

ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ КУРСОВОГО И ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В РАМКАХ НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

В. В. Валенбахов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Белоярская атомная электростанция (БАЭС) расположена в 42 км к востоку от Екатеринбурга на восточном берегу водохранилища, созданного на р. Пышме в качестве водоема-охладителя. Город Заречный удален от площадки на 3 км. Хозяйственные нужды промплощадки и города обеспечиваются из артезианских скважин. Хозяйственные стоки промплощадки направляются на самостоятельные очистные сооружения и далее сбрасываются в Ольховское болото, которое является отчужденной территорией, входящей в санитарно-защитную зону. Сюда же удаляются очищенные дебалансные воды, воды спецпрачечной и душевых санпропускников.

Выход в атмосферу технологических смесей и воздуха из помещений зоны строгого режима производится централизованно через вентиляционные трубы энергоблоков, имеющих верхнюю отметку 100 м.

Зона наблюдения атомной станции ограничивается окружностью радиусом 35 км (рис. 1). Вся зона разделена на 8 секторов (через 45°) и 4 пояса.

Поверхностные воды района расположения БАЭС. Система поверхностных вод в районе расположения Белоярской АЭС образована р. Пышмой с ее притоками и водоемом-охладителем. Последний образовался за счет перекрытия реки искусственной плотиной, которая берет начало севернее Екатеринбурга. На Белоярской АЭС имеется две системы канализации, которые выведены в разные точки водной системы – промливневая канализация (ПЛК) и хозяйственная канализация (ХФК). Промливневая канализация выведена в водоем-охладитель вблизи расположения БАЭС. Хозяйственные воды атомной станции после очистки сбрасываются в Ольховское болото.

Наибольшее влияние на радиационное состояние р. Пышмы оказывает р. Ольховка – левый приток. Ольховка берет начало в Ольховском болоте и имеет протяженность 3,2 км. Основным источником естественного пита-

ния р. Ольховки является подземный водоносный горизонт, разгружающийся в болото.

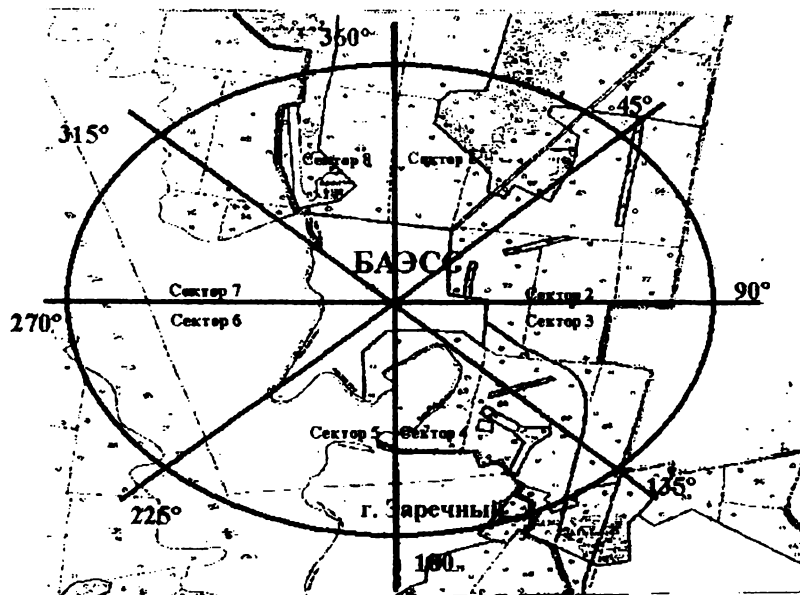


Рис. 1. Зона наблюдения Белоярской АЭС

Элементы радиоактивного загрязнения АЭС. Одна из основных задач радиозащиты заключается в оценке и контроле выхода основных дезобразующих радионуклидов с АЭС. К ним относятся и так называемые радионуклиды глобального загрязнения атмосферы: тритий, углерод-14, криптон-85, йод-129, плутоний-239.

