

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

УДК 611.411 : 614.871 : 621.039.58 (476)

В. В. Журавков

*Международный государственный экологический университет
имени А. Д. Сахарова, г. Минск, Республика Беларусь*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОНОВЫХ УРОВНЕЙ СОДЕРЖАНИЯ ТРИТИЯ В ОТКРЫТЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ В РАЙОНЕ СТРОИТЕЛЬСТВА БЕЛОРУССКОЙ АЭС

Радиационный мониторинг поверхностных вод в районе строительства предприятий ЯТЦ необходимо проводить до их строительства, во время эксплуатации и после снятия их с эксплуатации. Необходимо регулярно осуществлять отбор проб поверхностных вод с интервалами, которые будут зависеть от периодов полураспада радионуклидов. Представленные результаты показывают, что удельная активность трития в воде открытых водоёмов в районе строительства белорусской АЭС соответствуют последствиям бомбовых выпадений для данных широт.

➤ **Ключевые слова:** тритий, фоновые уровни содержания трития, среднее значение удельной активности трития.

Введение

Тритий по ряду причин занимает особое место в вопросах обеспечения радиационной безопасности АЭС. Во-первых, содержание трития в жидких сбросах при нормальной работе АЭС намного превосходит по абсолютному значению содержание всех остальных нуклидов, а в газообразных выбросах в окружающую среду количество трития уступает только количеству радиоактивных благородных газов (РБГ). Во-вторых, в отличие от химически инертных РБГ, инкорпорированный тритий эффективно включается в состав биологической ткани, вызывая мутагенные нарушения, как за счет β -излучения средней энергии 5,8 кэВ, так и за счет нарушения молекулярных связей, вызванных заменой изотопа водорода нейтральным гелием, образовавшимся в результате распада трития. В-третьих, тритий обладает большим периодом полураспада (12,6 лет) и вследствие этого является глобальным загрязнителем природных комплексов. Эти и некоторые другие специфические особенности позволяют отнести тритий к числу наиболее радиационно-опасных долгоживущих нуклидов, которые способны загрязнять биосферу в районе непосредственного размещения источника, но и в региональном масштабе.

Очевидно, что эти соображения и привели к включению трития в список контролируемых радиологических параметров в новой Директиве ЕС по качеству питьевой воды. В настоящее время проблему тритиевого загрязнения водных экосистем в районах размещения предприятий ЯТЦ можно считать одной из ключевых в радиоэкологии. При работе АЭС тритий поступает в окружающую природную среду и быстро мигрирует из мест первичного загрязнения, поэтому единичные и несистематические измерения его не позволяют выявить реальных масштабов загрязнения водных систем. В связи с этим необходимо проводить регулярный мониторинг трития.

Исходные данные и методология исследования

Гидрографическая сеть в пределах 30-километровой зоны белорусской АЭС включает 70 водных объектов, из которых 5 являются трансграничными, 52 расположены на территории Беларуси.

К основным водным объектам района размещения площадки белорусской АЭС [1], относятся реки Вилия, Полпе, Гозовка, Страча, Ошмянка, Лоша, Снягянское водохранилище (водохранилище Рачунской ГЭС), Ольховское водохранилище (водохранилище Ольховской ГЭС), а также озеро Свирь и другие непроточные водоемы (места отдыха населения, водопой скота и т.д.) в районе 30-километровой зоны расположения белорусской АЭС. Для охлаждения реакторов будет использована вода из реки Вилия. Ежедневно из реки будет забираться 3660 м³ воды. В реку Вилия будет осуществляться сброс 910 м³ в сутки (может быть до 3600 м³) отработанной воды по ее притоку Полпе.

На рис. 1, представлена схема гидрографической сети в 15-км зоне белорусской АЭС.

