

---

---

# ИЗУЧЕНИЕ

## И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

---

# THE STUDY

## AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

---

---

УДК 611.411:614.871:621.039.58(476)

### СОДЕРЖАНИЕ ТРИТИЯ В ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТИ В РАЙОНЕ СТРОИТЕЛЬСТВА БЕЛОРУССКОЙ АЭС

*В. В. ЖУРАВКОВ<sup>1)</sup>, С. С. ПОЗНЯК<sup>1)</sup>, А. Н. СКИБИНСКАЯ<sup>1)</sup>*

*<sup>1)</sup>Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова,  
Белорусский государственный университет, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь*

Представлены обобщенные данные определения фоновых уровней содержания трития в открытых водоемах в районе строительства Белорусской АЭС, проведенных специалистами УО «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (далее – МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ). Результаты получены на основе разработанной в МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ уникальной методики определения низких активностей трития в воде на жидкостно-сцинтилляционных радиометрах серии TRI-CARB и QUANTULUS [1]. Работа «Комплексный экологический мониторинг Белорусской АЭС на период сооружения (определение содержания трития в пробах поверхностных и подземных вод)» выполнялась в рамках НИР по заданию ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды».

В результате выполнения работы определена удельная активность трития в открытых водоемах в районе строительства Белорусской АЭС. При этом за весь цикл наблюдений испытано шестьдесят две пробы поверхностных

---

#### Образец цитирования:

Журавков В. В., Позняк С. С., Скибинская А. Н. Содержание трития в гидрографической сети в районе строительства Белорусской АЭС // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2019. № 1. С. 18–23.

#### For citation:

Zhuravkov V. V., Pazniak S. S., Skibinskaya A. N. Monitoring of the tritium concentration in the hydrographic network of the Belarusian NPP construction area. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2019. No. 1. P. 18–23 (in Russ.).

---

#### Авторы:

*Владислав Владимирович Журавков* – кандидат биологических наук, доцент, декан факультета мониторинга окружающей среды.

*Сергей Степанович Позняк* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заместитель директора по научной работе.

*Анна Николаевна Скибинская* – аспирант кафедры ядерной и радиационной безопасности.

#### Authors:

*Vladislav V. Zhuravkov*, PhD (biology), docent; dean of the faculty of environmental monitoring.

*zhuravkov@iseu.by*

*Sergei S. Pazniak*, doctor of science (agriculture), full professor; deputy director for research.

*pazniak@iseu.by*

*Anna Skibinskaya*, postgraduate student at the department of nuclear and radiation safety.

*skopets.0804@gmail.com*

вод, отобранных на пунктах в зоне наблюдения Белорусской АЭС, выполнено более 310 прямых измерений длительностью 300–500 мин (до статистической погрешности не более 5 %).

**Ключевые слова:** тритий; радиоактивность воды; методы измерений; среднее значение удельной активности трития; дозовые нагрузки.

## MONITORING THE TRITIUM CONCENTRATION IN THE HYDROGRAPHIC NETWORK OF THE BELARUSIAN NPP CONSTRUCTION AREA

V. V. ZHURAVKOV<sup>a</sup>, S. S. PAZNIAK<sup>a</sup>, A. N. SKIBINSKAYA<sup>a</sup>

<sup>a</sup>International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,  
23/1 Daūhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus

Corresponding author: V. V. Zhuravkov (zhuravkov@iseu.by)

The article presents the generalized data for determining the background levels of tritium in open water bodies in the area of the Belarusian NPP construction, conducted by the International Sakharov Environmental Institute of the Belarusian State University (ISEI BSU). The results were obtained on the basis of developed in the ISEI BSU the unique method for the determination of low tritium activities in water on the liquid-scintillation radiometers of the TRI-CARB and QUANTULUS series [1]. The work was carried out within the framework of the Research work: «Comprehensive environmental monitoring of the Belarusian NPP for the construction period (Determination of tritium content in surface and ground water samples) sponsored by Republican center for hydrometeorology, control of radioactive contamination and environmental monitoring.