Тритий. В вопросах радиационной безопасности АЭС тритий занимает особое место. Сверхтяжелый радионуклид водорода с периодом полураспада 12,36 года, бета-излучатель с энергией равной 18,6 Кэв, отличается большой интенсивностью миграции в окружающей среде, особенно в водных ее объектах. Поскольку у трития большой период полураспада, он является глобальным загрязнителем природных комплексов.

При работе БН-600 идет непрерывный процесс образования трития в результате тройного деления ядер урана и плутония, при взаимодействии нейтронов с ядрами элементов, входящих в состав конструкционных материалов (*Fe, Ni, Cr*), органов СУЗ или присутствующих в виде примесей в топливе и натриевом теплоносителе (*Li, B*) (табл. 1). Образование трития

в реакции (n, T) происходит в основном при захвате быстрых нейтронов, поскольку почти все такие реакции имеют пороговую энергию 1 Мэв.

Таблица 1

Источники образования трития

Источник трития	Скорость образования трития, Ядер/с
Ядра элементов при тройном делении	$8,78 \cdot 10^{15}$
Борные стержни СУЗ	$7,9 \cdot 10^{14}$
Конструкционные материалы	$5,5 \cdot 10^{14}$
Примеси лития и бора в топливе и теплоносителе	$3,6 \cdot 10^{14}$

Около 90% образующегося трития диффундирует в теплоноситель первого контура. В натриевом теплоносителе первого контура БН-600 бор присутствует в незначительном количестве, поэтому здесь трития образуется значительно меньше, чем в реакторах других типов, особенно в ВВЭРах, с их борным регулированием реактивности.

Тритий, образующийся в топливных сборках, стержнях СУЗ, диффундирует в натриевый теплоноситель первого контура, отсюда большая его часть осаждается в фильтрах-ловушках. Частично тритий выходит в газовую полость реактора, диффундирует через стенки корпуса реактора в помещение первого контура и через стенки трубок теплообменников проникает в натрий второго контура. Из помещений первого контура вместе с воздухом тритий через вентиляционную трубу выбрасывается в атмосферу. Во втором контуре тритий осаждается в фильтрах-ловушках, а часть его через парогенераторы проникает в третий контур. Измерения и расчеты указывают на то, что около 85–90% образованного трития локализуется в фильтрах-ловушках, что существенно снижает содержание трития в теплоносителе и выход его в окружающую среду.

Главными водными резервуарами, испытывающими на себе влияние Белоярской АЭС, являются Белоярское водохранилище, Ольховское болото, реки Пышма и Ольховка (рис. 2). По расчетным данным, а также по фактически измеренным концентрациям трития в технологических средах и объектах внешней среды, баланс трития для атомной станции выглядит следующим образом:

- скорость образования трития – 591 ТБк/год;
- выход изотопа в атмосферу – 6,9;
- выход изотопа в гидросферу: Ольховское болото – 1,3; Белоярское водохранилище – 0,4.

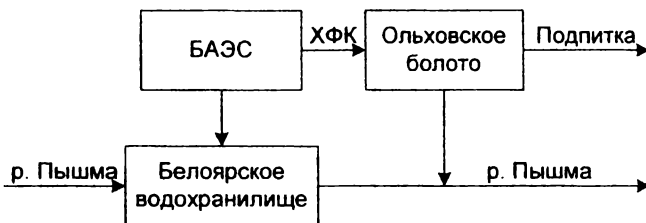


Рис. 2. Схема поступления трития во внешнюю среду

Таким образом, суммарный выход трития в природную среду составляет 8,6, что на четыре порядка ниже допустимого выхода и соответствует дозовой нагрузке на критическую группу населения Заречного (10^{-3} – 10^{-2} мкЗв/год при допустимой квоте 50 мкЗв/год).

