



**Издатель**

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»  
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

**ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ**

<http://ecopri.ru>

**Т. 5. № 4 (20). Октябрь, 2016**

**Главный редактор**

А. В. Коросов

**Редакционный совет**

В. Н. Большаков  
А. В. Воронин  
Э. В. Ивантер  
Н. Н. Немова  
Г. С. Розенберг  
А. Ф. Титов

**Редакционная коллегия**

Г. С. Антипина  
В.В. Вапиров  
А. Е. Веселов  
Т. О. Волкова  
Е. П. Иешко  
В. А. Илюха  
Н. М. Калинкина  
J. P. Kurhinen  
А. М. Макаров  
А. Ю. Мейгал  
J. B. Jakovlev

**Службы поддержки**

А. Г. Марахтанов  
Е. В. Голубев  
С. Л. Смирнова  
Н. Д. Чернышева  
М.Л. Киреева

**ISSN 2304-6465**

**Адрес редакции**

185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, ул.Анохина, 20. Каб. 208

E-mail: [ecopri@psu.karelia.ru](mailto:ecopri@psu.karelia.ru)

<http://ecopri.ru>





# ВРЕД ВОДНЫМ БИОЛОГИЧЕСКИМ РЕСУРСАМ ВОДОХРАНИЛИЩ ВОЛЖСКО-КАМСКОГО КАСКАДА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

**ЛОГИНОВ**  
Владимир Владимирович

*Нижегородское отделение Государственного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства им. Л. С. Берга, loginovv69@mail.ru*

**ГЕЛАШВИЛИ**  
Давид Бежанович

*Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, ecology@bio.unn.ru*

## Ключевые слова:

водные биологические ресурсы  
Волжско-Камский каскад водохранилищ  
гидроэлектростанция  
вред биоресурсам

**Аннотация:** Строительство гидросооружений на реках неблагоприятно сказывается на рыбном хозяйстве, нарушая условия естественного воспроизводства рыб. Все гидроэлектростанции наносят вред водным биологическим ресурсам (ВБР), в особенности рыбному населению. Не являются исключением и гидротехнические сооружения Волжско-Камского каскада водохранилищ. Поэтому актуальность исследований воздействий гидроэлектростанций и других гидротехнических сооружений на водные биологические ресурсы равнинных водохранилищ, и в особенности водохранилищ Волжско-Камского каскада, не вызывает сомнений. Целью настоящей работы является анализ вреда водным биологическим ресурсам от каскада ГЭС преимущественно Волжско-Камского каскада на основании литературных данных и натурных исследований.

© Петрозаводский государственный университет

**Рецензент:** М. А. Скоробогатов

**Получена:** 14 декабря 2015 года

**Подписана к печати:** 29 июня 2016 года

## Введение

Создание гидросооружений, в частности гидроэлектростанций, сопровождается изменениями во всех звеньях речной экосистемы. Особенностью новой структуры водоемов является образование водохранилищ и изменение гидрологического режима. При скате через турбины ГЭС водных биологических ресурсов (ВБР), включающих кормовых беспозвоночных и рыб, наносится им вред. ВБР подвергаются механическому воздействию (столкновение с проточными элементами конструкции) (Павлов и др., 1999; Bell, 1990), влиянию перепадов давления (Цветков и др., 1972; Захарченко, 2004; Calderwood, 1945), кавитации (Muir, 1959; Cramer, Oligher, 1964), воздействию турбу-

лентности и сдвигающих напряжений (Muir, 1959; Cada, 1990; Cramer, Oligher, 1964), возникающих при резком изменении скорости и направления движения потока. Гибель и степень повреждаемости ВБР зависят от типа турбины, высоты напора, скорости вращения рабочего колеса, величины перепада давления в турбине, величины зазора между направляющими лопастями и лопастями рабочего колеса (Ахметшин, 2006). Из всего этого круга проблем наше внимание в статье акцентируется на последствиях воздействия пропуска ВБР через турбины ГЭС.

Такое положение сложилось в связи с недостаточным вниманием при проектировании ГЭС к вопросам охраны окружающей среды в XX в. В последующем, по мере нако-

пления материала о негативном влиянии ГЭС на ВБР, совершенствовалась и нормативная база в плане охраны водных объектов от возрастающего антропогенного воздействия. Кратко рассмотрим важнейшие нормативно-правовые документы.

В Федеральном законе РФ от 20 декабря 2004 г. № 166-ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» (глава 1, стр. 1) используется понятие «водные биологические ресурсы» – рыбы, водные беспозвоночные, водные млекопитающие, водоросли, другие водные животные и растения, находящиеся в состоянии естественной свободы. Мероприятия по сохранению естественного воспроизводства рыбных запасов и снижению негативных воздействий на ВБР при эксплуатации гидроузлов (ГУ) ГЭС должны выполняться по следующим направлениям: 1) соблюдение требований Водного кодекса РФ; 2) уменьшение количества взвешенных веществ при эксплуатации ГЭС; 3) исчисление размера вреда, причиненного ВБР, должно производиться в соответствии с Методикой исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам» (приказ Федерального агентства по рыболовству от 25 ноября 2011 г. № 1166).

Требования по охране водной среды от загрязнения регламентируются статьями 55, 56, 60, 61, 62, 65 Водного кодекса РФ от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ (с изменениями от 4 декабря 2006 г.; 19 июня 2007 г.; 23 июля 2008 г.; 27 декабря 2009 г.).

В целях выполнения требований статей 61 и 62 Водного кодекса РФ, для предотвращения попадания рыб в турбины ГЭС, последние должны быть оснащены рыбозащитными сооружениями в соответствии с требованиями СНиП 2.06.07-87 «Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения».

В соответствии с пунктом 4.28 СНиП 2.06.07-87, проектирование рыбозащитных сооружений необходимо производить на основе рыбоводно-биологических обоснований с выполнением соответствующих ихтиологических изысканий, в которых должны быть определены: 1) видовой и размерный состав с указанием минимального размера защищаемых рыб; 2) период ската и миграции рыб; 3) вертикальное и горизонтальное распределение рыб; 4) места расположения нерестилищ и зимовальных ям; 5) сносящая скорость течения для молоди защищаемых

рыб. Все эти сведения можно получить только на основе данных мониторинга рыбных запасов после формирования водохранилищ (Введенский, 2009, 2011, 2012; Павлов, Skorobogatov, 2014; Розенберг, 2009; Рыбохозяйственные проблемы..., 2010; Шашуловский и др., 2012).

Целесообразно проводить натурные исследования по «Методике проведения исследований прохода рыб через турбины ГЭС», предложенной Институтом проблем экологии и эволюции РАН, как наиболее полно отражающей все вопросы воздействия ГЭС на водные биологические ресурсы и методические подходы к оценке этого воздействия. Согласно И. А. Евланову и Г. С. Розенбергу (2010), «на повестке дня стоит один важный вопрос: оценка ущерба водным биологическим ресурсам от работы ГЭС в современных условиях».

Масштабы гидротехнического строительства в XX в. привели к тому, что более 70 % основных речных систем в России подверглись регулированию или фрагментации (Ахметшин, 2006). Наиболее важным аспектам эколого-поведенческого анализа и пространственно-временной структуры распределения покатной молоди рыб (их суточной динамике, горизонтальному и вертикальному распределению) на верхней и нижней Волге посвящено много работ отечественных исследователей (Чугунов, 1928; Благовидов, 1941; Танасийчук, 1950; Васнецов, 1953; Тарвердиева, 1958; Коблицкая, 1958, 1962; Павлов и др., 1977; Павлов, 1966, 1970, 1979; Павлов и др., 1981; Павлов и др., 1982; Павлов и др., 1985; Павлов и др., 1989; Жидовинов, 1985; Дегтярёва, 1991; Павлов и др., 1991а, б; Павлов и др., 1999; Костюрин, 2000; Фомичев, 2001; Павлов и др., 2005; Павлов и др., 2007 и др.). Несомненно, их труд внес заметный вклад в разработку мероприятий и мер по сохранению ВБР от воздействий ГЭС Волжско-Камского каскада равнинных водохранилищ.

### **Аналитический обзор**

Волжско-Камский каскад (ВКК) состоит из 11 крупных ГУ (рис. 1) комплексного назначения с общей мощностью 11300 МВт с водохранилищами общей площадью 25 тыс. км<sup>2</sup> и объемом 186 км<sup>3</sup>, два из которых – Чебоксарское и Нижнекамское – работают на непроецированных отметках. Водоохранилища Куйбышевское (58 км<sup>3</sup>) и Рыбинское (25 км<sup>3</sup>), входящие в ВКК, занесены в реестр крупнейших водохранилищ мира (Исаев, Карпова, 1989). Площади водохранилищ

ВКК существенно (в 5–10 раз) различаются между собой (Вуглинский, 1991) (табл. 1). Гидротехнические сооружения (ГТС) ВКК были построены в 30–80-е годы XX столетия. На реке Волге построено 7 ГУ: Ивановский,

Угличский, Рыбинский, Нижегородский, Чебоксарский, Жигулевский, Саратовский, Волжский. На реке Кама – 3 ГУ: Камский, Воткинский, Нижнекамский.



Рис. 1. Волжско-Камский каскад гидроэлектростанций  
Fig. 1. Volzhsko-Kamsky cascade of hydro power plants

Таблица 1. Краткие характеристики водохранилищ Волжско-Камского каскада (Исаев, Карпова, 1989; Вуглинский, 1991)

Водохранилище		Волгоградское	Воткинское	Горьковское	Ивановское	Камское	Куйбышевское	Нижнекамское	Рыбинское	Саратовское	Чебоксарское	Угличское
Река		Волга	Кама	Волга	Волга	Кама	Волга	Кама	Волга	Волга	Волга	Волга
Подпор высота плотины, м		27	23	17	14	21	29	15	18	15	15	27
Объём водохранилища, км <sup>3</sup>	полный	31.45	9.36	8.82	1.12	12.2	58	12.9	25.42	12.9	12.6	1.24
	полезный	8.25	3.7	2.78	0.08	9.2	34.6	4.36	16.67	1.75	5.7	0.8
Площадь зеркала, км <sup>2</sup>		3117	1120	1610	327	1915	6250	2580	4550	1831	2214	249
T <sub>y</sub> лет*		0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.8	0.1	0.1	0.1
Элемент водообмена, км <sup>2</sup> /год	приток	237.2	53.7	46.6	9.2	52.8	235.7	87.7	30.1	231	109.5	11
	осадки	1.2	0.6	1	0.2	0.9	2.7	0.6	2.1	0.8	1.2	0.1
Максимальная глубина, м		40	28	22	18	30	32	25	30.4	30	20	23
Площадь мелководий глубиной до 2 м, тыс. га		56.5	15.9	36.8	15.6	40	103.5	55	95	33.9	–	8.9
Промысловая рыбопродуктивность	кг/га	14.4	4.7	3	41821	1.7	40	–	7.3	10	0.5	5.2
	год	1986	1986	1987	1989	1989	1989	–	1987	1987	1983	1987

Примечание: \*T<sub>y</sub>, лет – показатель времени, в течение которого происходит полная смена водных ресурсов (по: Вуглинский, 1991).

Создание Волжско-Камского каскада гидроэлектростанций, высокая антропогенная нагрузка, загрязнение окружающей среды оказали существенное негативное воздействие на водные биоресурсы и экосистемы Волги. В настоящее время Поволжье относится к экологически неблагоприятным территориям.

Ежегодно в бассейн сбрасывается до 20 % всех сточных вод России. На территории Волжского бассейна находится 129 гидротехнических сооружений 1–3-го класса опасности, наибольшее их количество сосредоточено на территории Нижегородской области – 33 (Сборник..., 2015). Следует отметить, что уловы рыбы из ВКК водохранилищ в начале 1990-х гг. не превышали 20–30 % проектируемых значений. Хотя считалось (Авакян, Асарин, 1998), что водохранилища способны продуцировать ихтиомассу в объемах, соизмеримых с продукцией естественных водоемов, и даже превышать ее.

По нашему мнению, можно выделить 4 основных направления изучения комплексной оценки отрицательного воздействия (вреда) ГЭС на водные биоресурсы и экосистемы водохранилищ: 1) оценка вреда от воздействия гидротурбин на планктонные организмы; 2) оценка вреда от воздействия водного потока и кавитации от гидротурбин на ихтиофауну в проточных каналах и водосбросах плотины; 3) негативное влияние водосбросов; 4) воздействие попусков в нижнем бьефе.