As a result of the work, the specific activity of tritium in open water bodies in the area of the Belarusian NPP construction was determined. At the same time, for the entire observation cycle, sixty-two surface water samples were taken at sites in the observation zone of the Belarusian NPP, more than 310 direct measurements were made with a duration of 300–500 minutes (no more than 5 % statistical error).

**Key words:** tritium; water radioactivity; measurement methods; average value of specific activity of tritium; dose loads.

### Введение

Международными рекомендациями Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) предписывается проведение радиационного мониторинга в районе размещения атомной электростанции (АЭС) на всех этапах: строительства (оценка «нулевого» фона), эксплуатации и вывода из эксплуатации АЭС. Оценка «нулевого» фона производится за 2–3 года до пуска АЭС в эксплуатацию. Она является важным и обязательным этапом, поскольку полученные результаты такого мониторинга в дальнейшем используются для сравнения и оценки влияния АЭС на окружающую среду и население [2].

В Республике Беларусь строится первая атомная электростанция с двумя блоками ВВЭР-1200. С 2016 г. и по настоящее время проводится экологический мониторинг для определения «нулевых» фоновых значений трития в открытых водоемах в районе размещения Белорусской АЭС, являющийся важным этапом на период сооружения станции. Пробы воды для исследований были предоставлены ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды».

Тритий – радиоактивный изотоп водорода, который образуется как естественным путем, главным образом в результате взаимодействия частиц космических лучей с атомными ядрами молекул воздуха в верхней атмосфере, так и искусственным – вследствие работы ядерных реакторов и других отраслей промышленности. Он по ряду причин занимает особое место в вопросах обеспечения радиационной безопасности АЭС<sup>1</sup>. 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 объему радиоактивных благородных газов (РБГ). Во-вторых, в отличие от химически инертных РБГ, инкорпорированный тритий эффективно

<sup>1</sup>Обоснование инвестирования в строительство атомной электростанции в Республике Беларусь (ОВОС). 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. Минск, 2009.

включается в состав биологической ткани, вызывая мутагенные нарушения как за счет  $\beta$ -излучения средней энергии 5,8 кэВ, так и при нарушении 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 особенности позволяют отнести тритий к числу наиболее радиационно опасных долгоживущих нуклидов, которые способны загрязнять биосферу не только в районе непосредственного размещения источника, но и в региональном масштабе.

Очевидно, что эти соображения привели к включению трития в список контролируемых радиологических параметров, отмеченных в новой Директиве ЕС по качеству питьевой воды [2]. В настоящее время проблему тритиевого загрязнения водных экосистем в районах размещения предприятий ядерно-топливного комплекса 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.

### Материалы и методы исследования

Для определения активности трития в пробах воды использовалась утвержденная Белорусским государственным институтом метрологии «Методика определения удельной активности трития в воде с использованием жидкостно-сцинтилляционных радиометров серии TRI-CARB и QUANTULUS» (МВИ. МН 4143) [1]. Она разработана для определения удельной активности трития в воде с использованием жидкостно-сцинтилляционных радиометров серии TRI-CARB и QUANTULUS. Методика применима для всех типов воды (реки, озера, родники, подземные воды, морская вода и др.) с объемной активностью трития до  $10^6$  Бк/л и предназначена для мониторинговых исследований трития в регионе расположения АЭС с момента строительства и до закрытия, а также для других экологических исследований.

Определение удельной активности трития в воде основано на измерении суммарного бета-счета в энергетическом диапазоне 0–18,6 кэВ с помощью жидкостных сцинтилляционных радиометров, которые обеспечивают непосредственный контакт измеряемого образца (диспергированием или растворением) с жидким сцинтиллятором. Принцип работы жидкостного сцинтилляционного радиометра Tri-Carb основан на взаимодействии бета-излучающего радионуклида и сцинтиллятора – компонента сцинтилляционной смеси. Сцинтиллятор преобразует ионизирующее излучение от радионуклида в фотоны (сцинтилляция). Интенсивность света, вырабатываемого во время сцинтилляции, пропорциональна начальной энергии бета-частицы. Для измерения трития можно использовать различные типы жидкосцинтилляционных радиометров, применение которых зависит от уровня удельной активности трития [1].