Углерод-14 – биогенный элемент, активно участвует в биохимических и биологических процессах, имеет период полураспада 5730 лет, чистый бета-излучатель, максимальная энергия равна 155 Кэв, во всех обменных процессах на Земле участвует наряду со своим стабильным изотопом.

При работе 1-го и 2-го блоков станции исследовались газовые выбросы на наличие этого радионуклида. Концентрация углерода-14 в вентиляционных трубах 1-й очереди составила от $3,2 \cdot 10^{-15}$ Ки/л ($0,12$ Бк/м³) до $9,8 \cdot 10^{-13}$ Ки/л (36 Бк/м³).

Выбросы углерода-14 реакторами 1-й очереди БАЭС (АМБ-100, 200) столь малы, что практически не оказали влияния на содержание этого радионуклида в объектах окружающей среды, что касается быстрых реакторов, в частности БН-600, то отсутствие графитового замедлителя, водяного контура охлаждения активной зоны приводит к незначительным выбросам углерода-14 с этих блоков.

Йод-129 – долгоживущий радионуклид йода, продукт деления ядерного топлива АЭС с периодом полураспада $1,7 \cdot 10^7$ лет. Известно, что радионуклид йода характеризуется высокой подвижностью во внешней среде, способен накапливаться в объектах живой и неживой природы.

В 1982–1985 гг. на БАЭС совместно с филиалом ИБФ МЗ СССР проводились специальные исследования уровня содержания йода-129 в жидких сбросах-пробах на разном удалении от станции. Даже максимальное содержание йода-129 непосредственно в жидких сбросах очень мало (почти на четыре порядка ниже допустимого содержания его в питьевой воде).

Экспериментально определенное содержание йода в щитовидной железе людей, проживающих в районах расположения БАЭС, не превышает

допустимого уровня. Таким образом, оперативный контроль содержания йода-129 как в выбросах станции, так и в объектах внешней среды и организме человека нецелесообразен.

Криптон-85. В составе ИРГ в выбросах АЭС всегда присутствует долгоживущий радионуклид Kr^{85} с периодом полураспада 0,76 года.

На реакторах АМБ-100 и АМБ-200 Белоярской АЭС Kr^{85} постоянно присутствовал в составе ИРГ и составлял в среднем 1% от суммарной активности ИРГ. Вклад криптона-85 в дозовую нагрузку критической группы населения (жители Заречного) был невелик. За время работы 1-й очереди суммарный выброс его составил $1,2 \cdot 10^5$ Ки/26 лет, что соответствует 0,9 мбэр/26 лет, или в среднем 0,035 мбэр/год (допустимая квота 20 мбэр/год).

На блоке с реактором БН-600 выброс криптона мал – $1 \cdot 10^4$ Ки за 15 лет эксплуатации, что соответствует в среднем дозе 0,007 мбэр/год.

Плутоний-239. Единственно возможный путь попадания плутония во внешнюю среду – это жидкие сбросы (табл. 2).

Таблица 2

Результаты исследования донных отложений (глубина 0–25 см)

Место отбора	Активность плутония, Бк/кг сухой массы
Сбросной канал	Не обнаружен
Начало болота	От $39 \pm 47,0$ до 114 ± 6
Середина болота	От $4,0 \pm 0,2$ до $23,0 \pm 0,3$
Исток р. Ольховки	Не обнаружен
Верховье р. Ольховки	Не обнаружен
Устье р. Ольховки	Не обнаружен
Верх по течению р. Пышмы	Не обнаружен
Вниз по течению р. Пышмы (500 м)	От $3,9 \pm 0,4$ до $4,1 \pm 1,0$

Плутоний регистрируется лишь в донных отложениях начала и середины болота. Максимальная концентрация – 114 Бк/л. В воде плутоний не обнаружен (не более 0,01 Бк/л).

