

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ (05.14.01)

УДК 621.039.099:504.055

DOI: 10.24160/1993-6982-2020-2-11-18

Открытые системы техводоснабжения атомных электрических станций как экологические регуляторы природно-технических систем

А.Л. Суздалева, В.Н. Безносков, М.А. Кучкина

Обосновано принципиально новое видение экологической роли объектов ядерной энергетики. Материалы предназначены для широкого круга специалистов, работающих в указанной области и заинтересованных в формировании адекватного имиджа своей деятельности.

На сегодняшний день отсутствие непредвзятой и всесторонней оценки воздействия объектов ядерной энергетики на окружающую среду не позволяет обоснованно опровергать распространяемую в обществе ложную информацию. Одним из аргументов, часто используемых противниками ядерной энергетики, является негативное воздействие нагретых сбросных вод. Эти заявления, как правило, не получают должного опровержения. Данная работа призвана изменить ситуацию.

Основным фактическим материалом послужили результаты многолетней работы авторов по исследованию экологического состояния водоемов-охладителей российских атомных электрических станций (АЭС). Согласно полученным данным, прохождение вод через системы технического водоснабжения АЭС нередко улучшает их качество. Искусственный подогрев воды в пресных и морских водных объектах повышает уровень их биологической продуктивности и биоразнообразия. Кроме того, усилить позитивные аспекты систем технического водоснабжения можно путем разработки экологически ориентированных инновационных решений, как на этапе проектирования АЭС, так и в процессе их эксплуатации. На базе систем технического водоснабжения АЭС возможно создание обширного комплекса различных хозяйственных объектов. Таким образом, регулируемая подача нагретых вод создает условия для формирования управляемых природно-технических систем. В развивающихся странах это позволит решить проблемы продовольственного кризиса и кризиса водопотребления. Реализация этих возможностей при разработке предпроектной, предпроектной и проектной документации АЭС будет способствовать росту конкурентоспособности ядерной энергетики и повышению экологической безопасности ее объектов.

Ключевые слова: водоем-охладитель, экологический регулятор, природно-техническая система, СТВ АЭС, экологическая ситуация.

Для цитирования: Суздалева А.Л., Безносков В.Н., Кучкина М.А. Открытые системы техводоснабжения атомных электрических станций как экологические регуляторы природно-технических систем // Вестник МЭИ. 2020. № 2. С. 11—18. DOI: 10.24160/1993-6982-2020-2-11-18.

Open Service Cooling Water Supply Systems of Nuclear Power Plants as Environmental Regulators of Natural-Technical Systems

A.L. Suzdaleva, V.N. Beznosov, M.A. Kuchkina

A fundamentally new vision of the ecological role of nuclear power facilities is substantiated. The materials given in the article are intended for a wide range of specialists working in this field and interested in forming an adequate image of their activities.

Nowadays, lack of an unbiased and comprehensive assessment of the impact of nuclear power facilities on the environment does not make it possible to firmly argue against false information disseminated in the society. One of the arguments often used by opponents of nuclear power is that discharged spent cooling water has a negative impact on the environment. As a rule, these statements remain without having been duly refuted. This article is intended to change the situation.

The results of the authors' long-standing work on studying the ecological condition of cooling water reservoirs at Russian nuclear power plants (NPPs) served as the main factual material for this article. According to the data received, the spent cooling water discharged from the NPP service cooling water systems often has better quality than that of the initial cooling water supplied to them. Owing to artificial heating of water in fresh and marine water bodies, they gain enhanced levels of biological productivity and biodiversity. In addition, the positive aspects of service cooling water supply systems can be further enhanced by developing environmentally oriented innovative solutions both at the stage of NPP designing and during their operation. An extensive set of various economic facilities can be developed by using the service cooling water supply systems of NPPs as a basis. Thus, by arranging controlled supply of heated water, conditions for setting up manageable natural-technical systems are created. In developing countries, this will make it possible to solve the problems of insufficient food and water consumption resources. The implementation of these capabilities in elaborating pre-investment, pre-design, and design documentation for NPPs will help improve the competitiveness of nuclear power and the environmental safety of its facilities.

Key words: cooling water reservoir, ecological regulator, natural-technical system, NPP service cooling water supply systems, ecological conditions.

For citation: Suzdaleva A.L., Beznosov V.N., Kuchkina M.A. Open Service Cooling Water Supply Systems of Nuclear Power Plants as Environmental Regulators of Natural-Technical Systems. Bulletin of MPEI. 2020;2:11—18. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2020-2-11-18.

Постановка проблемы

Большинство действующих атомных электростанций (АЭС) имеют либо прямоточную охлаждающую систему технического водоснабжения (СТВ АЭС) с использованием вод морей и крупных рек, либо оборотную охлаждающую СТВ с применением водоемов-охладителей [1].

