы в р. Быстрая большая часть рыб удерживается на прибрежных отмелях, в пойменных протоках и заводях, в убежищах с замедленной скоростью течения. Во время исследований в 2002 г. днем на стрежне р. Быстрая не было поймано ни одного экземпляра кеты, в то время как на прибрежных отмелях отмечались скопления плотностью до 100 экз. на м² дна.

В сезонном аспекте интенсивность ската, в основном, определяется гидрологическими и температурными условиями конкретного года, а также величиной подхода производителей в прошлом году. В р. Быстрая скот происходит с начала апреля по конец сентября, массовая миграция — с середины мая по середину июня (с началом подъема уровня воды и до пика весенне-летнего паводка). Пределы варьирования и средние значения длины тела сеголетков, пассивно скатывающихся через среднее течение р. Быстрая в начале мая 2005 г., приведены в таблице 3.

В период массового ската молоди по горной реке (в т. ч. по р. Быстрая) гидравлический принцип действия РЗУ жалюзийного типа определяет возможность эффективного отведения пассивно скатывающейся молоди. Вместе с тем, подводящий канал ГЭС с медленным течением является для крупных смолтов, диатромных и кочующих жилых рыб весьма привлекательным местом временного отдыха и нагула. В дневные часы в 2002, 2005 и 2007 гг. наибольшие скопления крупной и мелкой молоди отмечались с левого берега на входе в канал и на отмелях с обоих берегов перед зданием мГЭС-4. Очевидно, что некоторая часть крупной молоди, способная двигаться против течения, может самостоятельно выйти из канала в реку. Однако какая-то ее часть, мигрируя вниз по течению, попадает в турбину. Доля крупной молоди, попадающей в турбину, относительно той, которая вышла в реку через водозабор, методически трудно определима. Специально проведенные эксперименты в 2002 г. показали, что молодь, совершающая активный или активно-пассивный скот, составляет в выборке рыб, прошедшей через турбину мГЭС, не более 1%, а смертность рыб этой группы от действия перепада давления и вращающихся элементов турбины составляет до 12,5%.

Для пассивно скатывающихся сеголетков предполагается равномерное распределение по

Таблица 3. Пределы варьирования и средние значения длины тела (мм) сеголетков разных видов в уловах в подводящем канале Быстринской мГЭС-4 3–6 июня 2005 г.

Вид	Длина, мм (пределы и среднее)	№ размерной группы
Кета	32–47,7 (37,9)	4, 5
Кижуч	27–42 (35,7)	4, 5
Нерка	34,5–40,0 (38,7)	4, 5
Чавыча	32,0–41,5 (38,8)	4, 5
Мальма	25–42,0 (29,8)	4, 5

Примечание: № размерной группы соответствуют следующим интервалам длин тела: до 12 мм — 1; 12–18 мм — 2; 18–24 мм — 3; 24–30 мм — 4; >30 мм — 5

стрежневому потоку. Учитывая это, можно предположить, что в деривационный канал попадает часть рыб, соответствующая доле воды, захваченной из р. Быстрая в подводной канал. Расчет доли захвата потока из русла в канал, по состоянию на май 2007 г., показал, что водозабор захватывает струи с ширины русла, превышающей $1/3$ русла. Т. е. до 30% расхода воды попадает непосредственно в зону влияния водозабора и проходит по линии раздела водной массы канала и реки. Следовательно, около 35% пассивно скатывающейся по р. Быстрая молоди в мае–июне ночью попадает в зону влияния водозабора мГЭС-4. Здесь часть покатинок отражается от РЗУ и выносятся обратно в русло. Оставшиеся сеголетки через несовершенное рыбозаграждение попадают в подводный канал мГЭС-4, прокатываются по нему и через турбину выносятся сначала в нижний бьеф электростанции, а затем в реку. Часть сеголетков попадает ночью в турбину мГЭС-4 с отмелей подводного канала, на которых они отстаивались днем. Специально проведенные эксперименты в 2002 г. показали, что общая смертность наиболее многочисленной группы молоди рыб (сеголетков лососей длиной 28–42 мм) в турбине мГЭС-4 составляет 8,5%. В годы с многочисленным скатом погибшая молодь лососей массово наблюдалась в нижнем бьефе мГЭС-4 перед нижним рыбозаграждением.

Принцип работы гидравлических жалюзийных РЗУ

РЗУ представляет собой конструкцию из 8 сцепленных между собой металлических понтонов с настилом. В основании понтонов закреплены парные плавающие цистерны, заполненные воздухом, между которыми закреплены направляющие для 6 решеток-жалюзи. Понтоны имеют длину 5,85 м и удерживаются в сцепленном состоянии на тросе, растянутом поперек входа в подводной канал. Между понтонами имеются просветы средней шириной 20 см. Сам вход в канал (водозабор) по отношению к руслу реки направлен под углом примерно в 30° , подпорные стенки на входе с обоих берегов не укреплены (рис. 11).