#### **Оценка вреда от воздействия гидротурбин на планктонные организмы**

В многочисленных работах отмечается, что водопропуск через плотины ГЭС приводит к обеднению животного и растительного планктона (Луферова, 1960; Примаиченко, 1966; Сорокин, 1990; Цееб, 1980; Аксенова, 1969). С самого начала открытия этой закономерности ее связывали с влиянием плотин. При этом одни исследователи (Зенин, 1961) считали обеднение планктона результатом разбавления его бедным планктоном глубинных слоев воды, что согласуется с установленным фактом равномерного сброса воды со всех горизонтов водохранилища через плотину (Филатова, 1964). Другие же авторы (Примаиченко, 1966) объясняли снижение биомассы фитопланктона на речном участке за плотиной гибелью озерных форм, которые не могут развиваться в условиях большой прозрачности. В то же время появились работы, в которых бедность планктона ниже плотины

объяснялась механическим воздействием турбин ГЭС (Луферова, 1960). Те же выводы следуют из более поздних работ гидробиологов (Сорокин, 1990), изучавших биоту приплотинных участков водохранилищ. Подобные выводы об отрицательном воздействии турбин ГЭС на планктонные организмы согласуются с работами зарубежных авторов (Cada, 1997; Ginn, 1978; Lucas, 1962).

В конце XX – начале XXI в. появились работы, в которых была сделана количественная оценка смертности планктонных организмов, вызванной их разрушением при пропуске водных масс через турбины ГЭС (Постоев и др., 2003; Сорокин, 1990; Ахметшин, 2006). Авторы считают, что гибель зоопланктона от данного воздействия может составлять от 75 до 90 %.

Необходимо отметить, что не все исследователи разделяют точку зрения о массовой гибели планктона в нижнем бьефе ГЭС, обусловленной зоной кавитации в гидротурбинах. Так, В. Н. Михеев и А. И. Лупандин (Экспертное заключение..., 1995) указывают, что существование зоны кавитации в гидротурбинах не может рассматриваться причиной массовой гибели планктона в условиях реки. Гибель планктона, в первую очередь зоопланктона при переходе «озеро → река», хорошо известный факт. Главной причиной гибели озерного зоопланктона в системе «эстуарий → река» является повышение скорости течения и турбулизация потока: критическая, для выживания зоопланктона, скорость течения составляет 0.3 м/с (Экспертное заключение..., 1995).

Учитывая, что массовая гибель озерного планктона в вытекающих из озер реках происходит постоянно и не вызывает пагубных последствий, можно без сомнения утверждать, что отмирающий планктон не может рассматриваться как фактор, нарушающий нормальное функционирование экосистемы. В. Н. Михеев и А. И. Лупандин полагают также, что гибнущий планктон может изменять естественную концентрацию неживого органического вещества незначительно (на несколько процентов), но не может сколь-нибудь заметно нарушить экологический баланс в нижнем бьефе плотины (Экспертное заключение..., 1995).

Таким образом, многими исследователями подтвержден факт гибели гидробионтов под влиянием ГЭС, но в трактовке причин их гибели нет однозначного мнения. Одни исследователи считают, что причиной наблюдаемого снижения численности планктонных организмов в нижнем бьефе

плотины ГЭС является гибель планктонных организмов в гидротурбинах и водосбросах. Другие первопричиной гибели считают резкое изменение экологических условий, заключающееся в том, что лимнофильная фауна попадает из озерных условий верхнего бьефа в речные условия нижнего бьефа (Биологическое обоснование..., 2011). Считается, что по этой причине факт гибели от влияния ГЭС не имеет под собой основы для количественной оценки влияния ГЭС, что наглядно подтверждается следующим высказыванием: «Выдвигаемая некоторыми авторами идея необходимости защиты зоопланктона в турбинах ГЭС не имеет под собой значимой практической основы ни с точки зрения экологии, ни с точки зрения рыбного хозяйства» (Биологическое обоснование..., 2011).

Исходя из изложенного выше следует признать, что на современном этапе нет однозначно устоявшегося мнения о причинах снижения численности планктонных организмов в нижнем бьефе плотин ГЭС. Нужны дальнейшие целенаправленные исследования по данному вопросу. Следует также учитывать, что практически нет достаточно веских доказательств гибели планктона в гидротурбинах ГЭС. Поэтому оценка негативного воздействия работы ГЭС ВКК более корректно может быть определена по гибели рыб в гидротурбинах и водосбросах. Рассмотрим это более подробно.

#### **Оценка вреда от воздействия водного потока и кавитации от гидротурбин на ихтиофауну в проточных каналах и водосбросах плотины**

Первые публикации по данному вопросу относятся к 50-м гг. XX в. Наблюдая за формированием рыбных ресурсов в период наполнения Цимлянского водохранилища, Н. И. Сыроватская в своей публикации (Сыроватская, 1953) отмечает, что в больших размерах наблюдается вынос рыбы из водохранилища течением через плотину. Автор объясняет это явление тем, что, перемещаясь по водохранилищу в целях питания, рыба подходит в район плотины и, попадая в струю, выносится течением в турбины электростанции и камеры шлюзов. Значительный процент рыбы при этом травмируется.

Данные литературы показывают, что скорость течения является решающим фактором при попадании представителей ихтиофауны в водозабор ГЭС, причем величина так называемой критической скорости,

при которой рыба оказывается неспособной сопротивляться течению, зависит от ее линейных размеров и освещенности: в ночное время сопротивляемость течению ослабевает, а с увеличением размеров – возрастает (Павлов, Пахоруков, 1983; Павлов и др., 1999; Постоев, 2003; Экологические требования..., 1994; Bell, 1990; Northcote, 1978). Вследствие вышеперечисленных причин молодь чаще, чем взрослые особи, выносятся через турбины в нижний бьеф. Кроме того, питаясь на ранних стадиях исключительно зоопланктоном (Цееб, 1980) и находясь в толще воды, молодь попадает в зоны действия водозабора.

Создание водохранилищ резко изменило режим течений во внутренних водоемах, нарушив тем самым веками сложившиеся экологические связи, а следовательно, и условия для миграций, в том числе и покатных рыб. Так, Павловым и Скоробогатовым (2014) обобщен и проанализирован большой материал по биологическим и гидравлическим основам обеспечения миграций рыб в реках России в условиях зарегулирования и изъятия стока.

Явление покатной миграции рыб из водоемов хорошо известно и неоднократно описано в литературе. Оно иногда обозначается терминами снос (*drift*), вынос (*escape*), которые как бы подчеркивают случайный или вынужденный характер движения рыб (Cada, 1990; Cada et al., 1997). Однако это не так, любые массовые перемещения рыб по течению представляют собой покатные миграции независимо от того, каким путем возникают эти течения – естественным или искусственным. Движение рыб с потоком воды из озера и водохранилища, по существу, одно и то же явление. Вот почему так называемый снос или вынос рыб из водохранилища через плотину представляет собой, как правило, не что иное, как покатную миграцию рыб в измененных гидробиологических условиях (Павлов и др., 1982).

В России и других странах бывшего СССР такие миграции описаны для 29 водохранилищ (Павлов и др., 1999). За рубежом этот вопрос также рассмотрен в ряде публикаций (Hamilton, Roy, 1955; Clay, 1961, 1995; Elder, 1965; Durkin et al., 1970; Ebel, 1975; Haddingh, 1978, 1979; Pavlov et al., 1987; Ickes et al., 2001; Marmulla, 2001 и др.). Особое внимание зарубежными исследователями, в отличие от отечественных, было уделено покатной миграции проходных лососевых рыб, их травмированию и гибели при прохождении турбин (Cada et al., 1997;

Clay, 1961, 1995; Ickes et al., 2001; Williams, 2008 и др.). Оценивая в целом изученность покатной миграции рыб из водохранилищ, отметим, что в большинстве работ только констатируется это явление и отмечаются его возможные негативные последствия для рыб. Как правило, такие работы основаны на эпизодических наблюдениях. Исследований, носящих систематический и тем более круглогодичный характер, что необходимо для понимания закономерностей этого явления, очень немного. В основном публикации имеют прикладную – природоохранную или рыбохозяйственную – направленность. Крайне невелика доля фундаментальных исследований, в которых рассматриваются закономерности, причины и механизмы этого явления.

Исследованиями ската молоди рыб из водохранилищ верхней Волги, Камы, водохранилища Капчагайской ГЭС (р. Или) занимались в основном в Институте эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова РАН (Павлов и др., 1981, 1985). Первые исследования по данному вопросу были выполнены в августе 1978 г. на трех водохранилищах ВКК (Иваньков-

ском, Угличском и Рыбинском), сооруженных на р. Волге (Павлов и др., 1981). Плотины исследуемых водохранилищ относятся к классу низконапорных: на Ивановской и Угличской плотинах перепад уровня между верхним и нижним бьефами составляет 10–12 м, а на Рыбинской – 17–20 м. На Ивановской и Рыбинской плотинах исследовался скат молоди через турбины ГЭС (придонный водозабор), а на Угличской – через судходные шлюзы (придонный водозабор). Отлов молоди осуществлялся на первых двух плотинах пассивными орудиями лова (конусная сеть с входным отверстием 0.2 м<sup>2</sup>), устанавливаемыми в потоке на трех горизонтах глубин на расстоянии 150–200 м от плотины. Под Угличской плотинной применялись активные ловы той же сетью – траления с мотолодки. Размеры скатывающейся молоди не превышали 80 мм. Наиболее интенсивным был скат молоди из Рыбинского водохранилища. Данные натурных исследований, приведенные в табл. 2, не подтверждают мнение о благополучном скате молоди через низконапорные плотины (Володин, 1958).

Таблица 2. Состояние покатной молоди рыб в нижнем бьефе Ивановской, Угличской и Рыбинской плотин в 1958 г. (Володин, 1958)

Плотина	Дата лова	Время лова	Число ловов	Горизонт лова			Число рыб
				поверхность	толща	дно	
Иваньковская	17–18.08	2013–2113	3			Плотва Лещ Ерш	1 1 1
		2150–2220	3			Плотва Ерш	1 2
	2245–500	3		Ерш			1
	730–855	3			Ерш		1
Состояние рыб: у леща и плотвы нарушена дорзовентральная ориентация тел, у всех отмечается аритмия дыхания, повреждения чешуи							
Угличская	18–19.08	2105–2120	1		Снеток		6
		2209–2212	3				0
Состояние рыб: у основания грудных плавников обнаруживается легкое кровоизлияние, ориентация не нарушена							
Рыбинская	23–24.08	2138–2150	1	Снеток			4
		2208–218	1	Снеток			31
	842–902	1		Снеток			12
	1007–1217	1	Снеток				27
	1111–1211	1			Снеток Ерш		14 4
Состояние рыб: у всех рыб отмечаются: нарушение дорзовентрального положения тела; положительная плавучесть, кровоизлияние в брюшной и жаберной полостях, в глазах, основании плавников, пузырьки газа в брюшной и жаберной полостях. У почти трети всех выловленных экземпляров снетка(28.6 %) наблюдается разрыв плавательного пузыря							

Анализ состояния выловленной молодежи показал наличие явных признаков травмирования: разрыв плавательного пузыря, пузырьки газа и кровоизлияния в жабрах, плавниках и брюшной полости, выпучивание глаз («телескопические глаза»), нарушение целостности чешуйного покрова, аритмия дыхания. При наблюдении за покатной молодью рыб в нижнем бьефе отмечалось изменение ее поведения: молодь плохо реагировала на зрительные и акустические раздражители, имела положительную плавучесть, нарушения дорзовентрального положения тела и оптомоторной реакции. Наиболее слабые признаки травмирования проявлялись у молодежи, скатывающейся через шлюзовые камеры Угличской плотины. Основными причинами гибели и травмирования рыб при скате через плотины авторы считают гидромеханическое воздействие на организмы ихтиофауны, оказываемое на них в проточных каналах гидромашин, представленное целой совокупностью факторов, таких как перепад гидростатического давления, кавитация, гиперсатурация, механические и гидравлические удары. На основании данных табл. 2 (особенно по наличию баротравм плавательного пузыря) можно заключить, что одним из ведущих факторов являются величина и скорость перепада гидростатического давления в турбинах, превышающие значения, которые возникают в естественных условиях для представителей ихтиофауны.