Постоянный сброс больших объемов вод из СТВ и эксплуатация водоемов-охладителей нередко преподносятся широкой общественности как сугубо негативное явление и активно используются для дискредитации ядерной энергетики. Подобные утверждения противоречат результатам многочисленных научных исследований, но они доступны лишь узкому кругу специалистов. В то же время значительная часть современного человечества охвачена так называемым «экологическим страхом», заключающимся в безоговорочном принятии «на веру» любых сведений об угрозе своему здоровью в результате возможного изменения условий окружающей среды [2, 3]. Существующие реалии обуславливают необходимость предоставить обществу адекватное представление об экологических последствиях работы объектов ядерной энергетики и социально-экономическом эффекте их закрытия [4, 5, 6].

Система технического водоснабжения атомной электростанции как экологический регулятор условий

В современных условиях остановка работы крупных объектов энергетики неминуемо вызовет дестабилизацию социально-экономических условий и, в конечном счете, цепь экологических катастроф. Если разрушить плотины гидроэлектростанции (ГЭС), затрудняющие миграцию рыб, то реки заполнит огромное количество загрязнителей, скопившихся в донных отложениях водохранилищ за десятилетия [7]. Прекращение подогрева вод в водоемах-охладителях сопровождается массовой гибелью представителей развившейся в них теплолюбивой флоры и фауны, что неоднократно наблюдалось на практике [8, 9].

Решением проблемы является создание управляемых природно-технических систем (ПТС), позволяющих использовать ресурсы окружающей среды, сохраняя благоприятные условия для жизни человека и других живых организмов [7]. Стабильное существование подобных систем поддерживается работой инженерно-технических устройств и сооружений, а также регулярно проводимыми мероприятиями [10]. Независимо от своего характера и масштабов, они выполняют задачу экологического регулятора, т. е. поддерживают определенные условия в окружающей среде. Идея замены естественных, пусть даже деградирующих, экосистем управляемыми ПТС противоречит укоренившимся стереотипам «экологического мышления». На практике этот процесс получает все большее распространение, однако его стараются по возможности не замечать или интерпретировать как некие мероприятия частного характера. Специалисты в области охраны природы игнорируют тот факт, что даже заповедники сохраняются в благополучном состоянии только по той причине, что представляют собой не что иное, как управляемые ПТС. Прекращение работы поддерживающих их состояние инженерно-технических систем (водоотведения и др.) приведет к быстрой деградации экологической обстановки.

В условиях непрекращающегося роста народонаселения и объемов производства естественные механизмы самовосстановления природной среды все менее способны противостоять техногенным воздействиям. Частичная передача данной функции регуляторам управляемых ПТС — единственный путь, способный предотвратить наблюдающееся ухудшение экологической ситуации и одновременно обеспечить стабильные условия для эксплуатации энергетических и производственных объектов. Это не что иное, как реализация принятого ООН принципа устойчивого развития (Sustainable Development) [11, 12].

Несмотря на то, что СТВ АЭС создаются для выполнения сугубо технической задачи, на практике они, как правило, выполняют несколько функций.

Технико-эксплуатационная функция заключается в подведении необходимого объема воды к техническим узлам АЭС для обеспечения их работоспособного состояния.

Экологическая функция проявляется в многоплановой трансформации водной среды под воздействием комплекса техногенных факторов, обусловленных работой СТВ АЭС.

Системообразующая функция состоит в том, что благодаря работе СТВ АЭС возникает комплекс объектов и видов деятельности, существование которых зависит от сброса нагретых вод из технических узлов.

Технико-эксплуатационная функция реализуется в форме комплекса действий, включающих:

- бесперебойное поступление необходимого объема вод к теплообменному оборудованию и отвод от него нагретых вод;
- обеспечение определенного уровня температуры и других физико-химических параметров вод, поступающих во внутренние узлы СТВ;
- предотвращение биологических и биолого-химических процессов и явлений, способных нарушить работу теплообменного оборудования и других технических узлов (в совокупности они обозначаются как «биологические помехи» или «биопомехи»).

Среди факторов работы СТВ АЭС, способных оказать значимое влияние на окружающую среду, первоочередное значение имеют повышение температуры водных объектов и гибель организмов, попадающих с током в технические узлы.

Негативное воздействие на организмы отмечается при подогреве воды свыше 28...30 °С [13 — 16]. Некоторые виды приспособляются к подобным условиям, но при температуре воды 40 °С и выше происходит гибель большинства организмов [17]. Как российские, так и международные природоохранные нормативы, содержат требования по недопущению подобного уровня подогрева.