Рабочим элементом РЗУ являются деревянные жалюзийные решетки, установленные посередине понтонов в направляющих на расстоянии около 1 м от внешней кромки наружной плавной цистерны (по проекту = 630 мм). Щели между соседними рамами закрыты направляющими. Высота рам жалюзийных решеток на всех понтонах колеблется от 1,2 до 1,5 м (по проекту = 1,5 м), ширина рам — 1 м. В каждой раме под углом 45°



Рис. 11. Внешний вид РЗУ подводного канала Быстринской мГЭС-4 (цифрами обозначены номера понтонов)

к линии, проведенной через внешний край понтона, закреплены по 7 досок так, что щели между соседними досками составляют около 10 см. Жалюзи имеют положительную плавучесть и на участках глубины более 50–60 см всплывают от дна на 5–50 см. В летнюю межень вблизи РЗУ крупная нерестящаяся чавыча способна свободно заходить и выходить из канала под РЗУ. В паводок, с повышением уровня воды в реке, жалюзи всплывают от дна на 1 м и выше, в результате чего незакрытая часть водозаборного сечения достигает 40–60%. В такие полноводные годы наблюдений как в 2002 г., незакрытая часть водозабора достигала 70% общей площади.

Вход в подводный канал (водозабор) по проекту должен быть ковшевого типа, с осью, направленной к потоку реки под тупым углом (135°). Фактически вход в подводный канал по отношению к руслу реки направлен под острым (не более 60°) углом. Канал должен быть оборудован двумя бетонными подпорными стенками, параллельными друг другу, объемом 550 м^3 , с кнехтами для крепления троса, высотой 3,5 м над уровнем воды. Фактически подпорные бетонные стенки отсутствуют. По проекту ось искусственного 1-го донного порога должна находиться на расстоянии 10 м от входа в канал, фактически порог отсыпан вплотную и примыкает к каналу.

Таким образом, РЗУ выполнено с отступлениями от технической проектной документации, что может влиять на эффективность работы РЗУ.

Особенности управления поведением рыб в зоне действия жалюзийного РЗУ

Особенностью поведения рыб перед жалюзийными РЗУ является то, что при низких скоростях транзитного потока в зоне влияния водозабора молодь (смолты) лососевых не держится строго про-

тив течения, а совершает поисковые перемещения и способна проходить в промежутки между пластинами жалюзийного заградителя. Вероятность такого прохода повышается по мере сужения транзитного потока при приближении к водозабору. Увеличение скорости потока вынуждает рыб более активно сохранять свое положение относительно жалюзи и снижает возможность поиска. В поведении лососевых рыб перед жалюзийным заградителем прослеживается определенная закономерность. Повышение эффективности рыбозащиты, вероятно, определяется двумя причинами: 1) усилением ориентации на поток и, соответственно, усилением реореакции и ослаблением поисковой реакции; 2) повышением визуальной плотности преграды путем увеличения частоты мельканий пластин жалюзи (цит. по Павлов, Пахоруков, 1983).

В основе рыбоотводящей функции РЗУ лежит эффект турбулизации речного потока за счет его столкновения с препятствием в виде решеток жалюзи на входе в подводный канал ГЭС. Меняются как направленность струй, так и скоростной режим. В целом, при закрытых жалюзи за счет многократного уменьшения площади поперечного сечения водозабора скорость течения отдельных струй в решетке РЗУ увеличивается, однако уже на расстоянии 0,15–0,20 м от внешней стороны РЗУ жалюзи перестают оказывать воздействие на скоростное поле речного потока. Измеренные скорости течения на внешней границе потока (рис. 12) сохраняются постоянными при открытом и закрытом понтоне. На внутренней стороне РЗУ при закрытых жалюзи восстановление потока до спокойного характера течения происходит на расстоянии около 0,5 м от понтона.

Днем во время работы обеих турбин, когда расход воды на водозаборе достигает 10 м³/с, поток в водоприемный канал засасывается под всеми понтонами. Ночью, во время массового ската сеголеток, расход на водозаборе снижается до 4–5 м³/с, и поток из реки идет в канал только через жалюзи под 3–7 понтонами, причем наиболее мощные струи со скоростями 0,45–0,80 м/с проходят под 3–4 и 7 понтонами. В районе 5 и 6 понтонов скорости течения невысокие — около 0,25–0,30 м/с. В зоне 1–2 и 8 понтонов течение почти отсутствует. Здесь образуются застойные зоны, где может отстаиваться молодь.

Теоретически, дезориентированные сеголетки в струях воды из реки, которые бьют по касательной в щиты жалюзи 3–7 понтонов, вынуждены отталкиваться от препятствия наружу в момент гидродинамического возмущения, возникающего вследствие турбулизации (завихрения) потока, когда струи сталкиваются с препятствием в виде

