

## КОМПЛЕКСНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВЛИЯНИИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ ПЛАНКТОНА

Отченаш Н.Г., Медведева Е.В.

*Северный филиал Всероссийского научно-исследовательского института  
рыбного хозяйства и океанографии,  
г. Архангельск, Российская Федерация  
medvedeva23@pinro.com*

В работе проанализированы сведения по оценке смертности фито- и зоопланктона, полученные исследователями на гидроэлектростанциях разной мощности, находящихся на 14 зарегулированных водотоках. В работу вошли исследования, полученные специалистами с 1945 по 2021 гг. Работа проведена на основе литературных данных, опубликованных как в отечественных, так и в зарубежных изданиях.

**Ключевые слова:** фитопланктон, зоопланктон, гидроэлектростанции, гибель планктона, выживаемость.

*Введение.* Любое строительство на реках неблагоприятно сказывается гидробионтах, нарушая условия их естественного обитания и воспроизводства. Не являются исключением и гидроэлектростанции (ГЭС) с прилегающими водохранилищами. В многочисленных работах отмечается, что наличие ГЭС на водотоке приводит к обеднению животного и растительного планктона [1-4]. В настоящее время специалисты объясняют снижение численности и биомассы планктона ниже плотины механическим воздействием турбулентности, взаимодействием водных потоков с твердыми поверхностями и кавитацией, причем главными из них являются перепады давления и кавитация [1, 4, 5]. Поэтому исследования воздействий гидроэлектростанций и других гидротехнических сооружений на водные биологические ресурсы не теряют своей актуальности. Целью настоящей работы является анализ данных о вреде, наносимом планктонным сообществам при прохождении гидросооружений на основании обзора литературных источников.

*Материалы и методы исследований.* Материалами для данной статьи послужили 30 научных работ, созданных при участии более 60 авторов, изданных в период с 1945 по 2021 гг.

*Результаты и их обсуждение.* Водоросли, благодаря высокой чувствительности к условиям окружающей среды, играют важную роль в биологическом анализе, который наряду с другими методами используется для оценки экологического состояния водоема и контроля качества воды. Создание гидроэлектростанций сопровождается изменениями во всех звеньях речной экосистемы. При скате через турбины ГЭС, планктонные организмы подвергаются механическому воздействию [6, 7], влиянию перепадов давления [8-10], кавитации, воздействию турбулентности и сдвигающих напряжений [11-13], возникающих при резком изменении скорости и направления движения потока. Гибель и степень повреждаемости зависят от типа турбины, высоты напора, скорости вращения рабочего колеса, величины перепада давления в турбине, величины зазора между направляющими лопастями и лопастями рабочего колеса [14, 15]. Те же выводы следуют из более

поздних работ гидробиологов [4], что согласуются с работами зарубежных авторов [16-18]. Развитие фитопланктона обуславливается совокупным воздействием множества факторов, меняющихся при зарегулировании водотоков [19].

Одним из важнейших элементов диагностики жизнеспособности клеток водорослей является определение соотношения живых и мертвых клеток. Исследования разных рек показывают, что процентное содержание живых клеток в толще воды после прохождения ГЭС в течение года превышало количество мертвых, но в разные месяцы оно неодинаково [20]. В зимние месяцы численность мертвых клеток в среднем соответствует 30-36 % от общей численности зимнего фитопланктона. Весной на фоне возрастающего видового разнообразия фитопланктона и его обилия количество живых клеток в толще воды постепенно растёт, достигая максимума в мае. На протяжении двух месяцев (с конца апреля по конец июня) количество живых клеток намного превышает таковую мертвых, достигая 87-96 % от общей численности. В июле-августе доля живых клеток в толще воды редко превышает 80 % и в среднем составляет 70 %. В осенний период численность мертвых клеток в среднем составляет 13-33 % от общей численности фитопланктона [20-24].

Таким образом, на основе изученных данных установлено, что различия в соотношении численности живых и мертвых клеток являются отражением сезонной сукцессии видов, которая определяется действием температуры воды, и гибель фитопланктона при прохождении турбин ГЭС наблюдается в малых количествах, чаще разрушаются колониальные формы на отдельные клетки, без потери жизнеспособности [22, 25]. Учитывая, что массовая гибель 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.

Зоопланктонные сообщества отражают общее состояние водоемов, служат индикатором качества воды, играют важную роль в процессах самоочищения и являются кормовой базой планктофагов. Доля погибших зоопланктонных организмов при прохождении ГЭС обусловлена множеством факторов: режимом эксплуатации водохранилища, высотой плотины (высотой перепада воды), составом планктона, его численностью, типом водозабора, мощностью ГЭС и характером нижнего бьефа [4, 5, 26]. Исторически сложилось так, что большинство исследований относится к крупным высокомоощным ГЭС, но эти данные неприменимы для оценки воздействия малых ГЭС на зоопланктеров, поскольку экстраполяция невозможна из-за отсутствия сравнительного анализа и многофакторности влияния ГЭС на зоопланктон. По данным Г.В. Шургановой, О.П. Дубовской, Н.И. Ермалаевой, А.Н. Гадинова при прохождении крупных ГЭС смертность зоопланктона может достигать 70-90 [4]. Однако эти данные приводятся для Волжско-Камского каскада, Красноярской ГЭС на Енисее, Нижегородской ГЭС на Оке и Усть-Илимской ГЭС, мощность которых составляет 1205-3840 МВт, в то время как мощность малых ГЭС на составляет 500 кВт до 10 МВт [27]. Кроме того, высота плотин крупных ГЭС значительно превышает аналогичные показатели меньших ГЭС. Закономерно предположить, что более корректным будет использование