Следует обратить внимание, что уровень подогрева, вызывающий массовую гибель организмов, один и тот же в различных климатических зонах [18]. По этой причине сброс нагретых вод наиболее опасен в тропической зоне, где естественная температура нередко приближается к экстремальному уровню [19]. Избежать подобных явлений можно, выполняя сброс нагретых в СТВ АЭС вод в глубинные слои моря [20].

Гибель от травмирования организмов, попадающих с током воды в технические узлы, зависит как от их количества в районе водозабора, так и от конструктивно-компоновочных особенностей СТВ, а также длительности ее эксплуатации. Максимальное количество травмированных организмов отмечается на начальном этапе эксплуатации [21] или при пуске новых энергоблоков [22]. В такие периоды происходит формирование ПТС или ее временная дестабилизация, и биологические элементы, еще не успев приспособить-

ся к новым условиям, наиболее чувствительны к техногенным воздействиям. Но именно в эти же периоды в регионах размещения объектов ядерной энергетики наиболее интенсивно проводятся экологические исследования. Их результаты впоследствии экстраполируются на весь период эксплуатации СТВ. Кроме того, нередко в основу оценки их воздействия на окружающую среду ложатся максимальные значения, характеризующие негативные эффекты. В первых обзорных работах по экологии водоемов-охладителей указывалось, что гибель некоторых видов организмов, попадающих в технические узлы, может достигать 80% и более [18]. Впоследствии данные многократно использовались в качестве весомого аргумента во время выступлений в СМИ противников развития ядерной энергетики. Высокий процент гибели отдельных видов преподносился как показатель общей смертности организмов при прохождении вод через СТВ АЭС. Простое умножение этого показателя на численность (биомассу) планктона в районе водозабора, а также объем водопотребления и длительность эксплуатации, дает «ужасающие данные», которые не отражают реальную ситуацию. В действительности гибель организмов при попадании во внутренние узлы СТВ АЭС существенно ниже. В ходе многолетних исследований на Курской АЭС их доля обычно не превышала 25...30%, а в отдельные периоды снижалась до 3...5% [23]. Аналогичными были и результаты по зарубежным АЭС [24].

Таким образом, объективный подход к анализу технико-эксплуатационной функции СТВ АЭС свидетельствует о том, что при соблюдении требований действующих природоохранных нормативов ее работа не ухудшает экологическую ситуацию. Однако подобное заключение носит односторонний характер. Оно лишь отражает техногенное воздействие на водные объекты, но существует и обратный процесс — воздействие водной экосистемы на работу СТВ АЭС. Это проявляется как возникновение различного рода биопомех в закрытых частях СТВ. Данные явления обычно рассматриваются как появление каких-то организмов там, где их быть не должно. Следовательно, решение проблемы заключается в их уничтожении. Наиболее эффективна химическая защита. Но ужесточение природоохранного законодательства наложило запрет на многие ранее применявшиеся способы (купоросование и др.). неизбежно возникает трудноустраняемое противоречие. С одной стороны, уничтожить организм, поселившийся внутри технического узла, можно было бы, внося в проходящую через него воду токсичное вещество. Но, с другой стороны, с током воды данное вещество попадет в водный объект и отравит живущие в нем организмы, а возможно, создаст и угрозу для здоровья людей. В поисках решения следует вспомнить, что организмы, создающие биопомехи — это элементы водной экосистемы, из которой осуществляется забор воды. Именно из водного объекта они получают основную часть пита-

тельных веществ, поток которых и определяет уровень их развития. Например, так называемая «био пленка», образование которой на трубках конденсаторов способно снизить теплопередачу в несколько раз, состоит из бактерий и выделяемой ими слизи. Жизнедеятельность таких микроорганизмов поддерживается приносимыми из водного объекта растворенными органическими веществами. Экспериментально доказано, что повышение их содержания в воде (например, при загрязнении водоема-охладителя хозяйственно-бытовыми стоками) вызывает резкое увеличение интенсивности роста био пленки на поверхности теплообменников. Большинство так называемых «организмов-обрастателей», прикрепляющихся к стенкам водоводов и другого оборудования, питаются приносимыми с водой органическими частицами, значительная часть которых также прямо или косвенно образуется в результате загрязнения водоема-источника водоснабжения.

Изучение механизмов взаимосвязи технико-эксплуатационного режима и экологической ситуации открывает возможности для разработки инновационных методов борьбы с био помехами. Примером может служить использование так называемых «био пуль» (Biobullet), уже опробованных в ряде зарубежных стран [25]. Они представляют собой микрокапсулы с растворимой оболочкой, в которых заключено небольшое количество отравляющего вещества — биоцида. Внесенные в воду на входе в закрытую часть СТВ АЭС, био пули, как и другие частицы, отфильтровываются организмами-обрастателями. Внутри оболочки био пуль растворяются, и биоцид убивает организмы. Подобная «адресная доставка» позволяет многократно сократить необходимое количество биоцида и использовать быстрорастворяющиеся и относительно малотоксичные вещества.