Содержание плутония (238–239) в почвенно-растительном покрове всех изученных участков практически одинаково. В разнотравье оно не превышает 2, а в слое почвы (0–5 см) – 25 Бк/кг и находится в пределах фоновых уровней. Максимальная плотность плутония (238–239) 80 Бк/кг отмечена в лесных биогеоценозах, а глубина миграции его не превышает 5 см.

Длительная практика радиационного контроля выбросов канальных и быстрых реакторов на БАЭС показывает, что такие нуклиды глобального значения, как тритий, C^{12} , Kr^{85} , I^{129} и Pu^{239} , при работе АЭС не представля-

ют серьезной радиационной опасности и все они попадают в основном во внешнюю среду только при переработке ядерного топлива.

В табл. 3 приведены ежегодные индивидуальные дозовые нагрузки на критическую группу населения вблизи БАЭС (Заречный) за счет некоторых газоаerosольных нуклидов. Дозовые нагрузки на население определяются в основном выбросами 1-й очереди. Даже после остановки реакторов 1-го и 2-го блоков (с 1990 г.) они не менее чем на 90% определяются выбросами Cs^{137} и Sr^{90} 1-й очереди.

Таблица 3

Индивидуальные дозовые нагрузки, мкЗв/год

Элементы	Годы			
	1972	1980	1990	1995
ИРГ 1-я очередь	27,4	107,6	0	0
ИРГ, 3-й блок	0	3,2–2	2,7–2	1,5–2
Sr90	–	1,1	6,0–5	2,6–4
Cs137	35	25	6,0–2	5,5–2
Со60	8	6	0	0

На 3-м блоке выбросы ИРГ на 3–4 порядка ниже выбросов ИРГ 1-й очереди. Дозовые нагрузки с 1990 г. за счет газоаerosольных выбросов БАЭС составляют меньше $1 \cdot 10^{-1}$ мкЗв/год, при квоте 200 мкЗв/год.

За все время эксплуатации АЭС превышения допустимых доз не было.

Радионуклиды жидких сбросов БАЭС в окружающей среде. Источниками загрязнения водоема являются (рис. 3):

- сбросы дебалансных вод;
 - сбросы вод спецпрачечных и душевых;
 - протечки радиоактивно загрязненной воды в контур технического водоснабжения;
 - aerosольные выпадения из газоаerosольного выброса АЭС на зеркало водоема-охладителя;
 - талые и ливневые воды, смывающие aerosольные выпадения выброса АЭС с ее территории и территории водосбора водоема-охладителя.
- Кроме АЭС, водоем-охладитель загрязняют радионуклиды глобального происхождения из биосферы. К ним относятся:
- выпадения радионуклидов на зеркало водоема из стратосферного резервуара;
 - талые и ливневые воды, смывающие продукты глобальных выпадений с территории АЭС и территории водосбора водоема-охладителя;
 - воды подпитки водоема из естественных водных систем.

Годовое поступление радионуклидов аэрозольного выброса (рассчитанное для 2 энергоблоков АЭС с РБМК-1000) составляет 2,5 мКи.

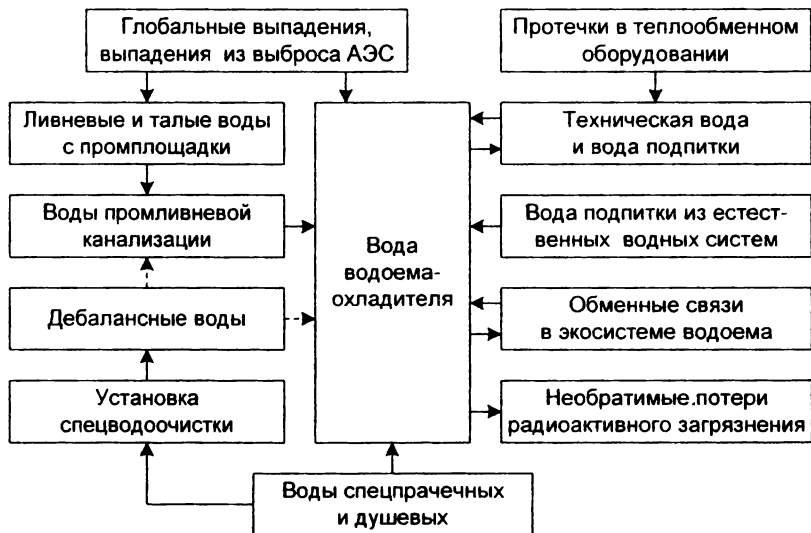


Рис. 3. Структурная схема поступления радиоактивного загрязнителя в водоем-охладитель АЭС