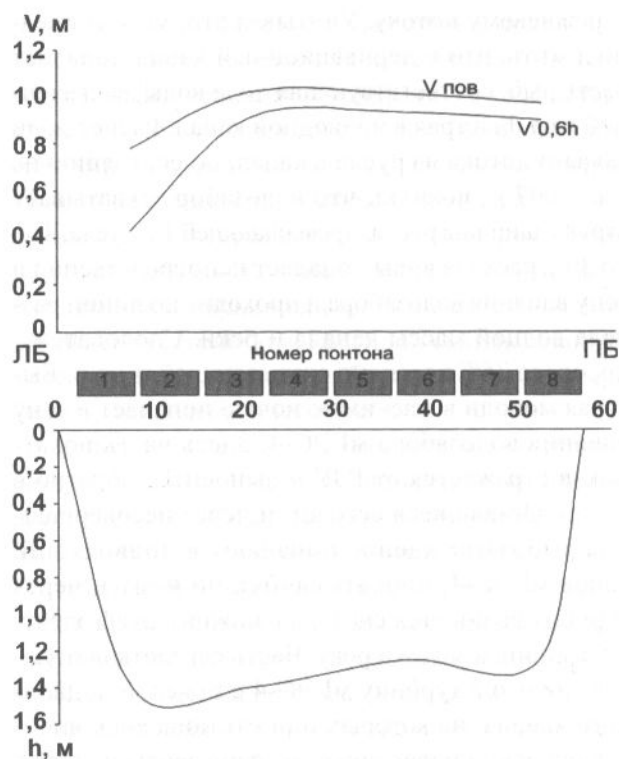


Рис. 12. Распределение скоростей течения (м/с) по внешней стороне РЗУ в поперечном профиле подводного канала по измерениям 25.05.2007 ($V_{\text{пов}}$ — поверхностная скорость; $V_{0,6h}$ — скорость течения на глубине 0,6h от поверхности воды)

внешней наклонной поверхности доски в жалюзи. Далее избегающая контакта с жалюзи рыба подхватывается струей, которая разгоняется вдоль щитов. Транзитный поток, идущий параллельно рамкам жалюзи, должен пронести рыбу вдоль всего РЗУ по его внешней стороне, а затем вынести ее в безопасную зону реки ниже водозабора.

В реальных условиях часть сеголеток подхватывается турбулизированным потоком и «всасывается» между досками жалюзи вовнутрь РЗУ. Здесь рыбу может утащить вглубь канала, или она может быть подхвачена струей, идущей параллельно щитам жалюзи в направлении, противоположном вектору движения внешней струи. Молодь, которую тащит с внутренней стороны РЗУ параллельно жалюзи, в свою очередь, может быть либо выброшена наружу через щели конструкции, либо подхвачена струями, идущими вглубь канала, либо вынесена в застойную зону на отмель за 1 и 2 понтонами. Направление движения рыбы может быть также изменено в местах локальных завихрений потока между рамками соседних жалюзи и между понтонами (рис. 13). Часть молоди беспрепятственно вносится в канал по дну под решетками или в толще потока через щели в конструкции.

В целях повышения эффективности рыбоотведения на РЗУ в 2006–2007 гг. была предпринята попытка изменения гидродинамических особенностей работы жалюзи. Для этого на внешнюю поверхность решеток были набиты листы металла, которые перекрыли вход в канал (рис. 14). Сравнение работы жалюзи без металлических листов и с ними показало, что благодаря появлению гладкой внешней поверхности отраженный поток, идущий вдоль РЗУ, вместо турбулизации ламинизируется и значительно способствует усилению эффекта «всасывания» через имеющиеся в конструкции щели и через нижний незащищенный горизонт воды под РЗУ. В результате, молодь лососей проникает через обитые металлом решетки в больших количествах, чем через решетки без металла. Об этом свидетельствуют обловы молоди непосредственно перед и за решетками обоих типов. Таким образом, результаты эксперимента показали малую эффективность модернизации конструкции жалюзи РЗУ.

Оценку фактической эффективности РЗУ подводящего канала Быстринской мГЭС-4 проводили несколькими методами. Первый метод — через результаты обловов конусной ловушкой. Для рыб 4 и 5 размерных групп (табл. 3) ловушку в соот-

ветствии с требованиями Инструкции (1995) устанавливали стационарно при скоростях течения не менее 0,4 м/с. Для получения достоверного материала рекомендовано пропускать через ловушку не менее 5% расхода водозабора. Оценку эффективности работы РЗУ проводили по серии обловов, причем количество обловов в каждой серии не должно быть меньше трех. Использованная коническая сетная ловушка с площадью устья около 1,21 м² позволяла выполнить необходимые условия. Ловушка устанавливалась в подводящем канале позади РЗУ на удалении 3,5 м от 4-го или 6-го понтона — в местах, где водозаборный поток был наиболее выражен и имел скорость течения 0,4–0,5 м/с. Ловушку поочередно устанавливали при опущенных и поднятых жалюзи. Время экспозиции каждого лова составляло 10 мин. Через ловушку пропускали более 10% расхода воды в канале. Обловы проводили всю ночь в момент активизации, пика и спада интенсивности ската. Разбор уловов осуществлялся на настилах РЗУ. Молодь в живом виде выбирали из ловушки, определяли ее видовой состав, после чего все рыбы выпускались обратно в водоём. Количество сеголетков, пойманных в ловушку в ходе проведения экспериментов в мае 2007 г., показано в таблице 4.

Оцененная таким образом эффективность рыбоотведения для РЗУ подводящего канала Быстринской мГЭС-4 составила в среднем в пик ночного ската в 2007 г.: $K_{эф} = (64 - 32) / 64 \times 100 = 50\%$ (выборка n=96 рыб). Следовательно, средняя функциональная эффективность РЗУ, рассчитанная через результаты обловов конусной ловушкой, равна 50%.