данных о гибели планктонных организмов при прохождении малых ГЭС. По данным Ермолаевой Н.И. при прохождении через плотину происходит разрушение крупных организмов зоопланктона, общая численность снижается на 40-50 % [26], однако, исходя из последних исследований, и эти цифры можно считать завышенными.

По данным, полученным исследователями КамчатВНИРО в 2021 г. на Толмачевской ГЭС (установленная мощность 24,8 МВт), максимальная смертность зоопланктона наблюдалась на фоновой станции на верхнем бьефе в августе при максимальной биомассе зоопланктона (40-60 % в зависимости от способа расчёта). Е.В. Лепская предполагает, что это нормальное явление для зоны смешения вод из участка реки горного типа и водохранилища, это подтверждено предыдущими исследователями [5, 26]. Ниже фоновой станции зоопланктон, состоящий из короткоциклового вида клadoцер и коловраток, успевает восстановить численность и биомассу и, соответственно, доля мертвых особей зоопланктона здесь ниже. Для определения смертности зоопланктона на выбранных станциях Е.В. Лепской и её коллегами были применены два способа расчета доли мертвого зоопланктона: по отношению биомассы погибших особей к общей биомассе зоопланктона; через усреднение отношений биомассы погибших особей каждого вида к общей биомассе особей того же вида. Расчет доли погибшего зоопланктона первым способом показал, что в июне при минимальной биомассе зоопланктона доля мертвых животных составила 0,5% (0-1 %), по второму способу – 0,4 % (0-1 %); в августе при максимальной биомассе зоопланктона – 26 % (17-40 %) по первому варианту и 36 % (18-63 %) по второму; в октябре при среднем значении биомассы зоопланктона соответственно 9 % (2-16 %) и 6 % (2-9 %). Е.В. Лепская делает следующие выводы: выбор способа расчета требует обсуждения и стандартизации; при оценке ущерба зоопланктону нужно тщательно отнестись к выбору фоновой станции или вообще от нее отказаться, ограничившись исследованиями непосредственно в бьефах [28].

Необходимо отметить, что не все исследователи разделяют точку зрения о массовой гибели планктона в нижнем бьефе ГЭС, обусловленной зоной кавитации в гидротурбинах. [29, 30]. В указанных источниках утверждается, 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. Несмотря на подтверждение факта гибели гидробионтов под влиянием ГЭС, но в трактовке причин их гибели не находят 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. 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 защиты зоопланктона в турбинах ГЭС не имеет под собой значимой практической основы ни с точки

зрения экологии, ни с точки зрения рыбного хозяйства». Исходя из своих исследований В.В. Логинов и Д.Б. Гелашвили считают, что следует признать отсутствие однозначно устоявшегося мнения о причинах снижения численности планктонных организмов в нижнем бьефе плотин ГЭС. Они настаивают на необходимости дальнейших целенаправленных исследований по данному вопросу, учитывая, что достаточно веских доказательств гибели планктона в гидротурбинах ГЭС практически нет [22].

*Закключение.* Исходя из изложенного выше следует признать, что на современном этапе нет однозначно устоявшегося мнения о причинах снижения численности фитопланктонных организмов и элиминации зоопланктона на акватории ГЭС. Доля гибели планктонных организмов с большой вероятностью является завышенной и способы её подсчета несовершенны. Несомненно, для каждой ГЭС необходимо проводить собственные исследования по этому вопросу, т.к. невозможно учесть теоретически все факторы воздействия на зоопланктон. Следует отметить также недопустимость применения показателей гибели зоопланктона в высокомошных ГЭС по отношению к малым ГЭС. Нужны дальнейшие целенаправленные исследования.