Величина перепада гидростатического давления, которое совершается за слишком коротким промежутком времени, на Ивановской и Угличской плотинах в период работы составляет до 1.1 атм./с, а на Рыбинской – до 1.8 атм./с.

Согласно ранее проведенным в барокамерах исследованиям (Нездолий, Сазонов, 1974; Цветков и др., 1972), даже скорости перепада 0.25–1.0 атм./с являются летальными для личинок и мальков многих рыб, например, стенки плавательного пузыря личинок окуня разрываются уже при скорости перепада давления менее 0.1 атм./с.

В июне – июле 1996 г. на Волжской ГЭС были проведены исследования по оценке воздействия турбин ГЭС на молодью рыб-покатников (Постоев, 1997; Постоев и др., 1999, 2003). Волжская ГЭС – последняя в каскаде гидросооружений на р. Волге, по классу относится к средненапорным. Ловы проводились с помощью мальковых конусных сетей с круглым входом площадью 0.5 и

1.0 м<sup>2</sup>, которые выставлялись с катера вдоль борта судна с целью предотвращения травмирования молодежи рыб от винта.

Ввиду отсутствия у исследователей специальных приспособлений и оборудования отлов покатников производился в основном в поверхностных слоях нижнего бьефа. Для снижения возможных неточностей, обусловленных отсутствием возможности облова всех горизонтов потока в нижнем бьефе, сетки выставлялись непосредственно на выходе потока из турбины. Доминирующим видом среди представителей ихтиофауны в период исследований была тюлька (*Clupeonella cultriventris*). Результаты лова рыбы в нижнем бьефе подтверждают наличие ее массового ската (см. табл. 2). В течение периода наблюдений количество рыб, скатившихся из водохранилища, сильно изменяется, что, по мнению исследователей, связано с интенсивностью работы агрегатов – его мощностью, а также с величиной концентрации молодежи в аванкамерах ГЭС (верхний бьеф), где, по визуальной оценке, она скапливалась в большом количестве.

Для оценки состояния скатившейся через турбины молодежи выловленные экземпляры поднимались на борт судна и, чтобы предотвратить дальнейшее травмирование, незамедлительно помещались в емкость с водой, где выдерживались в течение определенного времени. Доля мертвых особей, сразу же обнаруженных среди пойманной молодежи, составляла 1–2 % от общего количества. Основная масса выловленной молодежи, первоначально пребывавшей в хаотичном движении и державшейся на поверхности, к концу срока выдержки опускалась на дно и теряла подвижность. Доля рыб, состояние которых оценивалось как нормальное, снижается по мере выдержки с 20–30 до 1–5 %.

Основные виды травм, определяемые при визуальном осмотре у покатников, были следующие: рваные и рубленые раны головы, хвостовой части (или отсутствие вышеупомянутых органов), тела; кровоизлияния в разных частях тела; пузырьки газа в ротовой полости, жабрах; выпучивание глаз. В силу небольших размеров определение повреждений внутренних органов не проводилось.

Как свидетельствуют данные табл. 3, в июле – октябре 1996 г. в среднем 88 % молодежи погибает при прохождении через гидросооружение Волжской ГЭС.

Таблица 3. Характеристика уловов рыб у агрегатов Волжской ГЭС в 1996 г. (Постоев, 1997)

Дата лова	20.07	29.07	15.08	30.08	9.10	9.10	22.10	22.10
Место лова, № агрегата	9-11	16	19-20	14. 19	19-21	19	3. 4	20
Нагрузка агрегатов	100 МВт				50 МВт			
Орудие лова	сеть, хамсарос с ситом			сеть-сито			сеть, хамсарос	
Диаметр входа, м	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8
Количество ловов	4	2	3	2	3	1	2	2
Длительность ловов, мин	19 (5/5/4/5)	10 (5/5)	15(5/5/5)	13 (5/8)	15 (5/5/5)	5	10 (5/5)	14 (10/4)
Скорость течения, м/мин	60	60	60	60	60	60	60	60
Объем облова, м <sup>3</sup>	2412	1884	2826	2449	2826	942	1206	1688
Глубина лова, м	0-2	0	0-2	0	0	0	0	0
Выдержка пробы, мин	10-15	15	15-20	15	15	15	15	15
Расстояние от плотины, м	100	50-100	10-150	150	150	150	150	150
Вид рыбы:								
Тюлька – всего, экз.	659	79	62	59	2392	110	422	116
Погибшие, экз. %	613	41	44	43	2168	89	356	100
	93.0	51.8	70.9	72.8	90.6	80.9	84.4	86.2

В работе Д. С. Павлова с соавторами (1999), посвященной изучению покатной миграции рыб через створы ГЭС, был произведен сравнительный анализ закономерностей (видового и размерного состава покатников, сезонной и суточной динамики их миграций) и механизмов миграций рыб через плотины. Показано, что основным фактором формирования покатной миграции является экологическая зональность изъятия стока. В своей работе авторы представили обзор результатов исследований по данному вопросу, выполненных в России на 45 водоемах (водохранилищах и озерах). Кроме того, в монографии были обобщены материалы публикаций иностранных специалистов по подобной тематике.

Анализ данных, приведенных в монографии, показывает, что травмирование и гибель рыб, скатившихся через проточные каналы турбин, является результатом постоянно действующего гидромеханического воздействия ГЭС, его неотъемлемой чертой. Масштабы этого явления значительны и зависят, главным образом, от линейных размеров (или возрастной категории) и вида представителей ихтиофауны. Так, например, погибшие предличинки и личинки, вынесенные в нижний бьеф, со-

ставляют в пробах почти 100 % от общего количества. Основными видами травм, вызвавшими летальный исход, являются баротравмы и травмы, обусловленные механическим воздействием (за счет столкновения с элементами конструкций в турбинном тракте).

В работах ряда авторов (Нездолий, Сазонов, 1974; Павлов и др., 1999; Постоев и др., 2003; Cada et al., 1997; Muir, 1959 и др.) указывается, что турбулентные потоки с образованием сдвигающих напряжений, возникающих в некоторых зонах проточного тракта турбины, а также кавитации могут влиять на травмирование и гибель рыб.

Таким образом, согласно данным литературы, в условиях зарегулирования стока на границе участков «водохранилище» и «река» в турбинах ГЭС погибает значительное количество рыбы, что позволяет высказать предположение о том, что ихтиофауна водоема на стыке двух участков испытывает серьезную антропогенную нагрузку. Как следствие, наблюдается гибель рыб, преимущественно молоди. Объем гибели определяется условиями водного объекта и объемами водной массы, проходящей через гидротурбины. Так, например, по нашим данным, средние ежегодные потери ВБР на ранних стадиях развития в

результате использования воды для нужд гидроэнергетики на Нижегородской ГЭС составляют 12 % от общего промыслового запаса на Нижегородском участке Горьковского водохранилища (Клевакин и др., 2015).

### **Негативное влияние водосбросов**

Негативное влияние работы ГЭС может проявиться и на водосбросах, что необходимо учитывать при реконструкции и эксплуатации ГЭС Волжско-Камского каскада. Предпосылкой такого влияния является обитание рыб в верхнем бьефе перед плотиной – в наиболее глубоких местах водоема, куда они смещаются в результате снижения уровня воды в осенний и зимний периоды. На крупных водохранилищах наиболее глубокие места водоема находятся перед плотиной. Так, например, на Куйбышевском водохранилище средняя глубина Приплотинного плеса 17.6 м, в то время как средняя глубина водохранилища – 9.4 м. Максимальная глубина – 41 м – также отмечается в Приплотинном плесе.

Рыбы – активные животные. Водная среда позволяет им перемещаться как горизонтально, так и вертикально. При движении по горизонтали рыба находится в среде равного гидростатического давления. При перемещении по вертикали гидробионты испытывают изменение гидростатического давления. По приспособленности к глубине обитания и к переходу из слоя с одним давлением в другой рыб подразделяют на несколько групп: условно стенобатные, условно эврибатные и промежуточные.

Для группы условно стенобатных рыб – ерши (р. *Gymnocerphalus*), окуни (р. *Perca*), бычки (*Gobiidae*) и др. – характерна приуроченность к определенной, узкой глубине обитания. Перемещения по вертикали ограничиваются несколькими метрами и даже сантиметрами. Это, как правило, рыбы с хорошо развитым плавательным пузырем (Отчет..., 2015).

К группе эврибатных относятся многие батипелагические рыбы, планктофаги и хищники пелагиали: сельдевые, лососевые, тресковые, которые совершают регулярные сезонные или суточные вертикальные перемещения до нескольких десятков метров (Machidori, 1966; Dembinski, 1971 и др.).

Влияние водосбросов на ВБР проявляется в период массового предпаводкового сброса и пропуска весеннего половодья. Так, например, от резкого изменения гид-

ростатического давления от баротравм гибнут часто судак и берш (т. к. являются закрытопузырными рыбами) в районе Жигулевского гидроузла (Отчет..., 2015).

### **Воздействие попусков в нижнем бьефе**

Большое значение для ВБР равнинных водохранилищ имеют экологические попуски в нижние бьефы ГЭС. Так, например, Е. Симонов (2010) в своей работе показывает современный международный опыт практики экологических попусков в нижние бьефы ГЭС. Показано, что в строительстве и эксплуатации плотин ничто так негативно не влияет на экосистему реки и гидробионтов, как изменение характеристик стока ниже по течению (Poff et al., 1997; Postel, Richter, 2003). В этом случае имеют значение четыре основных аспекта: 1) определенный режим стока непрерывно формирует местообитания ниже по течению: перекаты и плесы, бары и поймы – и его изменение физически изменяет местообитания; 2) гидробионты эволюционно приспособлены к определенной динамике стока, и это определяет время их размножения, миграции и т. д., а нарушение соответственно ведет к нарушениям важнейших процессов в популяциях и сообществах; 3) многие виды совершают обязательные миграции как вдоль русла, так и на поймы, а плотины нарушают эту связь; 4) изменение стока способствует заселению и распространению чужеродных видов и вытеснению ими аборигенных гидробионтов (Bunn, Arthindton, 2002). Ниже рассмотрены примеры обоснований экологических попусков некоторых водных объектов России.

В работе Д. С. Павлова с соавторами (1989) было показано, что для обеспечения в половодье экологических попусков воды в низовья Волги необходимы объемы стоков для различных видов рыб в диапазоне от 95 (для сома) до 142.2 км<sup>3</sup> (для севрюги). В результате при объеме около 100 км<sup>3</sup> ущерб составляет 55.2 млн руб., а в экстремально маловодные годы (70–80-е ХХ в.) увеличивается до 99–123 млн руб. (в ценах 1987 г.). В современных условиях, по мнению Т. С. Бесчетновой (2012), рыночный способ оценки эффективности использования ВБР не может считаться оптимальным на данном этапе развития эколого-экономических отношений в России.

В 2009 г. нами были обоснованы и рассчитаны нормативы допустимого воздействия (НДВ) по изъятию водных ресурсов по бассейну р. Волги ниже Рыбинского водохранилища до впадения р. Оки (Нормативы..., 2009а). Целью разработки НДВ являлось определение условий, обеспечивающих устойчивое функционирование сложившейся экосистемы в бассейне реки Волги и на участке ниже Рыбинского водохранилища до впадения р. Оки на основе сохранения биологического разнообразия и предотвращения негативного воздействия в результате хозяйственной деятельности с изучением сезонной дифференциации. В результате были разработаны НДВ для условного (компоновочного) года: летне-осенней и зимней межени года 95 % обеспеченности и весеннего половодья года 50 % обеспеченности, а также для годов 50 % (7404 млн м<sup>3</sup>), 75 % (5899 млн м<sup>3</sup>) и 95 % (4695 млн м<sup>3</sup>) обеспеченности.