Второй метод — через результаты обловов сачком (табл. 5). Помимо использования конусной

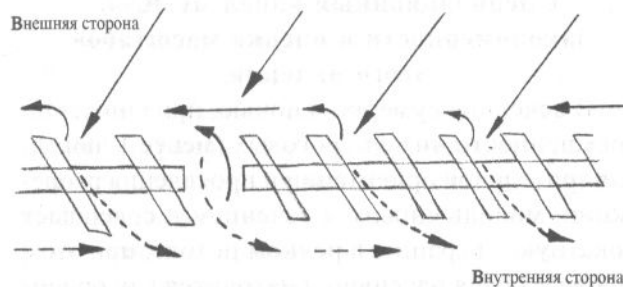


Рис. 13. Схема направления токов воды через жалюзи РЗУ (вид сверху)

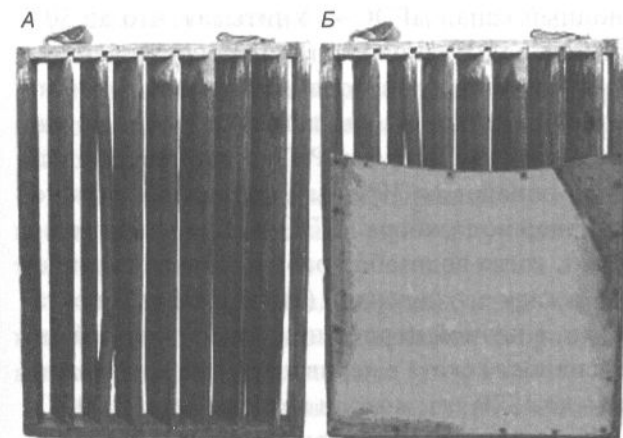


Рис. 14. Внешний вид жалюзийной решетки (А) и жалюзийной решетки с набитым на нее листом металла (Б)

Таблица 4. Величина уловов конусной ловушки (шт.) в рабочем и нерабочем состоянии РЗУ

Время учета	РЗУ	Активность ската		
		начало	пик	конец
Ночь с 22 на 23 мая	Опущенные жалюзи	1	16	1
	Поднятые жалюзи	1	26	1
Ночь с 23 на 24 мая	Опущенные жалюзи	1	5	7
	Поднятые жалюзи	2	16	8
Ночь с 24 на 25 мая	Опущенные жалюзи	0	8	6
	Поднятые жалюзи	13	23	11

Таблица 5. Величина уловов ставного сачка (шт.) снаружи и за рабочим элементом РЗУ в ночь с 24 на 25 мая

Место лова	Положение сачка	Активность ската					
		начало	пик			конец	
Между 3 и 4 понтонами (начало РЗУ)	В потоке снаружи жалюзи (река)	4	5	7	7	2	–
	В потоке за жалюзи (канал)	1	0	2	0	1	–
Между 6 и 7 понтонами (конец РЗУ)	В потоке снаружи жалюзи (река)	1	4	5	4	5	3
	В потоке за жалюзи (канал)	0	3	4	4	1	1

ловушки, в мае 2007 г. была предпринята попытка оценки эффективности рыбоотведения через результаты обловов ставным сачком с диаметром обода 0,5 м. Сачок устанавливали в поток, текущий параллельно решеткам снаружи и за жалюзи между 3 и 4 боном, и между 6 и 7 боном. Время экспозиции составляло 10 мин. С внешней стороны РЗУ сачок расправляли по направлению течения в реке, с внутренней — в обратном направлении (рис. 13). Количественные результаты обловов приведены в таблице 5.

С учетом разницы в скоростном поле непосредственно перед и за решетками, разница в коэффициентах фильтрации и уловистости сачка, установленного на одной линии снаружи и внутри РЗУ, составляет в среднем $\approx 1,5$. Между 3 и 4 понтонами РЗУ перед жалюзи транзитным потоком сносилось в среднем в 6,3 раза больше молоди, чем внутри. Т. е., с учетом коэффициента фильтрации (1,5) концентрация молоди в транзитном потоке (снаружи жалюзи) в 4,2 раза больше, чем в канале (внутри жалюзи).

Между 6 и 7 понтонами РЗУ с внешней стороны молоди скатывалось всего в 1,5 раза больше, чем изнутри. Т. е., с учетом коэффициента фильтрации (1,5) концентрация молоди в транзитном потоке (снаружи жалюзи) и в канале (внутри жалюзи) выравнивалась. Рассчитанная по аналогии с результатами лова ловушкой $K_{эф}$ для сачка составляет: $K_{эф} = (47 - 17 \times 1,5) / 47 \times 100 = 45,7\%$ (выборка $n=64$ рыбы).

Следовательно, средняя функциональная эффективность РЗУ, рассчитанная через результаты обловов сачком, равна 45,7%.

Данное значение коэффициента эффективности РЗУ также косвенно подтверждают результаты облова сачком, установленным на входе в зону влияния водозабора и в потоке в конце РЗУ на выходе в безопасную зону водотока. Обловы показали, что разница в количестве молоди, которая вносится и выносится из зоны РЗУ, находилась в пределах ошибки оценки (табл. 6).