Сбросы с водами спецпрачечных и душевых составляют $5 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-3}$ Ки/год. Активность радионуклидов за счет смыва ливневыми водами в водоем составила $(0,4 - 4) \cdot 10^{-4}$ Ки/год.

В Ольховском болоте происходит обмен радионуклидами между водой и донными отложениями, в результате чего продолжается незначительный вынос радионуклидов из Ольховского болота вытекающей из него р. Ольховкой, что подтверждается надфоновой концентрацией радионуклидов в донных отложениях в русле р. Пышмы на участке в 0,6 км ниже устья р. Ольховки (рис. 4, табл. 4).

Таблица 4

Длина миграции радионуклидов по глубине

Нуклид	Длина миграции, м	
	Начало болота	Середина болота
Кобальт-60	0,48±0,07	0,52±0,08
Стронций-90	0,55±0,09	0,56±0,20
Цезий-137	0,40±0,03	0,40±0,09

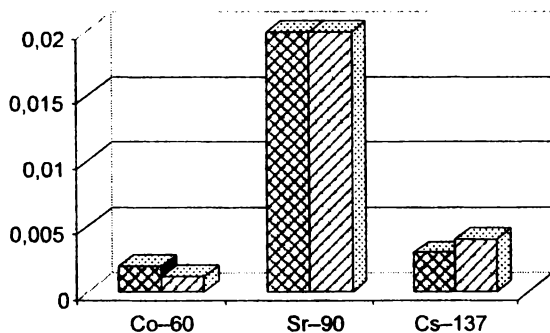


Рис. 4. График накопления и убыли радиоактивных веществ в болоте:

▨ – теоретический; ▩ – экспериментальный

С учетом результатов многолетних измерений, а также дополнительных исследований принято согласованное решение о допустимости продолжения эксплуатации Ольховского болота как естественного биополигона в прежнем режиме. Признано, что наилучшей тактикой обеспечения радиационной безопасности региона является сохранение радиационного мониторинга в существующем объеме.

Радиоактивные вещества, депонированные в Ольховском болоте, не представляют опасности для населения при условии отчуждения территории болота.

Для Cs^{137} и Co^{60} основной процесс, определяющий убыль активности, – радиоактивный распад. Для Sr^{90} радиоактивный распад и внешний водообмен равнозначны.

Загрязнение в болоте распределяется по глубине от 0,7–0,8 м и сосредоточено в пределах верхнего «деятельного» слоя болота (см. табл. 4).

В 1963 г., за год до пуска 1-го блока БАЭС, во внешней среде были выполнены радиационные исследования так называемого «нулевого фона» – уровней естественной радиации и глобальных радиоактивных выпадений, затем они стали ежегодно проводиться по специальным программам.

Из табл. 5 видно, что радиационное состояние внешней среды БАЭС сейчас не только не ухудшилось, но и заметно улучшилось.