В работе А. А. Клевакина с соавторами (2012б) были установлены возможный промысловый возврат и численность основных промысловых видов рыб при максимальных уровнях воды, величине стока и минерализации Горьковского водохранилища. В качестве нормы безвозвратного допустимого изъятия речного стока из р. Волги авторами принимается среднемноголетняя ее величина – 7305 млн м<sup>3</sup>. Подобное исследование по установлению экологического попуска было проделано авторами для Пензенского водохранилища (р. Сура) (Нормативы..., 2009б; Клевакин и др., 2012а).

Д. Н. Катуниним с соавторами (2010) были разработаны экологизированные гидрографы попусков воды объемом 130, 120, 110 и 90 км<sup>3</sup> для Волжско-Камского каскада ГЭС. Авторы считают, что в годы с пониженной водностью стратегия подачи воды в низовья р. Волги должна быть иной, рассчитанной на экономию подачи воды до начала половодья.

Мировой и отечественный опыт показывает, что, для того чтобы реки оставались живыми и продуктивными экосистемами, необходима экологическая оптимизация бассейнового планирования гидроэнергетики и иной гидротехнической деятельности в рамках комплексного управления водными ресурсами (комплексной оценки ГТС в бассейне крупной реки). Экологическая оптимизация должна проводиться на всех стадиях жизненного цикла ГТС (Безносов и др., 2007; Егидарёв, 2013).

Необходимо предусмотреть конкретные алгоритмы сопряженного бассейнового планирования функционирования старых и размещения новых ГТС (в т. ч. плотин ГЭС) и охраны природы целых речных бассейнов, в частности в рамках СКИОВО (Схем комплексного использования водных объектов).

Производящиеся из водохранилищ попуски, вызывающие затопление пойменных водоемов, при осуществлении ряда дополнительных мер на пойме помогают уменьшить урон, наносимый рыбному хозяйству строительством гидросооружений на реках. Попуски будут достаточно эффективны, если они обеспечат плавные колебания уровней с интенсивностью подъема и спада не более 20–40 см/сут., затопление различных участков поймы и соровой системы в различные календарные сроки и т. д. При резких спадах особенно велика гибель молодежи в отшнуровавшихся пойменных водоемах и на мелководных участках поймы. Например, из-за колебаний уровня воды в Куйбышевском водохранилище только в период нереста рыб (на нерестилищах в мелководной зоне от 0.2 до 1.2 м нерестятся щука, синец, язь, сазан, лещ) ущерб составляет 277 т (Евланов, Розенберг, 2010). Кроме того, объемы попусков должны обеспечивать оптимальные для рыбного хозяйства отметки затопления поймы – 1.5–2 м на наиболее низких участках поймы и 0.5–1.5 м на повышенных. Необходимы также осенне-зимние рыбохозяйственные попуски. Поэтому при формулировании требований рыбного хозяйства к уровенному режиму конкретного водного объекта должна учитываться взаимосвязь режима работы водохранилища (время и продолжительность сработки, наполнения, разница максимумов уровней прошлого года и минимумов текущего) и факторов, обеспечивающих воспроизводство рыб (устойчивые гидрологические условия для полноценного питания и нереста) (Мурашов и др., 2009).

Приведенные материалы свидетельствуют о том, что ГЭС могут оказывать серьезное влияние на водные биологические ресурсы, и прежде всего на рыбное население. При эксплуатации ГЭС Волжско-Камского каскада необходимы разработки стратегии защиты рыб и конкретных рыбоохранных мер экологического и технического плана по их защите.

### **Оценка вреда водным биоресурсам от работы ГЭС ВКК в современных условиях**

Попытаемся дать ответ на поставленный И. А. Евлановым и Г. С. Розенбергом (2010) вопрос об оценке ущерба водным биологическим ресурсам от работы ГЭС в современных условиях. Для этого рассмотрим оценки вреда, наносимого ГЭС ВКК, по современным литературным данным и нашим натурным испытаниям. Как известно, в бассейне Волги уже второй год (2014–2015) фиксируется снижение притока. Некоторые водохранилища заполнены всего лишь на 45 % от нормы, что может повлечь за собой массовую гибель водных биоресурсов в зимний период, а в период нереста – уменьшение нерестовых площадей. В результате зимних сработок уровня воды Куйбышевского водохранилища в 2005 г. (на 3.6 м) ущерб рыбной продукции только от гибели бентоса составил 227.8 т. Влияние плотин на водные биоресурсы показывает, что различие интересов водопользователей, географического разнообразия типов рек и гидротехнических сооружений (ГТС), а также режимов стока в разные по водности годы затрудняют создание универсальных (унифицированных) требований к проектированию ГТС и управлению режимами работы водохранилищ (периоды сработки и наполнения, амплитуды сработки и т. д.), уже существующих (Дубинина и др., 2012).

И это проблема не только нашего времени. В советское время суммарный ущерб, нанесенный гидростроительством и работой ГЭС, только осетровому хозяйству Волго-Каспия и только от нарушений рыбохозяйственных попусков за период с 1959 по 1985 г. составил 1431 млн ц продукции общей стоимостью 1.1 млрд рублей (в ценах 1989 г.) (Лукьяненко, 1989). Рассмотрим подробнее вред, наносимый ВБР ВКК двух ГЭС – Жигулевской и Нижегородской, с применением Методики исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам (приказ Федерального агентства по рыболовству от 25 ноября 2011 г. № 1166).

Жигулевская ГЭС оказывает существенное влияние на ВБР от попадания молоди рыб Куйбышевского водохранилища в гидротурбины и водосбросы ГЭС со стоковым течением. По результатам натурных наблюдений 2014–2015 гг. определено негативное влияние ГЭС на рыб от реконструкции (модернизации) и дальнейшей

эксплуатации. Объем теряемых биоресурсов (в натуральном выражении) по отдельным позициям на ГЭС составил: разовые потери ВБР при замене и реконструкции гидроагрегатов – 28 кг; годовые потери ВБР при эксплуатации гидроагрегатов – 1381975 кг (1382 т) (Отчет..., 2015).

Размер вреда водным биоресурсам Куйбышевского водохранилища (верхний бьеф) от замены и реконструкции гидроагрегатов Жигулевской ГЭС 28 кг в стоимостном выражении 2015 г. составляет 3282 руб. Годовой размер ущерба водным биоресурсами Куйбышевского водохранилища от эксплуатации гидроагрегатов ГЭС за один год оценен в 97 847 563 руб. (97.85 млн рублей).

В качестве восстановительного мероприятия нарушенного состояния водных биоресурсов в результате замены и реконструкции гидроагрегатов предлагается искусственное воспроизводство водных биоресурсов. Рекомендуются выпуск в Куйбышевское водохранилище в пределах Самарской области молоди сазана в объеме 547 экз. (навеской 20 г).

Ежегодный размер потерь водных биоресурсов в результате использования воды на нужды гидроэнергетики и прямого потребления при эксплуатации Нижегородской ГЭС только для рыб на ранних стадиях развития в натуральном выражении составляет 321 т. Величина потерь преимущественно обусловлена гибелью мальков рыб – 280 т, потери в результате гибели личинок в промысловом возврате составляют 41 т (Логинов, 2014; Клевакин и др., 2015). Это в 4.3 раза ниже, чем на Жигулевской ГЭС. Напротив, разовые потери ВБР при замене и реконструкции гидроагрегатов Нижегородской ГЭС существенно выше и составляют 175 кг. Величина вреда в натуральном выражении определяется преимущественно полной гибелью сеголетков (88.6 % от общего количества погибших рыб) (Логинов и др., 2016).

Для сравнительной оценки степени существенности наносимого вреда можно сопоставить их с размером промыслового запаса. По результатам комплексных ихтиологических съемок и сведений о вылове биоресурсов в рамках прогноза численности и определения общего допустимого улова, промысловые запасы рыб на Нижегородском участке Горьковского водохранилища в 2013 г., по нашим данным, составили 2861 т (Клевакин и др., 2015).

Следует отметить, что ущерб наносится рыбным запасам не только Горьковского водохранилища. Скат личинок и мальков рыб – это естественный процесс в жизни рыб (Пахоруков, 1980; Павлов, Пахоруков, 1983). Гибель рыб в потоке воды, проходящем через плотину Нижегородской ГЭС, приводит также к снижению уровня пополнения и Чебоксарского водохранилища.

Общее количество молоди рыб, прошедшей через турбины Нижегородской ГЭС в нерестовый период 2013 г., составило 3716.9 млн экз., из них 62.5 % погибло. Общее количество рыбы за летний период составило 13214 млн экз., из которых 3.0 % погибло (Логинов и др., 2016). Общее количество молоди рыб, прошедшей через турбины ГЭС в осенний период 2013 г., составило 30175 млн экз., из них 60.0 % погибло при прохождении агрегатов ГЭС. Таким образом, максимальная гибель молоди рыб при прохождении гидроагрегатов ГЭС происходит весной.

В целях возмещения вреда, наносимого при модернизации гидроагрегатов Нижегородской ГЭС, одним из вариантов является разовый выпуск жизнестойкой молоди стерляди навеской 1–3 г в количестве 3176 экз. (Логинов, 2014).

Для возмещения вреда, наносимого при эксплуатации гидроагрегатов и системы технического водоснабжения Нижегородской ГЭС, потребуется ежегодный выпуск 584 039 экз. жизнестойкой молоди стерляди навеской 1–3 г и 12 147 020 экз. сеголетков сазана навеской 15–20 г (Логинов и др., 2016).

### **Система рыбоохранных мероприятий**

Существующих производственных мощностей по искусственному воспроизводству рыб в Верхне-Волжском рыбохозяйственном бассейне недостаточно для ежегодного зарыбления водохранилища таким объемом молоди.

Учитывая величину ежегодного размера вреда водным биоресурсам 321 т от Нижегородской ГЭС и 1382 т от Жигулевской ГЭС, необходимо расширение или модернизация существующих производственных мощностей, что затруднено не только по экономическим причинам, но и вследствие ряда организационно-правовых проблем (подведомственность предприятий, форма собственности и др.). Следует также учитывать, что при выпуске этой молоди в

верхних бьефах существует вероятность ее попадания в гидроагрегаты ГЭС с последующей гибелью.

Допускать в течение всего периода эксплуатации Нижегородской и Жигулевской ГЭС гибель 321 и 1382 т водных биоресурсов с тем, чтобы ежегодно восполнять эти потери эквивалентным в промысловом возврате количеством молоди, по меньшей мере неэффективно. По этой причине нами была предложена система рыбоохранных мероприятий.

На основании рекомендаций СП 101.13330 (2012), в качестве рыбозащитного сооружения для гидроагрегатов Нижегородской ГЭС со средним расходом 4000 м<sup>3</sup>/с могут быть использованы сетчатые экраны или рыбозащитный концентратор с вертикальной сепарацией рыб. Однако данная мера целесообразна и эффективна на промышленных и водохозяйственных водозаборах сравнительно небольшой производительности, особенно если имеется возможность отведения рыб вниз по течению водоисточника, что гарантирует невозможность возвращения покатников в опасную водозаборную зону. В условиях крупной ГЭС, являющейся водоемообразующим объектом, на который замыкается сток всего многоводного водоисточника, решение проблемы защиты рыб традиционными средствами технически и экономически трудновыполнимо.

Безопасность водных биологических ресурсов на Жигулевской и Нижегородской ГЭС планируется обеспечить путем создания в приплотинном плесе водохранилища многофункционального глубоко эшелонированного рифового комплекса, осуществляющего как эколандшафтную, так и реоградиентную коррекцию естественной среды их обитания, в соответствии с особенностями гидрологического (скоростного) режима водохранилища, реализующими последовательно превентивную и защитную функции. Для осуществления превентивной функции предлагается использовать балочные рифовые модули-гексаподы, для защитной функции – плитные двухсекционные ширмы, выполненные из экологически чистого нейтрального субстрата, пригодного для размножения и обитания водных организмов и со временем полностью интегрирующегося в естественную среду их обитания (СП 101.13330, 2012). Данные меры планируется реализовать с помощью эколандшафтной и реоградиентной коррекции

естественной среды обитания водных биологических ресурсов.