Рассчитанная по аналогии с результатами лова ловушкой, $K_{эф}$ для сачка, установленного в транзитном потоке на 3 и 7 понтонах, составляет: $K_{эф} = (19 - 10) / 18 \times 100 = 50\%$ (выборка $n=29$ рыб).

Таблица 6. Относительная величина уловов ставного сачка (шт./мин.) на входе и выходе из зоны РЗУ

Время учета	Место лова	Активность ската		
		начало	пик	конец
Ночь с 22 на 23 мая	В начале РЗУ (3 понтон)	0	4	2
	В конце РЗУ (7 понтон)	1	4	2
Ночь с 23 на 24 мая	В начале РЗУ (2 понтон)	1	3	0
	В конце РЗУ (7 понтон)	5	6	1

Следовательно, средняя функциональная эффективность РЗУ, рассчитанная способом постановки сачка на входе в зону влияния водозабора и на выходе из неё, равна 50%.

Причины попадания молоди рыб в деривационный канал мГЭС-4, закономерности и оценка масштабов этого явления

В вечерние сумерки и ночью, при снижении освещенности ниже пороговых (менее 1 люкса) для зрительной ориентации и проявления реореакции, молодь сносится течением и совершает пократную миграцию в речном потоке, при этом она ведет себя пассивно и находится в неориентированном состоянии (Павлов и др., 1999). Такое состояние молоди и способствует ее попаданию вместе с водозаборным потоком в деривационный канал мГЭС-4. Учитывая, что до 30% расхода воды направляется непосредственно в зону влияния водозабора и проходит по линии раздела водной массы канала и реки, можно предполагать, что без РЗУ в деривационный канал попадет до 30% рыб, скатывающихся через створ водозабора мГЭС-4. Так, например, в 2002 г. когда водозабор работал фактически без РЗУ в силу его неверной (внутри канала) постановки, в ночной период при существующей интенсивности ската в деривационный канал попадало до 1500 экз. молоди кеты в сутки. В 2007 г. с работающим РЗУ в деривационный канал попадало около 500–600 экз. молоди лососей в сутки. В дальнейшем миграция попавшей в водоза-

бор молоди происходит по каналу к водоприемным окнам мГЭС и далее через турбины в отводящий канал. Днем в деривационном канале молодь рыб распределена неравномерно. Ее концентрации возрастают от входа в канал к его устью, где они максимальны, и молодь сосредоточена в застойных зонах вблизи водоприемных окон мГЭС. Ночью большая часть этой молоди оказывается в турбинном тракте мГЭС-4.

В 2002 г. основу численности покатников через турбины составляла молодь кеты. Ее доля от количества всех покатников была подавляющей — 98%. В единичных количествах встречались молодь нерки и особи гольца в возрасте от 1 до 3 лет. Максимальная интенсивность покатной миграции через ГЭС приходилась на самое темное время суток, с 23 до 2 часов. Количество покатников, скатившихся через турбины в середине мая — начале июня составило: 21 мая — 1490 экз., 22 мая — 1200 экз., 26 мая — 1380, 28 мая — 1300, 29 мая — 890, 1 июня — 600 особей.

Таким образом, в период проведения исследований в 2002–2005 гг. за сутки в водозабор мГЭС могло попадать до 1,5 тысяч молоди кеты. В 2007 г., в связи с более тщательной установкой РЗУ относительно транзитного потока, общая эффективность рыбоотведения существенно повысилась, и в водозабор попадало до 500–600 экз. в сутки. Далее происходит проход рыб через турбину — самый опасный этап их покатной миграции. Для многих мигрантов он не остается без последствий и во многом определяет их дальнейшую судьбу. У рыб, прошедших через турбину, можно наблюдать аномальное поведение, травмирование и даже гибель. Это не может не отразиться на состоянии рыбных запасов, особенно проходных видов, покатная миграция потомства которых от мест размножения к местам нагула жизненно необходима для существования популяции.

Причинами гибели и травмирования рыб при прохождении турбин ГЭС являются (Павлов и др., 1999):

- изменение давления, величина которого меняется по мере движения рыб по турбинному тракту;
- турбулентность и сдвигающие напряжения, возникающие при резком изменении скорости и направления движения потока;
- кавитация, обусловленная резким снижением давления за рабочим колесом турбины;
- механическое воздействие на рыб со стороны элементов конструкции турбины.

Результаты экспериментов по прохождению молоди лососей в контейнерах через турбину Быстринской мГЭС-4

В период с 21 по 23 мая 2002 г. произведено два запуска молоди кеты (1 = 28–42 мм) в контейнерах. В опытной партии через турбину было пропущено 62 рыбы. В контрольной партии использовано 58 рыб. В процессе запуска в опытной партии погибли 2 рыбы, а в контрольной погибших рыб обнаружено не было. Характерными повреждениями у погибших рыб были ярко выраженные травмы вследствие влияния декомпрессии: телескопия глаз (выпячивание глазных яблок из орбит) и кровоизлияние в мозговой полости черепа (что было хорошо заметно невооруженным глазом и ещё более заметно при 6-кратном увеличении под увеличительным стеклом). Живых рыб из опытной и контрольной партий выдерживали в емкостях в течение 48 часов. Мгновенная смертность оказалась равной $2/62 \times 100\% = 3,23\%$, а отсроченная составила 0%. Таким образом, общая смертность рыб с длиной тела 28–42 мм от действия перепада давления составила 3,3%.