### Библиографические ссылки

1. Луферова, Л.А. Влияние ГЭС на зоопланктон Горьковского водохранилища // Бюллетень Института биологии водохранилищ АН СССР. – 1960. – № 6. – С. 38-39.
2. Аксенова, Е.И. Сезонные и годовые изменения фитопланктона нижнего Дона и приплотинного плеса Цимлянского водохранилища // Известия ГосНИОРХ, – 1969. – Т. 65. – С. 141-158.
3. Цееб, Я.Я. Предварительное изучение влияния работы гидроаккумуляционной гидроэлектростанции на зоопланктон // Гидробиологический журнал. – 1980. – Т. 16. – № 3. – С. 40-45.
4. Сорокин, Ю.И. К оценке смертности планктона в гидротурбинах высоконапорных ГЭС // Журнал общей биологии. – 1990. – Т. 51. – С. 682-687.
5. Сток лимнического зоопланктона через высоконапорную плотину и его судьба в реке с быстрым течением (на примере плотины Красноярской ГЭС на р. Енисей) / О.П. Дубовская, М.И. Гладышев, О.Н. Махутова // Журнал общей биологии. – 2004. – Т.65. – №1. – С. 81-93.
6. Покатная миграция рыб через плотины ГЭС / Д. С. Павлов, А. И. Лупандин, В. В. Костин – М.: Наука, 1999. – 255 с.
7. 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.
8. Летальные перепады гидростатического давления для молоди некоторых пресноводных рыб / В.И. Цветков, Д.С. Павлов, В.К. Нездолий // Вопросы ихтиологии. – 1972. – Т. 12. – Вып. 2 (73). – С. 344-356.
9. Захарченко, А.В. Влияние гидростатического давления на поведение открыто- и закрытопузырных рыб в потоке воды: автореф. дис. ... кан-та биол. наук. – М., 2004. – 104 с.
10. Calderwood, W.L. Passage smolts through turbines effect of high pressure // Ibid. 1945. № 115. P. 214-221.
11. Muir, J.F. Passage of young fish through turbines // J. Power Div. Proc. Amer. Soc. Civil Eng. 1959. Vol. 85. № 1. P. 23-46.
12. 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.
13. Cramer, F.K., Oligher R. C. Passing fish through hydraulic turbines // Trans. Amer. Fish. Soc. 1964. Vol. 93. № 5. P. 243-259.
14. Ахметшин, И.Ф. Обоснование экологически безопасных режимов эксплуатации турбин ГЭС: автореф. дис. ... кан-та техн. наук. – Братск, 2006. – 20 с.
15. Приймаченко, А.Д. Основные особенности развития волжского фитопланктона после сооружений Горьковской и Куйбышевской плотин // Гидробиологический журнал. – 1966. – Т. 2. – № 2. – С. 17-25.
16. 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.

17. 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.
18. 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.
19. Шаров, А.Н. Фитопланктон холодноводных озёрных экосистем под влиянием природных и антропогенных факторов: дис. докт. биол. наук. – Санкт-Петербург, 2020. – 367 с.
20. Пономарева, Ю.А. Структура и динамика потамофитопланктона реки Енисей в нижнем бьефе Красноярской ГЭС: автореф. дисс. канд. биол. наук. – Красноярск, 2015. – 20 с.
21. Шабалин, Ю.В. Обоснование способа аэрационной защиты экосистем водоемов от воздействия гидромашин: автореф. дис. ...канд. техн. наук. – Санкт-Петербург, 2004. – С. 16-17.
22. Вред водным биологическим ресурсам водохранилищ Волжско-Камского каскада от воздействия гидроэлектростанций / В.В. Логинов, Д.Б. Гелашвили // Принципы экологии. – 2016. – № 4 (20)– С. 4-25.
23. Nai-cheng Wu, Tao Tang, Shu-chan Zhou, Xiao-cheng Fu, Wan-xiang Jiang, Feng-qing Li, Qing-hua Cai Influence of cascaded exploitation of small hydropower on phytoplankton in Xiangxi River. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. 2007 18(5):1091-6. P. 5-7.
24. Халиуллина, Л.Ю. Структура сообществ фитопланктона мелководий Волжского и Волжско-Камского плесов Куйбышевского водохранилища: дисс. ... канд. биол. наук – Казань, 2009. – С. 93-97.
25. Особенности расчёта ущерба водным биологическим ресурсам Волжских водохранилищ от работы ГЭС в современных условиях: положительные и отрицательные стороны гидростроительства/ И.А. Евланов, Г.С. Розенберг; Институт экологии Волжского бассейна РАН. – Тольятти, 2005. – 6 с.
26. Ермолаева, Н.И. Влияние Новосибирского гидроузла на зоопланктон нижнего бьефа // Материалы III конференции «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов» 24-28 августа 2010 г. – Новосибирск, 2010 г. – С. 105-107.
27. Возобновляемая энергия. Гидроэлектростанции России. Справочник. / М.И. Дворецкая, А.П. Жданова, О.Г. Лушников, И.В. Слива // под общей ред. к. т. н., проф. В. В. Берлина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. – 224 с.
28. Лепская, Е.В. К вопросу о методических подходах к оценке влияния малой ГЭС на зоопланктон реки // Материалы I конференции «Чтения памяти В. И. Жади́на» – Санкт-Петербург, 18-22 апреля 2022 г. – Санкт-Петербург, 2022. – 106 с.
29. Биологическое обоснование целесообразности оснащения гидротехнических сооружений Жигулевской ГЭС рыбопропускными и рыбозащитными устройствами / СО ФГНУ «ГосНИОРХ»; Фонды ОАО «НИИЭС». – Волгоград, 2011. – 176 с.
30. 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.