Перед выполнением измерений образцов необходимо произвести нормализацию и калибровку прибора (автоматическую нормализацию и калибровку – SNC). Для этого соответствующим образом устанавливаются в кассеты флаконы (порядок зависит от используемой модели). Для радиометра 2910TR: негашеный стандарт углерода-14 в первую позицию; негашеный стандарт трития во вторую позицию кассеты; очищенный стандарт фона в третью позицию кассеты. Данная процедура необходима, чтобы удостовериться, что прибор производит точную количественную оценку всех эмиссий бета-частиц. Крайне желательно (рекомендации разработчиков), чтобы нормализация и калибровка (процедура SNC) прибора проводилась через 23-часовые (приблизительно ежедневные) промежутки. После автоматической нормализации и калибровки устанавливаются в приемный блок радиометра кассеты с флаконами, в которых находятся пробы воды с коктейлем для измерений, а также включают опцию – прямой анализ DPM, энергетический диапазон (0–18,6 кэВ), время измерений или погрешность измерений (программа радиометра определяет время измерений до заданной погрешности) [1].

После пробоподготовки воды, согласно методике МВИ.МН 4143, в 10 мл сцинтилляционного коктейля ULTIMA GOLD добавляется 5 мл образца. Для каждой пробы воды проводится 5 измерений по 300 мин каждое.

Измерения проводились на жидкосцинтилляционном радиометре TRI-CARB 2901 TR. Результатами измерений данного прибора являются: CPM – импульсы/минуту и эффективность регистрации –  $E_{эфф}$  (%). Эффективность регистрации в среднем равна 40 %.

Из импульсов/минуту необходимо перейти к объемной активности. Это можно сделать, рассчитав распады /минуту – DPM, следующим образом:

$$DPM = \frac{CPM - CPM_{\text{фона}}}{E_{эфф}} \cdot 100 \left[ \frac{\text{распад}}{\text{мин}} \right], \quad (1)$$

где  $CPM_{\text{фона}}$  – фоновое значение, которое равно 5,3 имп/мин.

Далее определяем объемную активность по формуле 2:

$$A_{ул} = \frac{DPM}{60 \cdot V} \cdot 1000 \left( \frac{Бк}{л} \right), \quad (2)$$

где V – объем пробы, который равен 5 мл.

### Результаты исследования и их обсуждение

При выполнении работы были исследованы пробы воды из основных водных объектов района размещения площадки Белорусской АЭС: р. Виляя (н.п. Малые Свиранки, н.п. Михалишки); р. Гозовка (н.п. Гоза); р. Лоша (н.п. Гервяты); р. Полпе (н.п. Чехи); р. Страча (н.п. Ольховка); колодец (н.п. Маркуны).

Всего было произведено 310 прямых измерений по 300–500 мин для 62 проб воды из рек в районе строительства Белорусской АЭС.

В табл. 1 и 2 приведены результаты исследований за 2016 и 2017 годы [3–5].