Экологическая функция СТВ АЭС включает все аспекты работы АЭС, способствующие улучшению условий окружающей среды. Основными из них являются:

- умеренный подогрев вод;
- повышение качества вод при прохождении через закрытую часть СТВ АЭС;
- улучшение кислородного режима и увеличение подвижности вод в водных объектах;
- интенсификация процессов самоочищения;
- рост продуктивности водных экосистем и их био разнообразия за счет акклиматизации теплолюбивых форм.

В водоемах умеренной зоны температура водных объектов, как правило, ниже оптимальной для обитающих в них организмов [18]. По этой причине искусственный подогрев вод оказывает стимулирующее влияние на развитие организмов. Продуктивность планктона, донных животных и рыб на участках, расположенных вблизи от водосброса АЭС, нередко в несколько раз выше [13, 26 — 28]. По этой причине для теплового воздей-

ствия, оказывающего позитивный эффект, предложен специальный термин «калефакция» [29], принципиально отличный по своему смыслу от более распространенного понятия — «тепловое загрязнение».

Вопреки распространенному в обществе мнению, качество вод после их прохождения через закрытую часть СТВ АЭС не ухудшается, а, напротив, улучшается [23]. Подогрев воды и ее интенсивное перемешивание интенсифицируют процессы разложения различных загрязнителей. Содержание растворенного кислорода в воде в районах сброса нагретых вод близко к максимальному значению при данной температуре. Воды, вовлекаясь в мощное циркуляционное течение, распространяются по значительной акватории, не допуская накопления загрязнителей в застойных зонах и стимулируя процессы самоочищения [30]. Таким образом, СТВ АЭС можно рассматривать как своеобразные «экологические кондиционеры» водоемов-охладителей и морских акваторий, в которые осуществляется сброс нагретых вод.

В большинстве случаев водные экосистемы, формирующиеся в зонах распространения нагретых вод, отличаются от таковых, расположенных в этом же регионе, более высоким уровнем биологической продуктивности и значительным рыбохозяйственным потенциалом. Биоразнообразие в зонах искусственного подогрева вод, как правило, достаточно высоко. Подавляющее большинство местных видов приспосабливается к новым условиям [31, 32].

Результативность позитивных воздействий работы СТВ АЭС на экологическую ситуацию может быть значительно повышена, а негативные воздействия снижены путем учета различных аспектов ее экологической функции на этапах проектирования и эксплуатации. Для обозначения совокупности подобных технических решений и мер предложен термин «экологическая оптимизация» [8]. В рамках рассматриваемой проблемы общей целью указанной деятельности является повышение экологической безопасности объектов ядерной энергетики и расширение возможностей использования СТВ АЭС в качестве экологического регулятора.

В основе *системообразующей функции СТВ АЭС* лежит рациональное использование тепловой энергии, рассеиваемой в окружающей среде при сбросе нагретых вод, а целью является повышение качества жизни населения.

Основные направления реализации:

- создание энергобиологических комплексов;
- организация мест массового отдыха на подогреваемых участках водных объектов;
- развитие сельскохозяйственного производства и сохранение природных биологических объектов на основе промышленного опреснения вод морских вод с использованием тепловой энергии нагретых сбросных вод из СТВ АЭС.

Энергобиологические комплексы в обязательном порядке создавались при возведении АЭС в СССР. Они включали рыбоводческие и тепличные хозяйства, а также участки открытого обогреваемого грунта, использующие нагретые сбросные воды. Аналогичные комплексы на основе использования нагретых вод для получения пищевой продукции создавались и в других странах [33]. В результате изменения экономической системы в нашей стране большинство из энергобиологических комплексов перестало существовать, однако происходящая переориентация на отечественного производителя, возможно, изменит сложившуюся ситуацию.

Для людей, представление которых о регионах размещения АЭС, складывается на основе информации, поступающей из СМИ, сама мысль об организации в них мест массового отдыха кажется абсурдной. Вместе с тем, на большинстве российских водоемов-охладителей за пределами санитарно-защитных зон электростанций в течение уже десятков лет функционируют пляжи и другие рекреационные объекты, используемые значительной частью местного населения. Повышенная температура воды, расчистка берегов и относительная близость объектов инфраструктуры создает на водоемах-охладителях комфортные условия для резортов — объектов, которые могут быть использованы в качестве мест массового отдыха [34]. Постоянный дозиметрический контроль и экологический мониторинг гарантируют безопасность пребывания на указанных водных объектах людей.