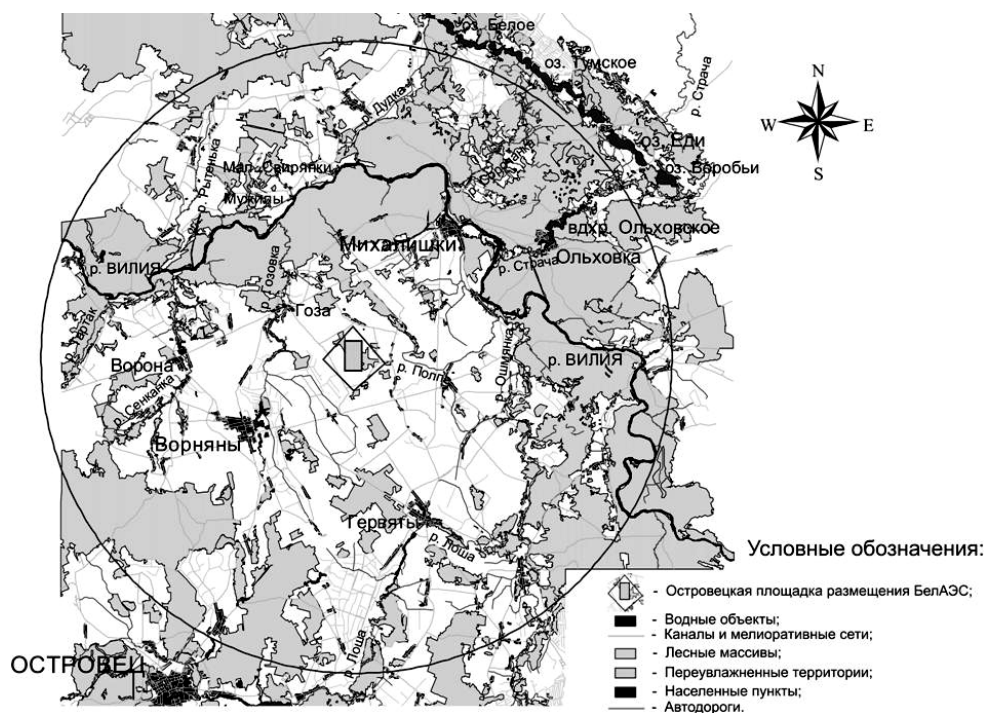


Рисунок 1 – Схема гидрографической сети в 15-км зоне белорусской АЭС

При проведении радиоактивного мониторинга водных сред особое внимание необходимо уделять состоянию реки Вилии, так как она протекает в ближней зоне белорусской АЭС, а также притоков р. Вилии, так как эти реки могут представлять потенциальную экологическую опасность в случае загрязнения территории, состояние которых может значительно ухудшиться в результате трансграничного переноса радионуклидов водным путем. Поэтому важнейшей задачей мониторинга поверхностных вод является правильный выбор пунктов наблюдения, под которыми понимается место на водоеме или водотоке, где производится комплекс работ для получения данных о радиационном загрязнении воды. Пункты наблюдения в зависимости от народнохозяйственного значения водных объектов, их размеров и экологического состояния могут включать один или несколько створов, которые представляют собой условные поперечные сечения водоема или водотока. Расположение створов наблюдения зависит от гидрологических и морфологических особенностей водного объекта, положения источников загрязнения, объема и состава сточных вод, интересов водопользователей.

Один створ устанавливается на водотоках, не имеющих организованного сброса сточных вод, в устьях загрязненных притоков, на незагрязненных участках водотоков, на замыкающих и предплотинных участках рек.

Два створа и более устанавливаются на водотоках с организованным сбросом сточных вод. Один из них располагают в 1 км выше источника загрязнения, вне зоны его влияния, другие – ниже источника или группы источников сточных вод.

При контроле воды всего водоема устанавливается не менее трех створов, равномерно распределенных по акватории. Для наблюдения на отдельных загрязненных участках водоема створы располагаются с учетом условий водообмена. В проточных водоемах с интенсивным водообменом створы располагаются так же, как и на водотоках: первый в 1 км выше источника загрязнения, остальные – ниже, на расстоянии 0,5 км от сброса сточных вод, и за границей загрязненной зоны. На водоемах с умеренным и замедленным водообменом один створ устанавливается вне зоны влияния сточных вод, другой совмещается с местом сброса загрязненных стоков, остальные (не менее двух) располагаются по обе стороны от источника загрязнения на расстоянии 0,5 км от него и за границей зоны загрязнения. В створе водного объекта может быть несколько вертикалей с опробованием воды из разных горизонтов. Количество вертикалей в створе определяется шириной зоны загрязнения, условиями смешения природных и сточных вод. Количество горизонтов на вертикали зависит от глубины водного объекта. При глубине до 5 м устанавливается один горизонт на расстоянии 0,3 м от поверхности воды. В водных объектах с глубиной 5–10 м исследуются два горизонта – поверхностный и придонный (0,5 м от дна). При глубине 10–100 м устанавливаются 3 горизонта: поверхностный, на половине глубины и придонный.