В период с 25 по 26 мая были проведены запуски в контейнерах более крупных рыб: гольца (1 = 100–136 мм) и нерки (1 = 28–42 мм). Через турбину было пропущено 30 экземпляров, а в контроле — 22 экземпляра. После прохождения турбины все эти рыбы оказались живы. После 48 часов выдержки в опытной партии погибли 2 рыбы. Мгновенная смертность оказалась 0%, а отсроченная составила $2/30 \times 100\% = 6,7\%$. Таким образом, общая смертность рыб с длиной тела 48–136 мм от действия перепада давления составила 6,7%.

Всего через турбину прошло 92 контейнера. Из них 62 длиной 150 мм и 30 длиной 200 мм. Один контейнер (длиной 200 мм) после прохождения турбинного тракта имел характерные следы от контакта с рабочим колесом турбины (на обоих концах пенала полиуретановые пробки были наполовину выдавлены, а одна даже разорвана, крепежная проволока на пробке оказалась выгнута после удара колеса). Из этого следует, что вероятность механического контакта (травмирования) с рабочим колесом у рыб с длиной тела до 5 см равна 0,3%.

Оценку отсроченной гибели молоди в турбинах также производили методом прошедших и не прошедших через турбину с отловом рыб пассивными орудиями лова с последующей оценкой их выживаемости. В результате многочисленных опытов средний уровень отложенной смертности, по нашим данным, полученным в 2002 г., составил 35,9% от уровня мгновенной смертности.

Полученные результаты не противоречат и данным других исследователей относительно молоди лососевых рыб для поворотных-лопастных и пропеллерных турбин на гидроэлектростанциях с различным напором. Так, например, по данным иностранных исследователей (цит. по Павлов и др., 1999), анализирующих пропуск молоди лососей через поворотные-лопастные турбины типа Каплан (аналогичные установлены на Быстринской мГЭС-4), травмируется и погибает от 13 до 30% покнатников (в среднем 21,5%).

Таким образом, используемые в работе методы исследований гибели молоди кеты в турбинах Быстринской мГЭС-4 указывают на то, что совокупная мгновенная смертность молоди кеты ($l = 28-42$ мм) от баротравм (3,23%) и при механическом контакте с лопастями рабочего колеса турбины мГЭС-4 (3,0%) составляет 6,23%. При среднем уровне отложенной смертности — чуть больше одной трети (или 35,9%) от уровня мгновенной смертности. Таким образом, совокупная отложенная смертность молоди кеты ($l = 28-42$ мм) от всех видов травм составляет $6,23 \times 0,359 = 2,24\%$. Следовательно, совокупная общая смертность (мгновенная плюс отложенная; от всех видов травм) составляет $6,23\% + 2,24\% = 8,47\%$ ($\approx 8,5\%$).

Суммируя полученные результаты исследований, установили, что общая смертность наиболее многочисленной группы молоди рыб (сеголетков лососей длиной 28–42 мм), попавшей в деривационный канал Быстринской мГЭС-4, составляет 8,5%.

Гидроузел — сложный многоплановый комплекс, успешное функционирование которого связано с оптимальным выполнением ряда технологических операций на отдельных сооружениях, размещенных в условиях учета задач всего комплекса. Вывод одного из компонентов из условия устойчивой работы вызывает цепочку негативных процессов. Это отчетливо проявилось в функционировании гидроузла Быстринской мГЭС-4. В настоящее время на участке мГЭС-4 определенные сложности, и проблемы связаны с функционированием следующих технологических операций:

1. *Борьба с ледовыми образованиями в водоподводящем канале.* В период ледовых явлений происходит забивание канала шугой, а в дальнейшем — его перемерзание при низких уровнях в реке.

2. *Рыбозащита.* Гидравлический метод защиты от попадания в канал рыб требует полного учета скоростного поля потока, гидролого-морфологических характеристик русла на участке водозабора. Слабое проектное обоснование РЗУ привело к его низкой эффективности.

3. *Регулирование расхода воды, поступающей к ГЭС (водоподача).* Ограничение необходимой водоподачи в период межени связано с обсыханием нерестилищ, расположенных на участке р. Быстрой непосредственно ниже водозабора.

Анализ первых двух проблем на водозаборе показывает, что они обусловлены одними и теми же причинами, а именно — захватом водной массы в условиях расширения русла в месте входа в канал. Учитывая гидравлические причины попадания молоди рыб в канал, большой объем шуги и внутриводного льда, меры, направленные на исправление ситуации, должны содержать, в первую очередь, решения по изменению структуры скоростного поля в левобережной части русла на входе в водозабор. С другой стороны, должны быть учтены и условия водоподачи в зимний период времени, и соблюдены рыбохозяйственные требования по сохранению естественного гидрологического режима участка русла реки ниже водозабора для водоснабжения нижележащих нерестилищ.