Одна из угроз современности — мировой кризис водопотребления, который уже охватил значительную часть планеты и проявляется в острой нехватке ресурсов пресной воды для питья, выращивания сельскохозяйственной продукции и сохранения природных объектов. Острота перечисленных проблем усугубля-

ется происходящими глобальными климатическими изменениями. Использование в опреснительных установках тепла, поступающего из СТВ АЭС, могло бы способствовать ее решению в ряде регионов, где планируется строительство АЭС.

Заключение

Взгляд на работу СТВ АЭС, как на практическую возможность позитивно воздействовать на условия окружающей среды, способен принципиально изменить отношение к атомным станциям в регионах их размещения, а также улучшить общий и экологический имидж объектов ядерной энергетики. Проектирование АЭС не только как объектов энергетики, но и как основы управляемых природно-технических систем неминуемо расширяет круг лиц, заинтересованных в реализации этих проектов, а, следовательно, повышает их конкурентоспособность. Этому также способствует своевременное информирование населения о тех возможностях, которые могут быть предоставлены в плане удовлетворения на практике их личных потребностей при создании управляемой природно-технической системы на базе объекта ядерной энергетики. В этих целях прединвестиционная, предпроектная и проектная документации должны включать не только оценку возможного воздействия на окружающую среду, но и все сопутствующие ему позитивные изменения в жизни региона. Особое внимание следует уделять результатам деятельности в области экологической оптимизации различных функций СТВ АЭС. Адекватная и подкрепленная фактами информация, касающаяся этих вопросов, должна активно распространяться специалистами отрасли при освещении различных технических проблем.

Литература

1. **Efficient** Water Management in Water Cooled Reactors. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2012. No. NP-T-2.6.
2. **Суздалева А.Л., Горюнова С.В.** Окна Овертона в развитии современной концепции биосферы и решении глобальных экологических проблем // Биосфера. 2015. Т. 7. № 4. С. 429—449.
3. **Kim C.-K., Chung Y.** Dynamics of Nuclear Power Policy in the Post-Fukushima Era: Interest Structure and Politicisation in Japan, Taiwan and Korea // *Asian Studies Rev.* 2018. V. 42. No. 1. Pp. 107—124.
4. **Федоров М.П., Суздалева А.Л.** Экологическая оптимизация гидроэнергетики как альтернативная стратегия охраны окружающей среды // Гидротехническое строительство. 2014. № 3. С. 10—15.
5. **Lawrence A., Sovacool B., Stirling A.** Nuclear Energy and Path Dependence in: Coherence or Continued Divergence? // *Clim. Policy.* 2016. No. 16. Pp. 622—641.
6. **Davis L., Hausman C.** Market Impacts of a Nuclear Power Plant Closure // *American Economic J.: Appl. Economics.* 2016. V. 8. No. 2. Pp. 92—122.

References

1. **Efficient** Water Management in Water Cooled Reactors. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2012; NP-T-2.6.
2. **Suzdaleva A.L., Goryunova S.V.** Okna Overtona v Razvitiy Sovremennoy Kontseptsii Biosfery i Reshenii Global'nykh Ekologicheskikh Problem. *Biosfera.* 2015;7;4:429—449. (in Russian).
3. **Kim C.-K., Chung Y.** Dynamics of Nuclear Power Policy in the Post-Fukushima Era: Interest Structure and Politicisation in Japan, Taiwan and Korea. *Asian Studies Rev.* 2018;42;1:107—124.
4. **Fedorov M.P., Suzdaleva A.L.** Ekologicheskaya Optimizatsiya Gidroenergetiki kak A'l'ternativnaya Strategiya Okhrany Okruzhayushchey Sredy. *Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo.* 2014;3:10—15. (in Russian).
5. **Lawrence A., Sovacool B., Stirling A.** Nuclear Energy and Path Dependence in: Coherence or Continued Divergence? *Clim. Policy.* 2016;16:622—641.
6. **Davis L., Hausman C.** Market Impacts of a Nuclear Power Plant Closure. *American Economic J.: Appl. Economics.* 2016;8;2:92—122.