Целью превентивных мер является предупреждение миграций водных биоресурсов в опасную зону, что достигается с помощью эколандшафтной коррекции путем искусственного развития проточных элементов донного рельефа в водную толщу и создания обстановки, отличающейся от монотонной ситуации в водоеме разнообразием ориентиров различной природы (установка искусственных донных и пелагических рифов). В соответствии с положениями приказа Минсельхоза России от 26 декабря 2014 г. № 530 «Об утверждении Порядка проведения рыбохозяйственной мелиорации водных объектов», создание искусственных рифов, донных ландшафтов является одним из направлений рыбохозяйственной мелиорации водных объектов и может рассматриваться как наиболее предпочтительный вариант проведения мероприятий по компенсации вреда, наносимого водным биоресурсам при эксплуатации Нижегородской и Жигулевской ГЭС.

Целью защитных мер является реоградиентная коррекция естественной водной среды обитания рыб и других водных биологических ресурсов с помощью водных струй, перенаправляющих рыбообитаемый слой стокового течения с опасного направления на безопасные места обитания рыб, расположенные в прибрежной части водохранилища (Иванов, 2007, 2015).

Предварительно эффективность предлагаемых рыбоохранных мероприятий по снижению вреда, наносимого ВБР, можно оценить на уровне 91 %, в том числе 70 % за счет защитных мер и 21 % за счет превентивной эколандшафтной коррекции (Логинов, Клевакин, Моисеев, 2016).

## Библиография

- Авакян А. Б., Асарин А. Е. Опыт экологизации уровня режима водохранилищ (на примере Ивановского) // Пространственная структура и динамика распределения рыб во внутренних водоемах. Ярославль, 1998. С. 71–84.
- Аксенова Е. И. Сезонные и годовые изменения фитопланктона нижнего Дона и приплотинного плеса Цимлянского водохранилища // Известия ГосНИОРХ. 1969. Т. 65. С. 141–158.
- Ахметшин И. Ф. Обоснование экологически безопасных режимов эксплуатации турбин ГЭС: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Братск, 2006. 20 с.
- Безносков В. Н., Горюнова С. В., Кучкина М. А. и др. Экологическая оптимизация гидротехнических сооружений: основные направления и концептуальные принципы // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2007. № 4. С. 41–53.
- Биологическое обоснование целесообразности оснащения гидротехнических сооружений Жигулевской ГЭС рыбопропускными и рыбозащитными устройствами: Отчет о НИР / СО ФГНУ «ГосНИОРХ»; Фонды ОАО «НИИЭС». Волгоград, 2011. 176 с.
- Благовидов Л. А. Скат молоди сельдей в низовьях р. Волги // Труды ВНИРО. 1941. Т. 16. С. 46–60.

## Заключение

Не вызывает никаких сомнений факт нарушения миграционных путей проходных и полупроходных рыб при строительстве и эксплуатации Волжского каскада ГЭС (Современное состояние..., 2004; Шакирова, Таиров, 2014).

Отрицательное влияние ГЭС на формирование рыбной части сообщества и в целом на водные биоресурсы водохранилищ ВКК в последние годы усугубляется еще и маловодьем. По расчетным данным, мы находимся в начале маловодной фазы на Волге, которая может продлиться еще 20–30 лет (Маловодье..., 2015). Маловодье в сочетании со следующими факторами воздействия ГЭС: 1) изменением структуры ихтиоценозов, имеющие, как правило, деструктивный характер; 2) прямой гибелью рыб и их кормовых ресурсов при скате через гидроагрегаты; 3) потерей нерестовых площадей и гибелью икры весенненерестующих видов рыб от резких перепадов уровня воды в угоду гидроэнергетике; 4) гибелью кормовых ресурсов рыб в процессе зимней сработки уровня и осушения ложа водохранилищ, – приведет к существенной потере рыбопродукции водохранилищ ВКК и снижению уровня воспроизводства популяции рыб. Вред, наносимый водным биологическим ресурсам плотинами ГЭС Волжско-Камского каскада, является демонстрацией классического правила интегрального ресурса: конкурирующие в сфере использования конкретных природных систем отрасли хозяйства неминуемо наносят ущерб друг другу тем сильнее, чем значительнее они изменяют совместно эксплуатируемый экологический компонент или всю экосистему в целом (Экологическая энциклопедия, 2011).

- Бесчетнова Т. С. Эколого-экономическая оценка ущерба рыбному хозяйству Волго-Каспийского бассейна в условиях зарегулированного водного стока Волги // Современные проблемы и перспективы рыбохозяйственного комплекса: Мат. Третьей науч.-практ. конф. мол. уч. ФГУП «ВНИРО» с межд. уч. М.: Изд-во ВНИРО, 2012. С. 130–132.
- Васнецов В. В. Происхождение нерестовых миграций проходных рыб // Очерки по общим вопросам ихтиологии. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1953. С. 227–241.
- Введенский О. Г. Использование гидравлических струй для совершенствования технологии работы рыбоходных сооружений // Гидротехническое строительство. 2009. № 1. С. 21–27.
- Введенский О. Г. Обеспечение естественного воспроизводства рыбы в условиях водохранилищ // Животные: Экология, биология и охрана: Материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2012. С. 66–68.
- Введенский О. Г. Управление пропуском рыб, идущих на нерест, через высоконапорные гидроузлы // Гидротехническое строительство. 2011. № 1. С. 46–49.
- Вуглинский В. С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 224 с.
- Володин В. М. О выносе рыб через плотину Рыбинской ГЭС // Бюллетень Ин-та биологии водохранилищ АН СССР. 1958. № 2. С. 63.
- Дегтярёва Н. Г. Покатная миграция и распределение молоди карповых, окуневых и сельдевых рыб в реке Волге ниже плотины Волгоградского гидроузла: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1991. 24 с.
- Дубинина В. Г., Лукин А. А., Мартынов А. С., Евланов И. А. и др. Пленарное заседание Научного консультативного совета по комплексному использованию водных ресурсов и охране водных экосистем при участии Тематического сообщества по проблемам больших плотин по вопросу: «Оценка влияния строительства и эксплуатации плотин на состояние, сохранении и воспроизводство водных биоресурсов» // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. № 1. С. 296–302.
- Евланов И. А., Розенберг Г. С. Особенности расчета ущерба водным биологическим ресурсам волжских водохранилищ от работы ГЭС в современных условиях: положительные и отрицательные стороны гидростроительства // Рыбохозяйственные проблемы строительства и эксплуатации плотин и пути их решения: Материалы заседания тематического сообщества по проблемам больших плотин и научного консультативного совета Межведомственной Ихтиологической комиссии. М.: WWF России, 2010. С. 101–110.
- Егидарёв Е. Г. Методы оценки экологического воздействия ГЭС в масштабах бассейна // Материалы VIII Междунар. научно-практ. конф. «Реки Сибири и Дальнего Востока». Иркутск: ИРОО «Байкальская Экологическая Волна», 2013. С. 144–147.
- Жидовинов В. И. Особенности покатной миграции молоди карповых, окуневых и сельдевых рыб, как основа экологических способов их защиты в дельте р. Волги: Дис. ... канд. биол. наук. М., 1985. 242 с.
- Захарченко А. В. Влияние гидростатического давления на поведение открыто- и закрытопузырных рыб в потоке воды: Дис. ... канд. биол. наук. М., 2004. 104 с.
- Зенин А. А. О характере перемешивания водных масс в приплотинной части Цимлянского, Горьковского, Куйбышевского и Сталинградского водохранилищ // Гидрохимические материалы. 1961. Т. 32. С. 45–53.
- Иванов А. В. Обеспечение безопасности рыб на водозаборах: Дис. ... д-ра техн. наук. М., 2007. 219 с.
- Иванов А. В. Современные меры по предотвращению попадания рыб и иных водных биологических ресурсов в водозаборные сооружения объектов энергетики. М.: Корпоративный энергетический университет, 2015. 43 с.
- Исаев А. И., Карпова Е. И. Рыбное хозяйство водохранилищ: Справочник. М.: Агропромиздат, 1989. 255 с.
- Катунин Д. Н., Хрипунов И. А., Дубинина В. Г. Оценка влияния на водные биоресурсы и среду их обитания Волжско-Камского каскада ГЭС // Рыбохозяйственные проблемы строительства и эксплуатации плотин и пути их решения: Материалы заседания тематического сообщества по проблемам больших плотин и научного консультативного совета Межведомственной Ихтиологической комиссии. М.: WWF России, 2010. С. 8–18.
- Клевакин А. А., Логинов В. В., Минин А. Е., Постнов Д. И. Определение допустимого безвозвратного речного стока и установление экологического попуска в Пензенском водохранилище // Чистая вода: проблемы и решения. 2012а. № 3–4. С. 33–37.
- Клевакин А. А., Логинов В. В., Минин А. Е., Постнов Д. И. Определение допустимого безвозвратного речного стока и установление экологического попуска в Горьковском водохранилище // Вода: химия и экология. 2012б. № 8. С. 8–15.
- Клевакин А. А., Логинов В. В., Моисеев А. В. Особенности распределения личинок и ранней молоди рыб в районе Нижегородской ГЭС и определение прямых потерь водных биоресурсов на начальных стадиях развития при использовании воды на нужды гидроэнергетики // Труды ВНИРО. 2015. Т. 155. С. 56–68.

- Коблицкая А. Ф. Изучение суточного распределения рыб как один из методов экологических исследований // Вопросы экологии. 1962. Т. 4. С. 118–119.
- Коблицкая А. Ф. Сезонные миграции молоди рыб в низовьях дельты Волги в период, предшествующий зарегулированию стока // Труды Астраханского государственного заповедника. Астрахань: Изд-во газеты «Волга», 1958. Вып. 4. С. 209.
- Костюрин Н. Н. Определение влияния водозаборных сооружений на ихтиофауну дельты Волги и методы оценки ущерба рыбному хозяйству: Дис. ... канд. биол. наук. Астрахань, 2000. 112 с.
- Логинов В. В. К вопросу о влиянии гидротехнических сооружений на водные биологические ресурсы // Научный обозреватель. 2014. № 9 (45). С. 32–34.
- Логинов В. В., Клевакин А. А., Моисеев А. В. Определение вреда водным биологическим ресурсам на водозаборных сооружениях технического водоснабжения Нижегородской ГЭС // Водное хозяйство России. 2016. № 1. С. 84–98.
- Лукьяненко В. И. Влияние гидростроительства на воспроизводство промысловых рыб // Вестник АН СССР. 1989. № 12. С. 50–59.
- Луферова Л. А. Влияние ГЭС на зоопланктон Горьковского водохранилища // Бюллетень Института биологии водохранилищ АН СССР. 1960. № 6. С. 38–39.
- Маловодье на Волге оценивается как катастрофа // Иновации + Паблицити. 2015. № 2 (23). С. 10–11.
- Мурашов А. В., Дубинина В. Г., Александровская А. Ю. Требования рыбного хозяйства и их учет при разработке правил использования водных ресурсов водохранилищ ГЭС // Гидротехническое строительство. 2009. № 12. С. 28–32.
- Нездолий В. К., Сазонов Ю. Г. Воздействие резких перепадов гидростатического давления на молодь некоторых видов рыб // Материалы конф. проф.-преп. состава. Алма-Ата: Изд-во Казахск. ун-та, 1974. С. 83–86.
- Нормативы допустимого воздействия по бассейну реки Волги ниже Рыбинского водохранилища до впадения реки Оки. Госконтракт № 17/2208. Нижний Новгород: АНО «Приволжский центр здоровья среды», 2009а. 1646 с.
- Нормативы допустимого воздействия по бассейну реки Суры. Госконтракт № 16/2208. Нижний Новгород: АНО «Приволжский центр здоровья среды», 2009б. 1439 с.
- Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам: Приказ Федерального агентства по рыболовству от 25 ноября 2011 года № 1166 // Бюл. нормат. актов федер. органов исп. власти. 2012. № 27. С. 3–71.
- Об утверждении Порядка проведения рыбохозяйственной мелиорации водных объектов: Приказ Минсельхоза России от 26 декабря 2014 г. № 530 // Бюл. нормат. актов федер. органов исп. власти. 2015. № 40. С. 69–81.
- Отчет по теме: «Оценка воздействия гидроагрегатов и водосбросов Жигулёвской ГЭС на водные биологические ресурсы и их среду обитания». 2. Этап заключительный. Саратов, 2015. 282 с.
- Павлов Д. С., Лупандин А. И., Костин В. В. и др. Временная стабильность характеристик покатной миграции рыб из водохранилищ // Сб. науч. тр. Гидропроекта. 1991. Вып. 147. С. 43–51.
- Павлов Д. С., Пахоруков А. М., Курагина Г. Н. и др. Некоторые закономерности миграции молоди рыб в реках Волга и Кубань // Вопросы ихтиологии. 1977. Вып. 3. С. 415–428.
- Павлов Д. С., Нездолий В. К., Ходоревская Р. П. и др. Покатная миграция молоди рыб в реках Волга и Или. М.: Наука, 1981. 320 с.
- Павлов Д. С., Катунин Д. Н., Алехина Р. П. и др. Требование рыбного хозяйства к объему весенних попусков воды в дельту Волги // Рыбное хозяйств. 1989. Т. 3. С. 29–33.
- Павлов Д. С., Барекян А. Ш., Рипинский И. И. и др. Экологический способ защиты рыб на повороте струей открытого потока. М.: Наука, 1982. 112 с.
- Павлов Д. С. Биологические основы управления поведением рыб в потоке воды. М.: Наука, 1979. 319 с.
- Павлов Д. С. Оптомоторная реакция и особенности ориентации рыб в потоке воды. М.: Наука, 1970. 148 с.
- Павлов Д. С. Отношение молоди рыб к потоку воды и ориентация в нем // Зоологический журнал. 1966. Т. 45. Вып. 6. С. 891–896.
- Павлов Д. С., Костин В. В., Островский М. П. Влияние расположения зоны изъятия стока на покатную миграцию рыб (на примере Шекснинского водохранилища и Лозско-Азатского озера). М.: ИЭМЭЖ АН СССР, 1991. 142 с.
- Павлов Д. С., Лупандин А. И., Костин В. В. Покатная миграция рыб через плотины ГЭС. М.: Наука, 1999. 255 с.
- Павлов Д. С., Лупандин А. И., Костин В. В. Явление покатной миграции рыб из водохранилищ (закономерности и механизмы) // Актуальные проблемы рационального использования биологических ресурсов водохранилищ. Рыбинск: Рыбинский Дом печати, 2005. С. 224–238.
- Павлов Д. С., Лупандин А. М., Костин В. В. Механизмы покатной миграции молоди речных рыб. М.: Наука, 2007. 213 с.
- Павлов Д. С., Пахоруков А. М. Биологические основы защиты рыб от попадания в водозаборные сооружения. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. 264 с.