Возможные варианты комплексного решения проблемы можно разделить на следующие направления:

– корректировка и оснащение современного водозабора дополнительными устройствами. К такому относится, например, известное в мировой практике последовательное расположение двух рядов жалюзи под названием «тандем-люверс», что в условиях высокотурбулентного потока на объектах-аналогах значительно повышало общую эффективность защиты. Вторая линия обеспечивала защиту 77% рыб, прошедших через первую линию (цит. по Павлов, Пахоруков, 1983);

– оптимизация жалюзийных экранов РЗУ в соответствии с наилучшим мировым опытом, который показывает, что оптимальный угол расположения линии жалюзи к транзитному потоку — $10-16^\circ$, но удовлетворительные результаты были получены и при угле 20° . Рекомендуется расстояние между пластинами от 2,5 до 7,6 см. При увеличении интервала между пластинами жалюзи от 5,1 до 10,2 см (как на Быстринской мГЭС-4) эффективность отведения уменьшалась на 18% — до 60% (цит. по Павлов, Пахоруков, 1983);

– в порядке эксперимента установление над РЗУ искусственных осветительных приборов. Но, к сожалению, нет четких данных об эффективности защиты молоди рыб с помощью жалюзи в зависимости от уровня освещенности. Молодь лосося в районе жалюзи обычно ориентируется головой против течения и в таком положении выносятся в рыбоотвод. При низких скоростях подводно-

го потока рыбы ведут себя свободно и проходят через пластины. Некоторое увеличение скоростей способствует эффективности жалюзи, что, вероятно, объясняется тем, что рыбы в этих условиях более активно сохраняют свое положение относительно жалюзи. Однако дальнейшее повышение скорости вызывает травмирование рыб о пластины жалюзи. Поэтому весьма важно контролировать скорость подходного потока. Необходимость контроля за скоростью подходного потока и трудности с постоянной очисткой люверсов от мусора сдерживают применение жалюзи в США и Канаде (цит. по Павлов, Пахоруков, 1983);

– регулирование русла. Среди комплекса мер, рекомендуемых для борьбы с шуговыми явлениями (Проектирование сооружений..., 1990), для условий мГЭС-4 могло бы быть устройство водозабора ковшового типа или устройство шугоотбойных шпор. Использование водоприемных ковшей гарантирует надежную защиту водозабора от шуги и донного льда. Малые скорости воды в ковше (0,15–0,05 м/с) способствуют более раннему образованию ледяного покрова. Установление ледяного покрова в ковше значительно снижает теплоотдачу в атмосферу, поэтому поступающая из реки в ковш переохлажденная вода несколько нагревается до (0–+1°C) за счет теплоты, выделяющейся в процессе внутриводной кристаллизации. Шуга, занесенная в ковш из реки, всплывает и смерзается с поверхностным льдом. Очевидным недостатком такого подхода в настоящее время является необходимость разработки нового РЗУ. Этот вариант не решает также проблему водообеспечения в зимний период и борьбы с ледовыми явлениями. Вместе с тем, в настоящее время проблемы с водообеспечением в зимний период (для борьбы с промерзанием воды в канале) решаются только путем внепроектного подъема (подпора) уровня воды в русле у водозабора: в реке насыпается подпорный порог, точнее искусственная дамба (рис. 2–6). Т. е. по сути, на нерестовой реке ежегодно каждую осень производится перестройка бесплотинного водозабора в плотинный;

– устройство шугоотбойных шпор ранее было апробировано на водозаборе Быстринской мГЭС-4. Механическое отведение стрежня потока от водозабора гарантирует его очистку от шуги. Однако в данном случае необходимы существенные изменения положения РЗУ. Также этот метод не решает проблем с ледовыми явлениями в канале;

– установить РЗУ так, чтобы со стороны его внешней напорной поверхности постоянно под-

держивалось однородное скоростное поле (без водоворотов и зон с малой скоростью движения малька);

– исключить возможность проникновения молоди рыб в водоподводящий канал под РЗУ, особенно в период весенне-летнего паводка, заглубив жалюзи или закрыв нижний горизонт водозаборного потока на входе в подводящий канал стационарными донными экранами.

Поэтому необходим комплексный проект мероприятий по регулированию водозабора Быстринской мГЭС. Таким комплексным обновленным проектным решением, на наш взгляд, может стать вариант совмещения двух линий РЗУ (тандем-люверс), строительство дополнительных шугоотбойных (струенаправляющих) дамб выше водозабора, корректирующих скоростное поле (транзитный поток) в районе водозабора, и строительство регулируемого шлюза-регулятора, расположенного в единой системе с двумя линиями РЗУ. Для того, чтобы стрежень реки не выносил молодь в зону влияния водозабора, необходимо установить струенаправляющие дамбы таким образом, чтобы создать условия, при которых скатывающаяся молодь не будет «засасываться» водозаборным потоком в подводящий канал, а будет выноситься в безопасную зону реки. Очевидно, что для этого потребуются направить стрежень реки ближе к середине русла, а векторы скорости течения направить по касательной к фронтальной плоскости РЗУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новый проект, решающий описанный комплекс проблем водозабора мГЭС-4, должен разрабатываться совместно специалистами гидрологами, гидротехниками, ихтиологами и экологами, только тогда он может стать основой для успешного функционирования всего гидроузла Быстринской мГЭС-4.