7. **Suzdaleva A.L.** Улучшение общего и экологического имиджа объектов атомной энергетики // Известия высших учебных заведений. Серия «Ядерная энергетика». 2017. № 1. С. 147—155.
8. **Suzdaleva A.L., Goryunova S.V.** Техногенез и деградация поверхностных водных объектов. М.: ИД Энергия, 2014.
9. **Coutant C.C.** Cold Shock to Aquatic Organisms: Guidance for Powerplant Siting, Design and Operation // Nuclear Safety. 1977. V. 18. No. 3. Pp. 329—342.
10. **Suzdaleva A.L.** Создание управляемых природно-технических систем. М.: ИД Энергия, 2016.
11. **Fedorov M.P., Suzdaleva A.L.** Гидротехническое строительство как основа устойчивого развития // Гидротехническое строительство. 2014. № 11. С. 27—30.
12. **Rahimifard S., Trollman H.** UN Sustainable Development Goals: an Engineering Perspective // Intern. J. Sustainable Eng. 2018. V. 11. No. 1. Pp. 1—3.
13. **McMahon J., Docherty A., Gentner S.** Cooling System Effects on Plankton // Environmental Effects of Cooling Systems. Report of a Coordinated Research Programme on Physical and Biological Effects on the Environment of Cooling Systems and Thermal Discharges from Nuclear Power Stations. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1980. Pp. 49—56.
14. **Leeper D.A., Taylor B.E.** Plankton Composition, Abundance and Dynamics in a Severely Stressed Cooling Reservoir // J. Plankton Research. 1995. V. 17. No. 4. Pp. 821—843.
15. **Beitinger T.L., Bennet W.A., McCauley R.W.** Temperature Tolerances of North American Freshwater Fishes Exposed to Dynamic Changes in Temperature // Environ. Biol. Fish. 2000. V. 58. No. 3. Pp. 237—275.
16. **Kolehmainen S.E., Martin F.D., Schroeder P.B.** Thermal Studies on Tropical Marine Ecosystems in Puerto Rico // Environmental Effects of Cooling Systems at Nuclear Power Plants. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1975. Pp. 409—422.
17. **Suzdaleva A.L., Beznosov V.N.** Экстремальные техногенные воздействия на окружающую среду: классификация и критерии оценки // Доклады Московского общества испытателей природы. М.: Графикон-принт, 2005. Т. 36. С. 134—136.
18. **Mordukhay-Boltovskoy F.D.** Проблема влияния тепловых и атомных электростанций на гидробиологический режим водоемов (обзор) // Экология организмов водохранилищ-охладителей. Л.: Наука, 1975. С. 7—69.
19. **McMahon J.** Biological Effects of Thermal Discharges in Tropical Regions // Environmental Effects of Cooling Systems. Report of a Coordinated Research Programme on Physical and Biological Effects on the Environment of Cooling Systems and Thermal Discharges from Nuclear Power Stations. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1980. Pp. 169—172.
20. **McMahon J.W., Docherty A.E.** Phytoplankton and Cooling Systems: Temperature Effects Using Different Intake and Discharge Depths // Wat. Res. 1978. No. 12. Pp. 925—929.
7. **Suzdaleva A.L.** Uluchshenie Obshchego i Ekologicheskogo Imidzha Ob'ektov Atomnoy Energetiki. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Seriya «Yadernaya Energetika». 2017;1:147—155. (in Russian).
8. **Suzdaleva A.L., Goryunova S.V.** Tekhnogenez i Degradatsiya Poverkhnostnykh Vodnykh Ob'ektov. M.: ID Energiya, 2014. (in Russian).
9. **Coutant C.C.** Cold Shock to Aquatic Organisms: Guidance for Powerplant Siting, Design and Operation. Nuclear Safety. 1977;18;3:329—342.
10. **Suzdaleva A.L.** Sozdanie Upravlyaemykh Prirodno-tekhnicheskikh Sistem. M.: ID Energiya, 2016. (in Russian).
11. **Fedorov M.P., Suzdaleva A.L.** Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo kak Osnova Ustoychivogo Razvitiya. Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo. 2014;11:27—30. (in Russian).
12. **Rahimifard S., Trollman H.** UN Sustainable Development Goals: an Engineering Perspective. Intern. J. Sustainable Eng. 2018;11;1:1—3.
13. **McMahon J., Docherty A., Gentner S.** Cooling System Effects on Plankton. Environmental Effects of Cooling Systems. Report of a Coordinated Research Programme on Physical and Biological Effects on the Environment of Cooling Systems and Thermal Discharges from Nuclear Power Stations. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1980:49—56.
14. **Leeper D.A., Taylor B.E.** Plankton Composition, Abundance and Dynamics in a Severely Stressed Cooling Reservoir. J. Plankton Research. 1995;17;4:821—843.
15. **Beitinger T.L., Bennet W.A., McCauley R.W.** Temperature Tolerances of North American Freshwater Fishes Exposed to Dynamic Changes in Temperature. Environ. Biol. Fish. 2000;58;3:237—275.
16. **Kolehmainen S.E., Martin F.D., Schroeder P.B.** Thermal Studies on Tropical Marine Ecosystems in Puerto Rico. Environmental Effects of Cooling Systems at Nuclear Power Plants. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1975:409—422.
17. **Suzdaleva A.L., Beznosov V.N.** Ekstremal'nye Tekhnogennye Vozdeystviya na Okruzhayushchuyu Sredu: Klassifikatsiya i Kriterii Otsenki. Doklady Moskovskogo Obshchestva Ispytateley Prirody. M.: Grafikon-print, 2005; 36:134—136. (in Russian).
18. **Mordukhay-Boltovskoy F.D.** Problema Vliyaniya Teplovykh i Atomnykh Elektrostantsiy na Gidrobiologicheskii Rezhim Vodoemov (Obzor). Ekologiya Organizmov Vodokhranilishch-okhladiteley. L.: Nauka, 1975: 7—69. (in Russian).
19. **McMahon J.** Biological Effects of Thermal Discharges in Tropical Regions. Environmental Effects of Cooling Systems. Report of a Coordinated Research Programme on Physical and Biological Effects on the Environment of Cooling Systems and Thermal Discharges from Nuclear Power Stations. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1980:169—172.
20. **McMahon J.W., Docherty A.E.** Phytoplankton and Cooling Systems: Temperature Effects Using Different Intake and Discharge Depths. Wat. Res. 1978;12: 925—929.