Таблица 1

#### Содержание трития в водных объектах (2016 г.)

Table 1

#### Content of tritium in water objects (2016)

№	Пункт наблюдений	Дата отбора	Активность, Бк/л A±Δ*
1	р. Виляя, н.п. Михалишки	29.04.2016	2,80±0,27
2	р. Виляя, н.п. Михалишки	31.05.2016	3,70±0,37
3	р. Виляя, н.п. Михалишки	21.09.2016	2,20±0,22
4	р. Виляя, н.п. Малые Свиранки	31.05.2016	2,20±0,22
5	р. Виляя, н.п. Малые Свиранки	12.07.2016	2,40±0,24
6	р. Виляя, н.п. Мужилы	31.05.2016	2,30±0,24
7	р. Виляя, н.п. Мужилы	12.07.2016	2,80±0,27
8	р. Лоша, н.п. Гервяты	18.05.2016	4,10±0,40
9	р. Лоша, н.п. Гервяты	12.07.2016	3,10±0,31
10	р. Лоша, н.п. Гервяты	21.09.2016	2,60±0,26
11	р. Полпе, н.п. Чехи	29.04.2016	2,70±0,27
12	р. Полпе, н.п. Чехи	18.05.2016	3,30±0,32
13	р. Гозовка, н.п. Гоза	29.04.2016	2,30±0,23
14	р. Гозовка, н.п. Гоза	18.05.2016	3,20±0,33
15	р. Гозовка, н.п. Гоза	21.09.2016	2,50±0,24
16	р. Страча, н.п. Ольховка	31.05.2016	3,80±0,38
17	р. Страча, н.п. Ольховка	21.09.2016	2,50±0,25

\*Δ – основная относительная погрешность метода 10 % при доверительном интервале 0,95.

Таблица 2

#### Содержание трития в водных объектах (2017 г.)

Table 2

#### Content of tritium in water objects (2017)

№	Пункт наблюдений	Дата отбора	Объемная активность, Бк/л A±Δ
1	р. Виляя, н.п. Малые Свиранки	6.02.2017	2,10±0,21
2	р. Виляя, н.п. Мужилы	7.02.2017	2,20±0,21
3	р. Виляя, н.п. Михалишки	8.02.2017	2,20±0,22
4	р. Гозовка, н.п. Гоза	8.02.2017	2,30±0,23
5	р. Лоша, н.п. Гервяты	30.03.2017	2,30±0,23

Окончание табл. 2

Ending table 2

№	Пункт наблюдений	Дата отбора	Объемная активность, Бк/л A±Δ
6	р. Полпе, н.п. Чехи	30.03.2017	2,40±0,24
7	р. Страча, н.п. Ольховка	30.03.2017	2,40±0,24
8	колодец, н.п. Маркуны	30.03.2017	3,50±0,35
9	р. Вилия, н.п. Малые Свирянки	12.04.2017	2,70±0,27
10	р. Вилия, н.п. Мужилы	12.04.2017	2,40±0,24
11	р. Вилия, н.п. Михалишки	13.04.2017	2,80±0,28
12	р. Гозовка, н.п. Гоza	13.04.2017	2,30±0,23
13	колодец, н.п. Валейкуны	14.04.2017	3,50±0,35
14	р. Лоша, н.п. Герваты	17.05.2017	2,70±0,27
15	р. Полпе, н.п. Чехи	17.05.2017	2,60±0,26
16	р. Страча, н.п. Ольховка	17.05.2017	2,70±0,27
17	колодец, н.п. Шульники	17.05.2017	3,20±0,32
18	р. Вилия, н.п. Малые Свирянки	06.06.2017	2,80±0,28
19	р. Вилия, н.п. Мужилы	06.06.2017	2,60±0,26
20	р. Вилия, н.п. Михалишки	07.06.2017	2,70±0,27
21	р. Гозовка, н.п. Гоza	07.06.2017	2,90±0,29
22	р. Лоша, н.п. Герваты	11.07.2017	2,90±0,29
23	р. Полпе, н.п. Чехи	12.07.2017	3,00±0,30
24	р. Страча, н.п. Ольховка	13.07.2017	2,80±0,28
25	скважина № 1 на БелАЭС	04.07.2017	3,30±0,33
26	скважина № 2 на БелАЭС	04.07.2017	3,40±0,34
27	скважина № 3 на БелАЭС	04.07.2017	3,50±0,35
28	скважина № 4 на БелАЭС	04.07.2017	3,30±0,33
29	р. Вилия, н.п. Малые Свирянки	12.09.2017	2,60±0,26
30	колодец, н.п. Довняришки	12.09.2017	3,30±0,33
31	р. Вилия, н.п. Мужилы	13.09.2017	2,70±0,27
32	р. Вилия, н.п. Михалишки	14.09.2017	2,80±0,28
33	р. Гозовка, н.п. Гоza	15.09.2017	2,60±0,26
34	р. Лоша, н.п. Герваты	18.10.2017	2,70±0,27
35	р. Полпе, н.п. Чехи	18.10.2017	2,50±0,25
36	р. Страча, н.п. Ольховка	19.10.2017	2,70±0,27
37	колодец, н.п. Нидяны	19.10.2017	3,40±0,34
38	р. Вилия, н.п. Малые Свирянки	08.11.2017	2,30±0,23
39	р. Вилия, н.п. Мужилы	08.11.2017	2,40±0,24
40	р. Вилия, н.п. Михалишки	09.11.2017	2,60±0,26
41	колодец, н.п. Малые Свирянки	09.11.2017	3,40±0,34
42	р. Гозовка, н.п. Гоza	10.11.2017	2,90
43	р. Лоша, н.п. Герваты	04.12.2017	2,50
44	р. Полпе, н.п. Чехи	04.12.2017	2,30
45	р. Страча, н.п. Ольховка	04.12.2017	2,50