В случае невозможности повышения эффективности РЗУ жалюзийного типа на Быстринской мГЭС-4, следует рассмотреть возможность его модернизации или замены на конструкцию другого типа. В частности, предлагается обсудить возможность создания комплексного, комбинированного и многоступенчатого РЗУ путем дополнительного включения в его состав конструкций РЗУ других типов, основанных на иных принципах (направляющих) и способах (электрических и др.) защиты.

К комплексу природоохранных и технических решений Быстринской мГЭС-4, снижающих размер ущерба лососевым рыбам, можно отнести:

– отказ от плотинной ГЭС в пользу ГЭС деривационного типа;

– низконапорная ГЭС с перепадом уровней менее 10 м;

– низкоскоростная турбина пропеллерного типа;

– нижнее РЗУ, полностью перекрывающее пропускное производство производителей лососей в нижний отводящий канал;

– верхнее РЗУ жалюзийного типа.

В водозабор электростанции в период массового ската попадает не более 30–35% скатывающихся через поперечный створ реки сеголетков. Крупной молоди в канал заходит на порядок меньше, чем сеголетков, причем сформированные пестрятки и смолты составляют в речном скате не более 5%. РЗУ на входе в канал отводит обратно в реку до 45–50% сеголетков, попавших в водозабор, т. е. реально в подводящий к турбине канал попадает не более 14–18% молоди из реки. В низконапорной турбине мГЭС-4 погибает до 8,5% сеголетков, остальная молодь без снижения жизнеспособности выносится из отводящего канала обратно в реку. Таким образом, доля погибающей в Быстринском гидроузле молоди от общего количества рыб, которое прокатывается через участок р. Быстрая в районе мГЭС-4, составляет не более 1,53%.

В настоящее время, при существующем уровне эффективности РЗУ 50% и современной численности покатников, гибель молоди лососевых рыб при скате через Быстринской гидроузла составляет около 45–50 сеголетков лососей в сутки.

Несмотря на сравнительно небольшой процент единовременной гибели молоди при скате через гидроузла мГЭС-4, необходимо принимать меры, направленные на повышение эффективности работы РЗУ водоприемного канала. С этой целью предлагается учесть ряд рекомендаций по модернизации РЗУ без изменения принципов его работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бугаев В.Ф. 2007. Рыбы бассейна р. Камчатки. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 187 с.

География, общество и окружающая среда. 2004. Том VI. Динамика и взаимодействия атмосферы и гидросферы / Отв. ред.: А.М. Берлянт, Ю.Ф. Книжников. М.: Городец, 624 с.

Государственный водный кадастр. 1987. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Том 1. Вып. 18. Бассейны рек Камчатской области. Л.: Гидрометеиздат, 368 с.

Инструкция «О порядке осуществления контроля за эффективностью рыбозащитных устройств (РЗУ) и проведения наблюдений за гибелью рыбы на водозаборных сооружениях». 1995. (Утверждена Приказом Председателя Комитета РФ по рыболовству от 07.04.1995 № 53; согласована в Министерстве охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ 17.01.1995). М.: ВНИЭРХ, 20 с.

Карпенко В.И. 1998. Ранний морской период жизни тихоокеанских лососей. М.: ВНИРО, 165 с.

Кузищин К.В., Павлов Д.С., Савваитова К.А., Груздева М.А., Пустовит О.П. 2001. Покатная миграция молоди проходной камчатской микижи *Parasalmo mykiss* в реках Западной Камчатки // Вопр. ихтиологии. Т. 41. № 2. С. 220–231.

Кузищин К.В., Пустовит О.П., Павлов Д.С., Савваитова К.А. 2002. Морфобиологические особенности покатной молоди микижи *Parasalmo mykiss* из некоторых рек Западной Камчатки в связи со смолтификацией // Вопр. ихтиологии. Т. 42. № 6. С. 751–762.

Курсовое и дипломное проектирование по гидротехническим сооружениям. 1989. Под ред. В.С. Лапшенкова. М. Агропромиздат, 448 с.

Мелиорация и водное хозяйство. 1987. Справочник. Том 4. Сооружения / Под ред. П.А. Полад-Заде. М.: Агропромиздат, 464 с.

Павлов Д.С., Пахоруков А.М. 1983. Биологические основы защиты рыб от попадания в водозаборные сооружения. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 264 с.

Павлов Д.С., Лупандин А.И., Костин В.В. 1999. Покатная миграция рыб через плотины ГЭС. М.: Наука, 255 с.

Проектирование сооружений для забора поверхностных вод. 1990. Справочное пособие к СНиП. М.: Стройиздат, 183 с.

Павлов Д.С., Маслова Е.А. 2006. Покатная миграция и питание молоди кижуча *Oncorhynchus kisutch* в северной части ареала на Камчатке // Изв. РАН. Сер. биол. № 3. С. 314–326.

Сатаркулов С.С. 1960. К вопросу выбора угла отвода при бесплотинном гидроузле // Изв. АН Кирг. ССР. Т. 2. Вып. 4. Фрунзе. С. 48–55.

Филончиков А.В. 1990. Проектирование автоматизированных водозаборных узлов на горных реках. Фрунзе: Киргизстан, 371 с.