21. Суздалева А.Л., Безносков В.Н. Изменение гидрологической структуры водоемов и сукцессия водных биоценозов при их превращении в водоемы-охладители атомной (тепловой) электростанции // Инженерная экология. 2000. № 2. С. 47—55.
22. Безносков В.Н., Суздалева А.Л. Сукцессионное развитие экосистем техногенных водоемов // Антропогенные влияния на водные экосистемы. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005. С. 120—129.
23. Суздалева А.Л., Попов А.В., Кучкина М.А., Фомин Д.В., Минин Д.В. Изменение химического состава воды и планктона при прохождении через систему технического водоснабжения АЭС // Безопасность энергетических сооружений. М.: НИИЭС, 2007. Вып. 16. С. 201—215.
24. Evans M.S., Warren G.J., Page D.I. The Effects of Power Plant Passage on Zooplankton Mortalities: Eight Years of Study at the Donald C. Cook Nuclear Plant // *Wat. Res.* 1986. V. 20. No. 6. Pp. 725—734.
25. Aldridge D.C., Elliott P., Moggridge G.D. Microencapsulated Biobullets for the Control of Biofouling Zebra Mussels // *Environ. Sci. Technol.* 2006. V. 40. No. 3. Pp. 975—979.
26. Koschel R., Mothes, G., Casper S.J. The Nuclear Power Plant and Its Role in the Life of Lake Stechlin // *Lake Stechlin – a Temperate Oligotrophic Lake.* Boston, 1985. V. 58. Pp. 419—432.
27. Wang Y.S., Lou Z.P., Sun C.C. Sun S. Ecological Environment Changes in Daya Bay, China, from 1982 to 2004 // *Marine Pollution Bull.* 2008. V. 56. No. 11. Pp. 1871—1879.
28. Ius E., Keskitalo J. The Response of Phytoplankton to Increased Temperature in the Loviisa Archipelago, Gulf of Finland // *Boreal Env. Res.* 2008. No. 13. Pp. 503—516.
29. Merriman D. The Calefaction of a River // *Sci. Amer.* 1970. V. 222. No. 5. Pp. 42—52.
30. Кучкина М.А., Безносков В.Н. Исследование процессов загрязнения и самоочищения в природно-техногенной системе водоема-охладителя АЭС // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: «Экология и безопасность жизнедеятельности».* 2012. № 3. С. 48—52.
31. Безносков В.Н., Суздалева А.Л. Возможные изменения водной биоты в период глобального потепления климата // *Водные ресурсы.* 2004. Т. 31. № 4. С. 498—503.
32. Quevedo L., Ibáñez C., Caiola N., Mateu D. Effects of Thermal Pollution on Benthic Macroinvertebrate Communities of Large Mediterranean River // *J. Entomology and Zoology Studies.* 2018. No. 6(2). Pp. 500—507.
33. Coutant C. Beneficial Uses of Reject Heat // *Environmental Effects of Cooling Systems. Report of a Coordinated Research Programme on Physical and Biological Effects on the Environment of Cooling Systems and Thermal Discharges from Nuclear Power Stations.* Vienna: International Atomic Energy Agency, 1980. Pp. 190—192.
34. Суздалева А.Л., Безносков В.Н., Суздалева А.А. Экологические и социально-экологические основы проектирования городских резортов // *Экология урбанизированных территорий.* 2012. № 3. С. 29—34.
21. Suzdaleva A.L., Beznosov V.N. *Izmenenie Gidrolo-gicheskoy Struktury Vodoemov i Suktsessiya Vodnykh Biotsenozov pri Ikh Prevrashchenii v Vodoemy-okhladiteli Atomnoy (Teplovoy) Elektrostantsii.* *Inzhenernaya Ekologiya.* 2000;2:47—55. (in Russian).
22. Beznosov V.N., Suzdaleva A.L. *Suktsessionnoe Razvitie Ekosistem Tekhnogennykh Vodoemov. Antropogennye Vliyaniya na Vodnye Ekosistemy.* M.: *Tovarishchestvo Nauchnykh Izdaniy KMK,* 2005:120—129. (in Russian).
