

Особенности формирования мощности дозовых нагрузок на ихтиофауну водоёма-охладителя Белоярской АЭС при работе реакторов разных типов

Городецкий В. Г., Трапезников А. В., Трапезникова В. Н., Коржавин А. В.

ФГБУН «Институт экологии растений и животных УрО РАН», Екатеринбург, Россия

✉ bfs_zar@mail.ru

Белоярская атомная электростанция (далее — БАЭС), как и любая АЭС, является потенциальным источником поступления радионуклидов в окружающую среду, включая водоём-охладитель. В качестве водоёма-охладителя БАЭС используется Белоярское водохранилище. Водоём-охладитель наглядно характеризует радиационное воздействие БАЭС на окружающую среду на разных этапах её эксплуатации. Представленные материалы охватывают 42-летний период работы БАЭС — с 1977 по 2019 г. За это время на атомной станции поочерёдно эксплуатировались реакторы разных типов. До 1980 г. функционировали два блока на тепловых нейтронах — АМБ-100 и АМБ-200. С 1989 по 2016 г. работал только один энергоблок — БН-600. В настоящее время на БАЭС функционируют два энергоблока на быстрых нейтронах — БН-600 и БН-800.

Многолетние радиоэкологические исследования Белоярского водохранилища показали, что наибольшее накопление техногенных радионуклидов в основных компонентах водоёма приходилось на период функционирования двух первых реакторов. После вывода из эксплуатации 1-го и 2-го блоков БАЭС радиоэкологическое состояние водоёма-охладителя существенно улучшилось. Так, объёмная активность в воде такого радионуклида, как ^{137}Cs , на различных участках Белоярского водохранилища уменьшилась в сотни раз, а ^{60}Co — до 5600 раз. Подобные изменения были отмечены и в донных отложениях водоёма. Концентрация ^{60}Co в донных грунтах промливневого канала снизилась в 362 раза, а ^{137}Cs — в 44 раза. Улучшение общего радиоэкологического состояния водоёма-охладителя повлияло и на содержание радионуклидов в основных видах рыбы. Концентрация ^{137}Cs в щуке уменьшилась в 8,8 раза, а в плотве — в 25,8 раза.

При достаточно большом объёме исследований радиоэкологического состояния водоёма-охладителя в разные периоды деятельности БАЭС данных о расчётах мощности дозовых нагрузок на основные виды рыб, обитающих в водохранилище, явно недостаточно. Для расчёта мощностей дозовых нагрузок использовалась программа ERICA v. 2.0.185 (<http://www.ERICA-tool.com>), учитывались размерно-весовые характеристики исследованных видов рыб. При расчёте мощности дозовых нагрузок была использована информация о содержании радиоактивных веществ в воде, донных отложениях и тканях рыбы Белоярского водохранилища. В качестве наиболее распространённых видов рыб водоёма были взяты плотва, лещ, окунь, щука и карп.

Более высокие дозы облучения приходились на период работы первых двух энергоблоков. Результаты ранжирования видов рыб по мощности дозы облучения на первом этапе исследований представляются следующим образом: лещ, карп свободноживущий, плотва, щука, карп садковый. У разных видов свободноживущей рыбы водоёма-охладителя максимальная мощность дозы облучения варьировала от $1000 \text{ нГр} \cdot \text{сут}^{-1}$ (щука) до $3822 \text{ нГр} \cdot \text{сут}^{-1}$ (лещ). Более высокие показатели доз облучения отмечены у «мирных» видов — леща, карпа свободноживущего и плотвы. При этом мощность дозовых нагрузок на ихтиофауну не превышала безопасный предел ($10 \text{ мкГр} \cdot \text{ч}^{-1}$). На втором этапе исследований (после вывода из эксплуатации 1-го и 2-го энергоблоков станции) отмечено существенное снижение дозовых нагрузок на ихтиофауну водоёма-охладителя, связанное с уменьшением содержания техногенных радионуклидов в основных компонентах водохранилища — в воде и донных отложениях. В результате порядок ранжирования видов рыб по уровню мощности дозовых нагрузок поменялся и стал выглядеть следующим образом: щука, лещ, карп свободноживущий, плотва, окунь, карп садковый. Результаты завершающего этапа исследований (после пуска 4-го энергоблока) наглядно показали, что работа БН-800 не оказывает отрицательного влияния на радиоэкологическую ситуацию на Белоярском водохранилище: дозовые нагрузки на ихтиофауну водоёма не только не увеличились, но и, напротив, продолжили снижаться. В порядке убывания дозовых нагрузок виды рыб водоёма на заключительном этапе исследований можно расположить в следующей последовательности: щука, лещ, плотва, карп свободноживущий, окунь, карп садковый. За весь период наблюдения

мощность общей дозовой нагрузки на основные виды рыб водоёма-охладителя снизилась в десятки раз: у плотвы — в 17,1 раза, у леща — в 17,8 раза, у щуки — в 2,6 раза, у карпа свободноживущего — в 43,5 раза, у карпа садкового — в 7,6 раза. При снижении дозовых нагрузок на ихтиофауну водоёма-охладителя поменялись не только количественные показатели, но и основные принципы формирования дозовых нагрузок. На первом этапе основополагающим фактором являлось внешнее облучение за счёт ^{137}Cs , а на долю ^{90}Sr приходилось не более 2–3 % от общей дозы облучения. В дальнейшем преобладающим стало внутреннее облучение, а основным дозообразующим элементом — ^{90}Sr . После вывода из эксплуатации первых двух энергоблоков поступление ^{137}Cs в водоём-охладитель постоянно снижалось, что отразилось на формировании дозовой нагрузки на ихтиофауну.

На начальном этапе более высокие показатели доз облучения были отмечены у «мирных» видов рыб (лещ, карп и плотва), а в последнее время дозовые нагрузки выше у хищных (окунь и щука). Формирование дозовых нагрузок у «мирных» видов в большей степени зависит от внешней дозы облучения. Хищные рыбы являются конечным звеном трофической цепи в пресноводной экосистеме; источник поступления радионуклидов в их организм — ткани других рыб, входящих в их рацион. Именно поэтому формирование дозовой нагрузки у хищников происходит в основном за счёт внутренней дозы облучения в результате поступления радионуклидов из тканей и органов поедаемых ими рыб.

Более низкие дозовые нагрузки на всех этапах работы БАЭС испытывал карп садкового хозяйства. Мощность дозы облучения у садкового карпа в 101,6 раза ниже, чем у свободноживущего. Этот вид рыбы почти не зависит от внешнего воздействия, обитает на небольшой глубине и ограничен в перемещении, поэтому на него мало влияют донные отложения, в которых может содержаться до 98 % всех запасов радионуклидов водоёма. Мощность дозы у садкового карпа на 99 % формируется за счёт внутреннего облучения, а при выкармливании на искусственных кормах дозовые нагрузки на них будут минимальны. Данные результаты подтверждают целесообразность использования водоёма-охладителя, находящегося под постоянным воздействием атомной станции, для разведения садковых видов рыбы.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН, тема № АААА-А19-119032090023-0.