Радиационная обстановка территории, прилегающей к БАЭС

Объекты внешней среды	Годы	
	1963	1999
Средняя мощность дозы гамма-излучения зоны наблюдения БАЭС, мкР/ч	7,9	6,6
Активность атмосферного воздуха, Бк/л	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-7}$
Атмосферные выпадения, МБк/км	130	10
Вода водохранилища БАЭС, Бк/л	$2,96 \cdot 10^{-1}$	$(3-5) \cdot 10^{-2}$
Снег, МБк/км	40	14
Почва, Бк/кг	370	320
Трава, Бк/кг	300	240

Этот факт объясняется двумя причинами. Во-первых, газоаэрозольные выбросы, жидкие сбросы БАЭС столь малы, что не оказывают значительного влияния на окружающую среду. Радиационная обстановка вблизи нормально работающей АЭС определяется измерением естественных радионуклидов, радионуклидов космогенного происхождения и радионуклидов глобального загрязнения атмосферы продуктами деления, образовавшимися при испытаниях ядерного оружия и подземных ядерных взрывах.

Во-вторых, улучшение обстановки внешней среды произошло вследствие уменьшения глобальных выпадений после запрета и прекращения испытаний ядерного оружия в атмосфере, причем время измерения «нулевого фона» на БАЭС (1963–1964) совпало с максимальным загрязнением приземного воздуха после серии мощных испытательных ядерных взрывов в 1961–1962 гг.

При средней годовой эффективной дозе облучения на одного жителя Свердловской области 2,8–3,2 мГр (280–320 бэр) за счет БАЭС индивидуальные дозовые нагрузки на критические группы населения за последние годы эксплуатации составляют:

- газоаэрозольные выбросы – 10^{-2} мбэр/год при допустимой квоте в 20 мбэр/год;

- жидкие сбросы – 0,35–0,6 мбэр/год при допустимой квоте в 5 мбэр/год;

Аварии на БН-600. Технически возможны аварии (так называемые проектные аварии) с выбросом через вентиляционную трубу части защитного газа из газовой системы реактора с газообразными продуктами деления или с выбросом продуктов деления горения радиоактивного натрия при его малой течи из поврежденного трубопровода первого контура. Максимальная доза облучения населения на расстоянии 3 км от АЭС при такой аварии составляет менее 0,008 бэра.

Были рассмотрены также самые тяжелые «сверхпроектные» аварийные события на реакторе, при анализе которых исходили из принципа «все возможно». Предполагалось, что по неизвестным причинам произошел либо выход из строя всех источников электроснабжения станции с одновременным отказом всех средств глушения реактора и отвода тепла от него, либо пролив большого объема радиоактивного натрия. Оказалось, что облучение населения при таких авариях даже в населенных пунктах, расположенных на расстоянии 3 км от АЭС, не превышает 3 бэр для острого периода аварии. Это означает, что исключается необходимость эвакуации населения, проживающего рядом с АЭС. В то же время в Екатеринбурге, расположенном в 32 км от АЭС, радиационный фон от выброса для таких сверхтяжелых аварии составил бы около 20 мкР/ч, т. е. величину, соответствующую естественному радиационному фону (4,2 мкР/ч по территории России).

Таким образом, исследования радиоактивной обстановки в районе расположения БАЭС позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Почти 40-летняя (БН–600 – почти 23 года) эксплуатация Белоярской АЭС практически не привела к изменению радиационной обстановки во внешней среде.

2. Постоянные исследования внешней среды позволяют утверждать, что изменение радиационной обстановки в регионе определяются глобальными выпадениями.

3. За все время эксплуатации БАЭС превышения допустимых выбросов и сбросов не было.

4. За счет выбросов и сбросов с БН–600 средняя индивидуальная доза составляет 0,2 и 0,6 мкЗв/год.

5. Дальнейшее развитие Белоярской АЭС (ввод в действие быстрых реакторов) практически не окажет никакого радиационного влияния на окружающую среду и население региона.

О. А. Вихорева

РАЗВИТИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТАРШИХ ПОДРОСТКОВ В ПРОЦЕССЕ НАУЧНОГО ПОИСКА КАК ПУТЬ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ УЧАЩИХСЯ

К сущностным потребностям человека относится потребность в профессиональной самореализации, которая выражается в адекватном определении области профессиональных интересов, уровня притязаний на успешность в ней [4]. В настоящее время существуют многочисленные мето-