Периодичность и программа наблюдений определяются категорией пункта. Для большинства водных объектов наблюдения по обязательной программе производятся 7 раз в год: во время половодья – на подъеме, пике и спаде; во время летней межени – при наименьшем расходе воды и при прохождении дождевого паводка; осенью перед ледоставом; во время зимней межени.

Учитывая вышеизложенные рекомендации по организации радиационного мониторинга, нами предлагается регламент проведения отбора проб поверхностных вод в районе строительства белорусской АЭС не реже одного раза в год [3].

Результаты, и их обсуждение

Определение концентрации трития в водных пробах и подготовка проб к измерениям проводились согласно ранее разработанной методике [4-5].

Концентрацию окиси трития в анализируемой пробе по результатам радиометрии на жидкостно-сцинтилляционных радиометрах, полученных после электролиза, определяли по формуле [6]:

$$A_{уд} = \frac{DPM}{60 \cdot K_{уд} \cdot V_2}, \text{ Бк/мл} \quad (1)$$

где $V_2 = 5$ мл – объём пробы, мл; $K_{об}$ – коэффициент обогащения тритием остаточной после электролиза воды; $K_{уд}$ – коэффициент удержания, показывающий потери воды за счет испарения при проведении электролиза; DPM – результаты прямых измерений активности трития в пробах воды.

Значения $K_{об}$ – коэффициент обогащения тритием остаточной после электролиза воды, определяем по формуле:

$$K_{об} = K_{уд} K_{\Delta m}, \quad (2)$$

где $K_{уд}$ – коэффициент удержания, показывающий потери воды за счет испарения при проведении электролиза; $K_{\Delta m}$ – кратность уменьшения массы раствора.

$$K_{\Delta m} = P_H P_K, \quad (3)$$

где P_H – начальная масса раствора; P_K – конечная масса раствора.

Удельная активность трития в остатке после электролиза определяется по формуле:

$$A_H = \frac{A_{уд}}{K_{об}}, \text{ Бк/л} \quad (4)$$

Используя уравнения (1)–(4) были получены результаты активности трития в пробах речной воды из реки Полпы после проведения электролиза.

Результаты проведения прямых измерений активности трития в пробах речной воды из реки Полпы на жидкостно-сцинтилляционных радиометрах серии TRI-CARB, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты проведения прямых измерений активности трития в пробах речной воды из реки Полпы на жидкостно-сцинтилляционных радиометрах TRI-CARB (время измерения – 300 мин.)

№ пробы	Скорость счета, имп/мин.	Эффективность счета	2S%
1	6,0	42,52	4,71
	6,2	42,7	4,6
	5,5	42,17	4,94
	5,5	41,72	4,92
	6,0	42,33	4,73
2	6,3	41,22	4,6
	6,3	41,4	4,6
	5,7	40,61	4,85
	5,5	41,05	4,93

Среднее значение активности трития в пробах воды – 5,9. Эффективность – 42,7%. Удельная активность трития в исходной пробе согласно прямым измерениям определяли по формуле:

$$A_{уд} = \frac{DPM}{60 \cdot V_2} = \frac{(5,9 - 5,4) / 0,42}{60 \cdot 5} \cdot 1000 = 3,8 \text{ Бк/л} \quad (5)$$

Для уточнения содержания трития в воде необходимо проведение электролиза (время проведения электролиза – 30 ч., температура электролиза – 8–10 °С).

Результаты проведения измерений активности трития в пробах речной воды из реки Полпы после проведения электролиза, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты проведения измерений активности трития в пробах речной воды из реки Полпы после проведения электролиза (время проведения электролиза – 30 ч., температура электролиза – 8–10 °С)

№ пробы	Скорость счета, имп/мин.	Эффективность счета	2S%
1	8,38	42,48	3,99
	8,4	42,12	3,98
	8,12	41,88	4,05
	9,0	41,94	3,85
	8,78	42,12	3,90
2	10,21	42,79	3,61
	10,0	42,15	3,66
	10,15	42,23	3,62
	10,00	42,68	3,65
3	8,67	42,82	7,1
	8,2	42,19	4,02
	8,52	42,57	3,96
	8,47	42,74	3,97

Из данных приведенных в табл. 2, следует, что средняя скорость счета трития в пробах воды – 9,0 имп/мин. Эффективность – 42,4%.