23. Suzdaleva A.L., Popov A.V., Kuchkina M.A., Fomin D.V., Minin D.V. *Izmenenie Khimicheskogo Sostava Vody i Planktona pri Prokhozhdenii Cherez Sistemu Tekhnicheskogo Vodonasabzheniya AES. Bezopasnost' Energeticheskikh Sooruzheniy.* M.: NIIES, 2007;16:201—215. (in Russian).
24. Evans M.S., Warren G.J., Page D.I. *The Effects of Power Plant Passage on Zooplankton Mortalities: Eight Years of Study at the Donald C. Cook Nuclear Plant.* *Wat. Res.* 1986;20;6:725—734.
25. Aldridge D.C., Elliott P., Moggridge G.D. *Microencapsulated Biobullets for the Control of Biofouling Zebra Mussels.* *Environ. Sci. Technol.* 2006;40;3:975—979.
26. Koschel R., Mothes, G., Casper S.J. *The Nuclear Power Plant and Its Role in the Life of Lake Stechlin. Lake Stechlin – a Temperate Oligotrophic Lake.* Boston, 1985;58:419—432.
27. Wang Y.S., Lou Z.P., Sun C.C. Sun S. *Ecological Environment Changes in Daya Bay, China, from 1982 to 2004.* *Marine Pollution Bull.* 2008;56;11:1871—1879.
28. Ius E., Keskitalo J. *The Response of Phytoplankton to Increased Temperature in the Loviisa Archipelago, Gulf of Finland.* *Boreal Env. Res.* 2008;13:503—516.
29. Merriman D. *The Calefaction of a River.* *Sci. Amer.* 1970;222;5:42—52.
30. Kuchkina M.A., Beznosov V.N. *Issledovanie Protsesov Zagryazneniya i Samoochishcheniya v Prirodno-tekhnogennoy Sisteme Vodoema-okhladitelya AES.* *Vestnik Rossiyskogo Universiteta Druzhby Narodov. Seriya: «Ekologiya i Bezopasnost' Zhiznedeyatel'nosti».* 2012;3:48—52. (in Russian).
31. Beznosov V.N., Suzdaleva A.L. *Vozmozhnye Izmeneniya Vodnoy Bioty v Period Global'nogo Potepleniya Klimata.* *Vodnye Resursy.* 2004;31;4:498—503. (in Russian).
32. Quevedo L., Ibáñez C., Caiola N., Mateu D. *Effects of Thermal Pollution on Benthic Macroinvertebrate Communities of Large Mediterranean River.* *J. Entomology and Zoology Studies.* 2018;6(2):500—507.
33. Coutant C. *Beneficial Uses of Reject Heat. Environmental Effects of Cooling Systems. Report of a Coordinated Research Programme on Physical and Biological Effects on the Environment of Cooling Systems and Thermal Discharges from Nuclear Power Stations.* Vienna: International Atomic Energy Agency, 1980:190—192.
34. Suzdaleva A.L., Beznosov V.N., Suzdaleva A.A. *Ekologicheskie i Sotsial'no-ekologicheskie Osnovy Proektirovaniya Gorodskikh Rezortov.* *Ekologiya Urbanizirovannykh Territoriy.* 2012;3:29—34. (in Russian).

Сведения об авторах:

Суздаева Антонина Львовна — доктор биологических наук, профессор кафедры инженерной экологии и охраны труда НИУ «МЭИ», профессор кафедры инженерных изысканий и геоэкологии НИУ «Московский государственный строительный университет», e-mail: SuzdalevaAL@yandex.ru

Безносков Виктор Николаевич — доктор биологических наук, технический директор ООО «Альфамед 2000», e-mail: BeznosovVN@yandex.ru

Кучкина Мария Александровна — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник ООО «Альфамед 2000», e-mail: KuchkinaMA@rambler.ru

Information about authors:

Suzdaleva Antonina L. — Dr.Sci. (Biology), Professor of Engineering Ecology and Labor Safety Dept., NRU MPEI, Professor of Engineering Surveys and Geoecology, NRU Moscow State University of Civil Engineering, e-mail: SuzdalevaAL@yandex.ru

Beznosov Viktor N. — Dr.Sci. (Biology), Technical Director of LLC «Alfamed 2000», e-mail: BeznosovVN@yandex.ru

Kuchkina Mariya A. — Ph.D. (Biology), Leading Researcher of LLC «Alfamed 2000», e-mail: KuchkinaMA@rambler.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 30.06.2019

The article received to the editor: 30.06.2019