- Павлов Д. С., Скоробогатов М. А. Миграции рыб в зарегулированных реках . М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 413 с.
- Павлов Д. С., Горин А. М., Пьянов А. И. Скаты рыб из Камского водохранилища через турбины ГЭС // Покатная миграция рыб. М.: ИЭМЭЖ АН СССР, 1985. С. 5–22.
- Постоев В. С., Пятакин В. И., Мануковский А. Ю. Аэрационная защита экологических систем водоемов от разрушительного воздействия гидромашин . СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2003. 176 с.
- Постоев В. С. Гибель планктона в турбинах гидроэлектростанций и способ его защиты // Водные ресурсы. 1997. Т. 24. № 2. С. 186–191.
- Постоев В. С., Пятакин В. И., Угрюмов Б. И. Защита от гибели гидробионтов в проточных каналах гидромашин . СПб.: Изд-во СПбЛТА, 1999. 116 с.
- Приймаченко А. Д. Основные особенности развития волжского фитопланктона после сооружений Горьковской и Куйбышевской плотины // Гидробиологический журнал. 1966. Т. 2. № 2. С. 17–25.
- Розенберг Г. С. Волжский бассейн: на пути к устойчивому развитию . Тольятти: Кассандра, 2009. 478 с.
- Рыбохозяйственные проблемы строительства и эксплуатации плотин и пути их решения: Материалы заседания тематического сообщества по проблемам больших плотин и Научного консультативного совета Межведомственной ихтиологической комиссии . М.: WWF России, 2010. 176 с.
- Сборник материалов круглого стола на тему: «Актуальные проблемы в сфере обеспечения экологической безопасности водных ресурсов» . Тверь: Купол, 2015. 156 с.
- Симонов Е. Примеры международной практики экологических попусков в нижние бьефы гидроузлов и оптимизация бассейнового планирования гидроэнергетики // Рыбохозяйственные проблемы строительства и эксплуатации плотин и пути их решения: Материалы заседания тематического сообщества по проблемам больших плотин и научного консультативного совета МИК. Москва, 25 февраля 2010 г. М.: WWF России, 2010. С. 137–149.
- Сорокин Ю. И. К оценке смертности планктона в гидротурбинах высоконапорных ГЭС // Журнал общей биологии. 1990. Т. 51. С. 682–687.
- 101.13330 СП. «Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87» . М.: Минрегион России, 2012. 68 с.
- Сыроватская Н. И. Создание запасов ценных рыб Цимлянского водохранилища // Рыбное хозяйство. 1953. № 10. С. 29–34.
- Танасийчук В. С. Миграция молоди воблы через култучную зону в аквадельте Волги // Труды каспийского бассейнового филиала ВНИРО. Астрахань, 1950. Т. 11. С. 167.
- Тарвердиева М. И. Скаты и распределение молоди рыб в западной части нижней дельты Волги в 1957 г. . М., 1958. С. 67–68.
- Филатова Т. Н. Опыт исследования течений во внутренних водоемах на примере Цимлянского водохранилища // Труды ГГИ. 1964. Вып. 113. С. 65–73.
- Фомичёв О. А. Распределение молоди в прибрежной зоне вотопоков дельты Волги и его связь с покатной миграцией: Дис. ... канд. биол. наук . М., 2001. 235 с.
- Цветков В. И., Павлов Д. С., Нездолий В. К. Летальные перепады гидростатического давления для молоди некоторых пресноводных рыб // Вопросы ихтиологии. 1972. Т. 12. Вып. 2 (73). С. 344–356.
- Цееб Я. Я. Предварительное изучение влияния работы гидроаккумуляционной гидроэлектростанции на зоопланктон // Гидробиологический журнал. 1980. Т. 16. № 3. С. 40–45.
- Чугунов Н. Л. Биология промысловых рыб Волго-Каспийского района // Тр. Астрах. научн. рыбохоз. станции. 1928. Т. 6. Вып. 4. С. 280.
- Шакирова Ф. М., Таиров Р. Г. Влияние антропогенного фактора на изменение гидрофауны Куйбышевского водохранилища // Рыбохозяйственные исследования на водных объектах европейской части России: Сб. науч. работ, посвящ. 100-летию ГосНИОРХ. СПб., 2014. С. 88–104.
- Шашуловский В. А., Мосияш С. С., Ермолин В. П. и др. Сравнительная характеристика динамики рыбных ресурсов Нижневолжских водохранилищ // Бассейн Волги в XXI-м веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ / Ин-т биологии внутр. вод им. И. Д. Папанина РАН: Сб. материалов докл. участников Всероссийской конф. Борок, 22–26 октября 2012. Ижевск, 2012. С. 358–361.
- Экологическая энциклопедия: В 6 т. / Под ред. В. И. Данилова-Данильяна. Т. 5. М.: Энциклопедия, 2011. 448 с.
- Экологические требования к гидроэлектростанциям с целью минимизации гибели планктона и рыб: Научно-технический отчет по заданию программы «Экологическая безопасность России». Заключительный . М., 1994. 25 с.
- Экспертное заключение на нормативно-технический документ «Гидравлические электростанции (ГЭС). Требования к режиму эксплуатации турбин ГЭС в режимах защиты планктона от кавитационного воздействия» . М.: Межведомственная ихтиологическая комиссия, 1995. 6 с.

- Bell M. C. Revised compendium on the success of passage of small fish through turbines. Portland (Ore.): U.S. Army Corps of Engineers, North Pacific Div., 1990. 83 p.
- Bunn S. E., Arthindton A. H. Basic principles and ecological consequence of altered flow regimes for aquatic biodiversity // *Environmental Management*. 2002. Vol. 30. № 4. P. 492–507.
- Cada G. F. A review of studies relating to the effects of propeller-tupe turbine passage on fish early life stages // *N. Amer. J. Fish. Manag.* 1990. Vol. 10. P. 418–426.
- Cada G. F., Coutant C. C., Whitney R. R. Development of biological criteria for the design of advanced hydropower turbines. Idaho Falls (Idaho): U.S. Dep. of Energy Idaho Operations Office, 1997. 85 p.
- Calderwood W. L. Passage smolts through turbines effect of high pressure // *Ibid.* 1945. № 115. P. 214–221.
- Clay C. H. Desing of fishway and other fish facilities (2nd edition). Boca Raton. Florida, USA: CRS Press Publisher, 1995. 248 p.
- Clay C. H. Desing of fishways and other fish facilities. The Department of Fisheries of Canada. Ottawa, 1961. 301 p.
- Cramer F. K., Oligher R. C. Passing fish through hydraulic turbines // *Trans. Amer. Fish. Soc.* 1964. Vol. 93. № 5. P. 243–259.
- Durkin J. T., Park D. L., Raleigh R. F. Distribution and movement of juvenile salmon in Brownlee reservoirs, 1962–1965 // *Fish. Bull.* 1970. Vol. 68. № 2. P. 219–243.
- Dembinski W. Vertical distribution of vendace *Coregonus albula* L. and otherpelagic fish species in some Polish lakes. // *J. Fish. Biol.* 1971. № 3. P. 341–357.
- Ebel W. J. Review of effects of environmental degradation on the freshwater stages of anadromous fish // *Habitat modification and freshwater fisheries: Proc. of a symp. of EIFAC / Ed. J. S. Alutaster. L.: Butterworths, 1975. P. 67–79.*
- Elder H. Y. Biological effects of water utilization by hydroelectric schemes in relation to fisheries, with special reference to Scotland // *Proc. Roy. Soc. Edinburg B.* 1965. Vol. 69. № 3/4. P. 246–271.
- Ginn T. C., Poje G. V., O'Connor J. M. Survival of planktonic organisms following passage through a simulated power plant condenser tube // *Fourth national workshop on entrainment and impingement: Ecological analysis communications.* New York: Melville, 1978. P. 91–101.
- Haddingh R. H. Fish intake mortality at power station the problem and remedy // *Hydrobiol. Bull.* 1979. Vol. 13. № 2/3. P. 83–93.
- Haddingh R. H. Mortality of young fish in the cooling water system Bergum power station // *Verh. Intern. verein. Theor. und angew. Limnol.* 1978. Bd. 20. № 3. P. 347–352.
- Hamilton J., Roy A. An immigrant of the effect of Baker Dam on down stream migrant salmon // *Dissert. Abstis.* 1955. Vol. 15. № 10. P. 98–101.
- Ickes B. S., Wlosinski J. H., Knights B. C., and Zigler S. J. Fish passage through dams in large temperate floodplain rivers: an annotated bibliography. U.S. Geological Survey, Upper Midwest Environmental Sciences Center, La Crosse. Wisconsin. 2001. 166 p. LTRMP web-based report available online at: [http://www.umesc.usgs.gov/ltrmp\\_fish/fish\\_passage\\_biblio.html#lit](http://www.umesc.usgs.gov/ltrmp_fish/fish_passage_biblio.html#lit). (accessed June 2001).
- Lucas K. S. The mortality of fish passing through hydraulic turbines as related to cavitation and performance characteristics, pressure change, negative pressure, and other factors // *Cavitation and hydraulic machinery: Proc. of IAHR (Intern. Assoc. hydraulic research) symp. / Ed. P. Numachi. Sendai: IAHR, 1962. P. 307–335.*
- Marmulla G. (ed.) Dams, fish and fisheries. Opportunities, challenges and conflict resolution. FAO Fisheries Technical Paper. № 419. Rome: FAO, 2001. 166 p.
- Machidori S. Vertical distribution of the salmon (Genus *Oncorhynchus*) in the North-Western Pacific. // *I. Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab.* 1966. № 31. P. 11–17.
- Muir J. F. Passage of young fish through turbines // *J. Power Div. Proc. Amer. Soc. Civil Eng.* 1959. Vol. 85. № 1. P. 23–46.
- Northcote T. G. Migratory strategies and production in freshwater fishes // *Ecol. Freshwater Fish Prod.* Oxford e.a.: *Freshwater Fish Prod.*, 1978. P. 326–359.
- Pavlov D. S., Barus V., Nezdolij V. K. et al. Downstream fish migration from Mostiste and Vestonice reservoirs. Praha: Academia, 1987. 63 p.
- Poff N. L., Allan J. D., Bain M. B., Karr J. R., Prestegard K. L., Richter B. D., Sparks R. E., and Stromberg J. C. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration // *BioScience.* 1997. Vol. 47. P. 769–784.
- Postel S., Richter B. *Rivers for life: managing water for people and nature.* Washington, D.C., USA: Island Press, 2003. 253 p.
- Williams J. G. Mitigting the effects of high-head dams of the Columbia River, USA: experience from the trenches // *Hydrobiologia.* 2008. Vol. 609. P. 241–251.