Кратность уменьшения массы раствора $K_{\Delta m} = P_n / P_k = 186,5 / 26,7 = 7,0$; $P_n = 186,5$ г – начальная масса раствора; $P_k = 26,7$ г – конечная масса.

Следовательно $K_{об} = K_{уд} \cdot K_{\Delta m} = 5,5 \cdot 0,94 = 6,6$.

$$A_{уд} = \frac{8,5 \cdot 1000}{60 \cdot 0,94 \cdot 5} = 28,3 \cdot \text{Бк/л} \quad (6)$$

$$A_n = \frac{A_{уд}}{K_{об}} = \frac{28,3}{6,6} = 4,3 \cdot \text{Бк/л} \quad (7)$$

Таблица 3

Результаты расчета удельной активности трития в остатке после электролиза и в результате прямых измерений, Бк/кг

Источник пробы воды	Продолжительность электролиза, час	Удельная активность трития в остатке после электролиза, Бк/л	Удельная активность трития в воде (прямые измерения), Бк/л
Пробы речной воды из реки Полпы	30	4,3	3,8

Аналогичным образом получены результаты удельной активности трития в остатке после электролиза и в результате прямых измерений для реки Тартак.

Результаты проведения прямых измерений активности трития в пробах речной воды из реки Тартак на жидкостно-сцинтилляционных радиометрах серии TRI-CARB, представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты проведения прямых измерений активности трития в пробах речной воды из реки Тартак на жидкостно-сцинтилляционных радиометрах TRI-CARB (время измерения – 300 мин.)

№ пробы	Скорость счета, имп/мин.	Эффективность счета	2S%
1	6,0	42,84	4,72
	5,8	42,9	4,8
	5,6	42,13	4,9
	5,6	42,39	4,88
	5,7	42,60	4,84
2	6,0	42,81	4,73
	6,2	43,1	4,6
	5,8	42,39	4,72
	5,4	42,80	4,98

Средняя скорость счета трития в пробах воды – 5,8 имп/мин. Эффективность – 42,7%. Удельная активность трития в исходной пробе согласно прямым измерениям.

$$A_{уд} = \frac{DPM}{60 \cdot V_2} = \frac{(5,8 - 5,4) / 0,43}{60 \cdot 5} \cdot 1000 = 3,04 \text{ Бк/л} \quad (8)$$

Для уточнения содержания трития в воде необходимо проведение электролиза (время проведения электролиза – 30 ч., температура электролиза – 8–10 °С).

Результаты проведения измерений активности трития в пробах речной воды из реки Тартак после проведения электролиза, представлены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты проведения измерений активности трития в пробах речной воды из реки Тартак после проведения электролиза (время проведения электролиза – 30 ч., температура электролиза – 8–10 °С)

№ пробы	Активности трития в пробах воды, Бк/мл	Эффективность счета	2S%
1	9,2	42,25	3,82
	9,27	42,55	3,79
	8,8	41,86	3,88
	9,18	42,47	3,81
2	9,0	42,97	3,85
	8,7	42,96	3,91
	9,07	43,01	3,83

Из данных приведенных в табл. 5, следует, что средняя активность трития в пробах водопроводной воды – 9,0. Эффективность – 42,6%.

$K_{\Delta m} = P_n / P_k = 180 / 20,1 = 9,0$ – кратность уменьшения массы раствора; $P_n = 180$ г – начальная масса раствора; $P_k = 20,1$ г – конечная масса.