# THE DAMAGE TO WATER BIOLOGICAL RESOURCES IN THE RESERVOIRS OF THE VOLGA-KAMA CASCADE CAUSED BY HYDRO POWER PLANTS

**LOGINOV**  
**Vladimir Vladimirovich**

*Nizhny Novgorod Department of the State Research Institute of Lake and River Fisheries name L.S. Berg, loginovvv69@mail.ru*

**GELASHVILI**  
**David**

*Nizhny Novgorod State University name N.I. Lobachevsky, ecology@bio.unn.ru*

## **Key words:**

aquatic biological resources  
the Volga-Kama cascade of reservoirs  
hydro power plant  
damage to aquatic biological resources

**Summary:** Hydro structures on rivers adversely affects fisheries, disturbing the conditions of natural reproduction of fish. All hydro power plants cause enormous damage to aquatic biological resources (ABR), especially fish populations. Water works of Volga-Kama cascade of reservoirs are no exception. Therefore, the investigation of the impact of hydro power plants and other hydro structures on ABR in lowland reservoirs and especially the reservoirs of the Volga-Kama cascade is undoubtedly crucial. The purpose of this paper is to analyze the damage to ABR inflicted by HPP cascade mainly the Volga-Kama cascade on the basis of reported data and those of field observations.

## **References**

- Avakyan A. B. Asarin A. E. The experience of ecologization of level regime of reservoirs (by the example of Ivankovskoye), *Prostranstvennaya struktura i dinamika raspredeleniya ryb vo vnutrennih vodoemah*. Yaroslavl', 1998. P. 71–84.
- Aksenova E. I. The seasonal and annual changes in the phytoplankton of the lower Don and the dam of the reach of Tsimlyansk reservoir, *Izvestiya GosNIORH*. 1969. T. 65. P. 141–158.
- Ahmetshin I. F. Substantiation of environmentally friendly modes of operation of hydroelectric turbines. Bratsk, 2006. 20 p.
- Beznosov V. N. Goryunova S. V. Kuchkina M. A. Ecological optimization of hydraulic structures: the main directions and principles of conceptual, *Vestnik RUDN. Ser. Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2007. No. 4. P. 41–53.
- The biological rationale for waterworks equipment Zhiguli hydropower plant fish ladders and fish protection devices, SO FGNU «GosNIORH»; Fondy OAO «NIIES». Volgograd, 2011. 176 p.
- Blagovidov L. A. Downstream course juvenile herring in the lower reaches of the Volga River, *Trudy VNIRO*. 1941. T. 16. P. 46–60.
- Vasnevov V. V. The origin of anadromous fish spawning migrations, *Ocherki po obschim voprosam ihtiologii*. M.; L.: Izd-vo AN SSSR, 1953. P. 227–241.
- Vvedenskiy O. G. The use of hydraulic jets to improve the technology works fish channels structures, *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo*. 2009. No. 1. P. 21–27.
- Vvedenskiy O. G. Providing natural reproduction of fish in a reservoir, *Zhivotnye: Ekologiya, biologiya i ohrana: Materialy Vserop. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem*. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2012. P. 66–68.
- Vvedenskiy O. G. Manage running fish going to spawn, through the high-pressure hydropower stations, *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo*. 2011. No. 1. P. 46–49.
- Vuglinskiy V. S. Water resources and water balance of large reservoirs of the USSR. L.: Gidrometeoizdat, 1991. 224 p.
- Volodin V. M. About carrying out of fishes through a dam of Rybinsk hydroelectric power station, *Byulleten' In-ta biologii vodohranilisch AN SSSR*. 1958. No. 2. P. 63.
- Downstream migration and distribution of juvenile carp, perch and herring fish in the river below the dam of the Volgograd Volga Hydroelectric. M., 1991. 24 p.
- Dubinina V. G. Lukin A. A. Martynov A. S. Evlanov I. A. Plenary meeting of the Scientific Advisory Board for the integrated water resources management and protection of water ecosystems, with the participation of thematic community on the problems of large dams on the subject: "Assess-

- ment of the impact of construction and operation of dams on the state of conservation and reproduction of aquatic biological resources”, *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN*. 2012. T. 14. No. 1. P. 296–302.
- Evlanov I. A. Rozenberg G. S. Features of the calculation of damage to water biological resources of the Volga hydroelectric reservoirs to work in modern conditions: the positive and negative aspects of hydro, *Rybohozyaystvennyye problemy stroitel'stva i ekspluatatsii plotin i puti ih resheniya: Materialy zasedaniya tematicheskogo soobschestva po problemam bol'shih plotin i nauchnogo konsul'tativnogo soveta Mezhdunarodstvennoy Ihtiologicheskoy komissii*. M.: WWF Rossii, 2010. P. 101–110.
- Methods of assessing the ecological impact of hydropower plants in the basin scale, *Materialy VIII Mezhdunar. nauchno-prakt. konf. «Reki Sibiri i Dal'nego Vostoka»*. Irkutsk: IROO «Baykal'skaya Ekologicheskaya Volna», 2013. P. 144–147.
- Zhidovinov V. I. Features of downstream migration of juvenile carp, perch and herring fish, as the basis of ecological means of their protection in the delta of the Volga River. M., 1985. 242 p.
- Zaharchenko A. V. Effect of hydrostatic pressure on the behavior of openly- and close air bladder fish in the water flow. M., 2004. 104 p.
- Zenin A. A. The nature of the mixing of water masses in the dam of the Tsimlyansk, Gorki, Kuibyshev and Stalingrad reservoirs, *Gidrohimiicheskie materialy*. 1961. T. 32. P. 45–53.
- Ivanov A. V. Providing the security of fish at water intakes. M., 2007. 219 p.
- Ivanov A. V. Modern measures for prevention of hit of fishes and other water biological resources in water intaking constructions of objects of power. M.: Korporativnyy energeticheskiy universitet, 2015. 43 p.
- Isaev A. I. Karpova E. I. Fish industry reservoirs. Directory. M.: Agropromizdat, 1989. 255 p.
- Katunin D. N. Hripunov I. A. Dubinina V. G. Estimation of influence on aquatic resources and their habitat Volga-Kama cascade HPP, *Rybohozyaystvennyye problemy stroitel'stva i ekspluatatsii plotin i puti ih resheniya: Materialy zasedaniya tematicheskogo soobschestva po problemam bol'shih plotin i nauchnogo konsul'tativnogo soveta Mezhdunarodstvennoy Ihtiologicheskoy komissii*. M.: WWF Rossii, 2010. P. 8–18.
- Klevakin A. A. Loginov V. V. Minin A. E. Postnov D. I. Determine the permissible irreversible river flow and establishing ecological water releases in the Penza reservoir, *Chistaya voda: problemy i resheniya*. 2012a. No. 3–4. P. 33–37.
- Klevakin A. A. Loginov V. V. Minin A. E. Postnov D. I. Determine the permissible irreversible river flow and establishing ecological water releases in the Gorky reservoir, *Voda: himiya i ekologiya*. 2012b. No. 8. P. 8–15.
- Klevakin A. A. Loginov V. V. Moiseev A. V. Features of distribution of larvae and early juvenile fish in the region of Nizhny Novgorod hydroelectric power station and the definition of direct loss of aquatic biological resources in the early stages of development, the use of water to hydropower needs, *Trudy VNIRO*. 2015. T. 155. P. 56–68.
- Koblickaya A. F. Study of the daily distribution of fish as one of the ecological studies methods, *Voprosy ekologii*. 1962. T. 4. P. 118–119.
- Koblickaya A. F. Seasonal migration of young fish in the lower reaches of the Volga delta in the period preceding the regulation of the flow, *Trudy Astrahanskogo gosudarstvennogo zapovednika. Astrahan': Izd-vo gazety «Volga»*, 1958. Vyp. 4. P. 209.
- Kostyurin N. N. Determine the impact of water intake facilities on the fish fauna of the Volga delta and methods for assessing damage to fisheries. *Astrahan'*, 2000. 112 p.
- Loginov V. V. To a question about the impact of hydraulic structures on aquatic biological resources, *Nauchnyy obozrevatel'*. 2014. No. 9 (45). P. 32–34.
- Loginov V. V. Klevakin A. A. Moiseev A. V. Determination of damage to aquatic biological resources in the waterworks technical water Nizhny Novgorod HPP, *Vodnoe hozyaystvo Rossii*. 2016. No. 1. P. 84–98.
- Luk'yanenko V. I. Influence of construction on the reproduction of commercial fish, *Vestnik AN SSSR*. 1989. No. 12. P. 50–59.
- Luferova L. A. Effect of HPP on zooplankton Gorky Reservoir, *Byullyuten' Instituta biologii vodohranilisch AN SSSR*. 1960. No. 6. P. 38–39.
- Low water on the Volga is rated as a disaster, *Inovatsii + Pablisiti*. 2015. No. 2 (23). P. 10–11.
- Murashov A. V. Dubinina V. G. Aleksandrovskaya A. Yu. The requirements of fisheries and their consideration in the development of the rules of use of water resources of reservoirs of HPP, *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo*. 2009. No. 12. P. 28–32.
- Nezdoliy V. K. Sazonov Yu. G. The impact of sharp changes hydrostatic pressure on juvenile fish species, *Materialy konf. prof. prep. sostava. Alma-Ata: Izd-vo Kazahsk. un-ta*, 1974. P. 83–86.
- Norms of permissible impact on the river basin of the Volga below the Rybinsk reservoir to the confluence of the Oka River. *Nizhniy Novgorod: ANO «Privolzhskiy centr zdorov'ya sredy»*, 2009a. 1646 p.