Следовательно $K_{об} = K_{уд} \cdot K_{\Delta m} = 9,0 \cdot 0,94 = 8,4$.

$$A_{уд} = \frac{8,5 \cdot 1000}{60 \cdot 0,94 \cdot 5} = 28,4 \cdot \text{Бк/л} \quad (9)$$

$$A_n = \frac{A_{уд}}{K_{об}} = \frac{28,4}{8,4} = 3,4 \cdot \text{Бк/л} \quad (10)$$

Таблица 6

Результаты расчета удельной активности трития в остатке после электролиза и в результате прямых измерений, Бк/кг

Источник пробы воды	Продолжительность электролиза, час	Удельная активность трития в остатке после электролиза, Бк/кг	Удельная активность трития в воде (прямые измерения), Бк/кг
Пробы речной воды из реки Тартак	30	3,4	3,04

Выводы

В результате проведения научных экспедиций были отобраны пробы воды из основных водных объектов района размещения площадки белорусской АЭС согласно ОВОС, а именно из реки Вилия у н.п. Тартак (возможный максимум радионуклидного загрязнения), у н.п. Мужилы (сброс воды с АЭС), из реки Полпа у н.п. Маркуны 200 метров до впадения в Вилию, из реки Тартак у н.п. Тартак и у н.п. Быстрица (последний крупный н.п. перед границей с Литвой), из реки Газовка у н.п. Гоza, из реки Ошмянка у н.п. Видюны, из реки Лоша у н.п. Островец, у н.п. Белькишки и у н.п. Мацки (место отдыха населения), из Снягянского водохранилища (водохранилище Рачунской ГЭС) и из Ольховского водохранилища (водохранилище Ольховской ГЭС).

Определена удельная активность трития в двенадцати открытых водоёмах в районе планируемого строительства белорусской АЭС. При этом выполнено более 150 прямых измерений длительностью 300–500 минут (до статистической погрешности не более 5%) и 11 электролитических обогащений длительностью по 30–40 часов.

Показано, что среднее значение удельной активности трития в 2012 году для проточных водоёмов в 30-ти километровой зоны строительства белорусской АЭС составило $4,0 \pm 1,6$ Бк/л, а для озёр (непроточные водоёмы) – $7,0 \pm 1,4$ Бк/л. Последние являются накопителями трития, поэтому их загрязнение тритием несколько выше.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что удельная активность трития в воде в указанных водоёмах соответствуют глобальным выпадениям для данных широт.

Список литературы

1. ОВОС. Обоснование инвестирования в строительство атомной электростанции в Республике Беларусь. Этап 4: Оценка воздействия на окружающую среду. Раздел 4. Характеристика окружающей среды и оценка воздействий на нее белорусской АЭС. Поверхностные воды. Количественные и качественные характеристики. Раздел 5. Характеристика окружающей среды и оценка воздействий на нее белорусской АЭС. Поверхностные воды. Оценка возможного радионуклидного загрязнения водотоков. Трансграничный перенос радиоактивных загрязнений. "БЕЛНИПИЭНЕРГОПРОМ", Минск, 2009.
2. Станкевич, А. П., Корнеев, В. Н., Богодяж, Е. П. Отчет по договору №238/2009 «Выполнить дополнительные расчеты по оценке воздействия на водную среду (поверхностные воды) района размещения белорусской АЭС по предпроектным данным качества ее сточных вод и объемам забора воды из р. Виляя для производственного водоснабжения белорусской АЭС».
3. Миронов, В. П., Журавков, В. В., Кудина, О. П., Романовская, Е. В. Мониторинговые исследования трития в регионе размещения Белорусской АЭС. Материалы международной научной конференции «Радиация, экология и техносфера». – Гомель, 2013. – С. 101–102
4. ГОСТ Р 51592-2000: Вода. Общие требования к отбору проб.
5. Определение удельной активности трития в воде с использованием жидкосцинтилляционных радиометров серии TRI-CARB и QUANTULUS: метод. указ., В. П. Миронов, В. В. Журавков, под ред. В. И. Макаревича. РУП «Белорусский государственный институт метрологии». – Минск, 2011. – 13 с.
6. Миронов, В. П., Журавков, В. В., Кудина, О. П. Тритий в открытых водоемах в районе строительства белорусской АЭС. Материалы 13-й международной научной конференции Сахаровские чтения 2013 года: экологические проблемы XXI века. Минск. – Минск, 2013. – С. 230–231.

V. V. Zhuravkov

DETERMINATION BACKGROUND LEVELS OF TRITIUM IN THE HYDROLOGICAL FEATURES IN THE CONSTRUCTION AREA BELARUSIAN NPP

These results demonstrate that the specific activity of tritium in water in open reservoirs near nuclear plant construction related impacts bomb fallout for these latitudes.