- Norms of permissible impact on the river basin of Sura. Nizhniy Novgorod: ANO «Privolzhskiy centr zdorov'ya sredy», 2009b. 1439 p.
- On approval of the methodology for calculating the damages caused to water biological resources, Byul. normat. aktov feder. organov isp. vlasti. 2012. No. 27. P. 3–71.
- On approval of the Procedure for carrying out fisheries melioration of water bodies, Byul. normat. aktov feder. organov isp. vlasti. 2015. No. 40. P. 69–81.
- Related report: "Assessing the impact of hydraulic units and spillways Zhigulevskaya HPP on water biological resources and their habitats". Saratov, 2015. 282 p.
- Pavlov D. S. Lupandin A. I. Kostin V. V. Temporal stability characteristics of the downstream migration of fish from the reservoirs, Sb. nauch. tr. Hidroproekta. 1991. Vyp. 147. P. 43–51.
- Pavlov D. S. Pahorukov A. M. Kuragina G. N. Some regularities migration of young fish in the rivers Volga and Kuban, *Voprosy ihtiologii*. 1977. Vyp. 3. P. 415–428.
- Pavlov D. S. Nezdoliy V. K. Hodorevskaya R. P. Downstream migration of juvenile fish in the rivers Volga and Or. M.: Nauka, 1981. 320 p.
- Pavlov D. S. Katunin D. N. Alehina R. P. The requirement of Fisheries to the volume of spring water release in the Volga delta, *Rybnoe hozyaystv*. 1989. T. 3. P. 29–33.
- Pavlov D. S. Barekhan A. Sh. Ripinskiy I. I. Ecological way of protection of fishes on turn by a stream of an open stream. M.: Nauka, 1982. 112 p.
- Pavlov D. S. Biological bases of management of behavior of fishes in water flow. M.: Nauka, 1979. 319 p.
- Pavlov D. S. Optomotor reactions and orientation features of the fish in the water flow. M.: Nauka, 1970. 148 p.
- Pavlov D. S. The ratio of young fish to the water flow and orientation in it, *Zoologicheskij zhurnal*. 1966. T. 45. Vyp. 6. P. 891–896.
- Pavlov D. S. Kostin V. V. Ostrovskiy M. P. Effect of zone location withdrawal runoff on downstream migration fish (for example, the Sheksna reservoir and Lozsko Azatskogo-Lake). M.: IEMEZ AN SSSR, 1991. 142 p.
- Pavlov D. S. Lupandin A. I. Kostin V. V. Downstream Migration of Fish through Dams of Hydroelectric Power Plants. M.: Nauka, 1999. 255 p.
- Pavlov D. S. Lupandin A. I. Kostin V. V. The phenomenon of downstream migration the fish from the reservoirs (patterns and mechanisms), *Aktual'nye problemy racional'nogo ispol'zovaniya biologicheskikh resursov vodohranilisch*. Rybinsk: Rybinskiy Dom pečati, 2005. P. 224–238.
- Pavlov D. S. Lupandin A. M. Kostin V. V. Mechanisms of downstream migration of juvenile the fish river. M.: Nauka, 2007. 213 p.
- Pavlov D. S. Pahorukov A. M. Biological basis of protecting the fish from falling into the water intake structures. M.: *Legkaya i pischevaya promyshlennost'*, 1983. 264 p.
- Pavlov D. S. Skorobogatov M. A. The migration of fish in regulated rivers. M.: *Tovarischestvo nauchnyh izdaniy KMK*, 2014. 413 p.
- Pavlov D. S. Gorin A. M. P'yanov A. I. Downstream migration the fish of the Kama Reservoir through HPP turbines, *Pokatnaya migraciya ryb*. M.: IEMEZ AN SSSR, 1985. P. 5–22.
- Postoev B. C. Patyakin V. I. Manukovskiy A. Yu. Aeration protection of ecological systems of reservoirs against destructive influence of hydromachine. SPb.: *Izd-vo SPb. un-ta*, 2003. 176 p.
- Postoev V. S. Death of plankton in turbines of hydroelectric power plants and a way of his protection, *Vodnye resursy*. 1997. T. 24. No. 2. P. 186–191.
- Postoev V. S. Patyakin V. I. Ugryumov B. I. Protection against death of hydrobionts in flowing channels of hydromachine. SPb.: *Izd-vo SPbLTA*, 1999. 116 p.
- Priymachenko A. D. The main features of the Volga phytoplankton after construction of the Gorky and Kuibyshev dams, *Gidrobiologicheskij zhurnal*. 1966. T. 2. No. 2. P. 17–25.
- Rozenberg G. S. Volga basin: on the way to a sustainable development. *Tol'yatti: Kassandra*, 2009. 478 p.
- Fisheries problems of construction and operation of dams and their solutions. Materials of the meeting of the thematic community on the problems of large dams and the Scientific Advisory Council of the Interdepartmental Commission Ichthyological. M.: WWF Rossii, 2010. 176 p.
- The collection of materials of a round table on a subject: "Actual problems in the sphere of ensuring ecological safety of water resources". Tver': *Kupol*, 2015. 156 p.
- Simonov E. Examples of international practice of ecological releases downstream hydroschemes and optimization Basin Hydropower Planning, *Rybohozyaystvennyye problemy stroitel'stva i ekspluatcii plotin i puti ih resheniya: Materialy zasedaniya tematicheskogo soobschestva po problemam bol'shih plotin i nauchnogo konsul'tativnogo soveta MIK*. Moskva, 25 fevralya 2010 g. M.: WWF Rossii, 2010. P. 137–149.
- Sorokin Yu. I. To the estimation of mortality of plankton in the high-pressure hydro turbines HPP, *Zhurnal obschey biologii*. 1990. T. 51. P. 682–687.
- SP. Sanitary Rules 101.13330. "Retaining walls, shipping locks, fish passing and fish protection facilities. Revised edition of SNiP 2.06.07-87". M.: *Minregion Rossii*, 2012. 68 p.

- Syrovatskaya N. I. Creating reserves of valuable fish Tsimlyansk reservoir, *Rybnoe hozyaystvo*. 1953. No. 10. P. 29–34.
- Tanasiychuk V. S. The migration of juvenile of vobla through Kultuchnaya zone aqua Volga delta, *Trudy kaspiyskogo basseynovogo filiala VNIRO. Astrahan'*, 1950. T. 11. P. 167.
- Tarverdieva M. I. Downstream migration and distribution of juvenile fish in the western part of the lower delta of the Volga in 1957. M., 1958. P. 67–68.
- Filatova T. N. Experience studies of currents in inland waters on an example of the Tsimlyansk Reservoir, *Trudy GGI*. 1964. Vyp. 113. P. 65–73.
- The distribution of juveniles fish in the the coastal zone water currents of the delta of the Volga and its relationship with the downstream migration. M., 2001. 235 p.
- Cvetkov V. I. Pavlov D. Nezdoliy V. K. Lethal drops the hydrostatic pressure for juveniles of some fresh-water fishes, *Voprosy ihtiologii*. 1972. T. 12. Vyp. 2 (73). P. 344–356.
- Ceeb Ya. Ya. The preliminary study of the effect of work on hydroelectric power plant on zooplankton, *Gidrobiologicheskij zhurnal*. 1980. T. 16. No. 3. P. 40–45.
- Chugunov N. L. Biology of commercial fishes of the Volga-Caspian area, *Tr. Astrah. nauchn. rybohoz. stancii*. 1928. T. 6. Vyp. 4. P. 280.
- Shakirova F. M. Tairov R. G. Influence of anthropogenic factors on the change in hydrofauna the Kuibyshev Reservoir, *Rybohozyaystvennye issledovaniya na vodnyh ob'ektah evropeyskoy chasti Ros-sii: Sb. nauch. rabot, posvyasch. 100-letiyu GosNIORH*. SPb., 2014. P. 88–104.
- Shashulovskiy V. A. Mosiyash S. S. Ermolin V. P. The comparative characteristic of the dynamics of fisheries resources Lower Volga reservoirs, *Basseyn Volgi v XXI-m veke: struktura i funkcionirovanie ekosistem vodohranilisch / In-t biologii vnutr. vod im. I. D. Papanina RAN: Sb. materialov dokl. uchastnikov Vserossiyskoy konf. Borok, 22–26 oktyabrya 2012. Izhevsk, 2012. P. 358–361.*
- Ecological encyclopedia, *Pod red. V. I. Danilova-Danilyana*. T. 5. M.: Enciklopediya, 2011. 448 p.
- Ecological requirements to hydroelectric power plants the purpose of minimization the death of plankton and the fish. M., 1994. 25 p.
- Expert report on the normative and technical paper “Hydraulic Power Plant (HPP). Requirements to the mode of operation of turbines HPP requirements of protection modes of plankton from cavitation”. M.: *Mezhvedomstvennaya ihtiologicheskaya komissiya*, 1995. 6 p.
- Bell M. C. Revised compendium on the success of passage of small fish through turbines. Portland (Ore.): U.S. Army Corps of Engineers, North Pacific Div., 1990. 83 p.
- Bunn S. E., Arthindton A. H. Basic principles and ecological consequence of altered flow regimes for aquatic biodiversity, *Environmental Management*. 2002. Vol. 30. No. 4. P. 492–507.
- Cada G. F. A review of studies relating to the effects of propeller-tupe turbine passage on fish early life stages, *N. Amer. J. Fish. Manag.* 1990. Vol. 10. P. 418–426.
- Cada G. F., Coutant C. C., Whitney R. R. Development of biological criteria for the design of advanced hydropower turbines. Idaho Falls (Idaho): U.S. Dep. of Energy Idaho Operations Office, 1997. 85 p.
- Calderwood W. L. Passage smolts through turbines effect of high pressure, *Ibid.* 1945. No. 115. P. 214–221.
- Clay C. H. *Desing of fishway and other fish facilities* (2nd edition). Boca Raton. Florida, USA: CRS Press Publisher, 1995. 248 p.
- Clay C. H. *Desing of fishways and other fish facilities*. The Department of Fisheries of Canada. Ottawa, 1961. 301 p.
- Cramer F. K., Oligher R. C. Passing fish through hydraulic turbines, *Trans. Amer. Fish. Soc.* 1964. Vol. 93. No. 5. P. 243–259.
- Durkin J. T., Park D. L., Raleigh R. F. Distribution and movement of juvenile salmon in Brownlee reservoirs, 1962–1965, *Fish. Bull.* 1970. Vol. 68. No. 2. P. 219–243.
- Dembinski W. Vertical distribution of vendace *Coregonus albula* L. and otherpelagic fish species in some Polish lakes., *J. Fish. Biol.* 1971. No. 3. P. 341–357.
- Ebel W. J. Review of effects of environmental degradation on the freshwater stages of anadromous fish, *Habitat modification and freshwater fisheries: Proc. of a symp. of EIFAC*, Ed. J. S. Alutaster. L.: Butterworths, 1975. P. 67–79.
- Elder H. Y. Biological effects of water utilization by hydroelectric schemes in relation to fisheries, with special reference to Scotland, *Proc. Roy. Soc. Edinburg B.* 1965. Vol. 69. No. 3/4. P. 246–271.
- Ginn T. C., Poje G. V., O'Connor J. M. Survival of planktonic organisms following passage through a simulated power plant condenser tube, *Fourth national workshop on entrainment and impingement: Ecological analysis communications*. New York: Melville, 1978. P. 91–101.
- Haddingh R. H. Fish intake mortality at power station the problem and remedy, *Hydrobiol. Bull.* 1979. Vol. 13. No. 2/3. P. 83–93.
- Haddingh R. H. Mortality of young fish in the cooling water system Bergum power station, *Verh. Intern. verein. Theor. und angew. Limnol.* 1978. Bd. 20. No. 3. P. 347–352.
- Hamilton J., Roy A. An immigrant of the effect of Baker Dam on down stream migrant salmon, *Dissert. Abstis.* 1955. Vol. 15. No. 10. P. 98–101.

- Ickes B. S., Wlosinski J. H., Knights B. C., and Zigler S. J. Fish passage through dams in large temperate floodplain rivers: an annotated bibliography. U.S. Geological Survey, Upper Midwest Environmental Sciences Center, La Crosse. Wisconsin. 2001. 166 r. LTRMP web-based report available online at: [http://www.umesc.usgs.gov/ltrmp\\_fish/fish\\_passage\\_biblio.html#lit](http://www.umesc.usgs.gov/ltrmp_fish/fish_passage_biblio.html#lit). (accessed June 2001).
- Lucas K. S. The mortality of fish passing through hydraulic turbines as related to cavitation and performance characteristics, pressure change, negative pressure, and other factors, Cavitation and hydraulic machinery: Proc. of IAHR (Intern. Assoc. hydraulic research) symp., Ed. P. Numachi. Sendai: IAHR, 1962. P. 307–335.
- Marmulla G. (ed.) Dams, fish and fisheries. Opportunities, challenges and conflict resolution. FAO Fisheries Technical Paper. No. 419. Rome: FAO, 2001. 166 p.
- Machidori S. Vertical distribution of the salmon (Genus *Oncorhynchus*) in the North-Western Pacific., I. Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab. 1966. No. 31. P. 11–17.
- Muir J. F. Passage of young fish through turbines, J. Power Div. Proc. Amer. Soc. Civil Eng. 1959. Vol. 85. No. 1. P. 23–46.
- Northcote T. G. Migratory strategies and production in freshwater fishes, Ecol. Freshwater Fish Prod. Oxford e.a.: Freshwater Fish Prod., 1978. R. 326–359.
- Pavlov D. S., Barus V., Nezdolij V. K. et al. Downstream fish migration from Mostiste and Vestonice reservoirs. Praha: Academia, 1987. 63 p.
- Poff N. L., Allan J. D., Bain M. B., Karr J. R., Prestegard K. L., Richter B. D., Sparks R. E., and Stromberg J. C. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration, *BioScience*. 1997. Vol. 47. P. 769–784.
- Postel S., Richter B. *Rivers for life: managing water for people and nature*. Washington, D.C., USA: Island Press, 2003. 253 p.
- Williams J. G. Mitigting the effects of high-head dams of the Columbia River, USA: experience from the trenches, *Hydrobiologia*. 2008. Vol. 609. P. 241-251.