\*Δ – основная относительная погрешность метода 10 % при доверительном интервале 0,95.

Таким образом, среднее значение удельной активности трития в гидрографических объектах в районе строительства Белорусской АЭС составляет  $2,8 \pm 0,2$ , что соответствует глобальным выпадениям для данных широт.

### Заключение

В результате выполнения работы были исследованы пробы воды из основных водных объектов района размещения площадки Белорусской АЭС: из р. Вилия у н.п. Малые Свирянки, н.п. Мужилы (сброс воды с АЭС), н.п. Михалишки; из р. Полпа у н.п. Чехи; из р. Газовка у н.п. Гоza; из р. Лоша у н.п. Герваты, а также были исследованы пробы питьевой воды (колодцы) в н.п. Маркуны, н.п. Валейкуны, н.п. Шульники, н.п. Нидяны, н.п. Довняришки.



Определена удельная активность трития в открытых водоемах в районе строительства Белорусской АЭС. При этом за весь цикл наблюдений испытано 62 пробы поверхностных вод, отобранных на пунктах в зоне наблюдения Белорусской АЭС, выполнено более 310 прямых измерений длительностью 300–500 мин (до статистической погрешности не более 5 %) и 11 электролитических обогащений длительностью по 30–40 ч.

Результаты статистической обработки данных свидетельствуют, что для данных, полученных на радиометре TRI-CARB 2910TR, стандартное отклонение повторяемости 0,45 %, а стандартное отклонение промежуточной прецизионности 0,53 %. Это подтверждает высокую точность и достоверность полученных экспериментальных данных, следовательно, надежность и корректность разработанной методики определения удельной активности трития в воде.

Показано, что среднее значение удельной активности трития для водоемов в 30-километровой зоны строительства Белорусской АЭС составило  $2,8 \pm 0,2$  Бк/л, а для колодцев и скважин –  $3,4 \pm 0,3$  Бк/л. Последние являются накопителями трития, поэтому их загрязнение этим радионуклидом несколько выше.

Таким образом, можно сделать вывод, что удельная активность трития в воде в указанных водоемах соответствует глобальным выпадениям для данных широт. Следует отметить, что для всестороннего исследования необходимо проведение мониторинговых мероприятий по определению трития в подземных водах, в питьевой воде (в водозаборах, колонках, колодцах) и в атмосферных осадках (дождевая вода, снег). На этой основе возможно спрогнозировать дозовые нагрузки от трития на население (дети, подростки, взрослые) при его поступлении в организм людей на момент снятия Белорусской АЭС с эксплуатации.

### Библиографические ссылки

1. Миронов В. П., Журавков В. В., Кудина О. П. Методика определения удельной активности трития в воде с использованием жидкостно-сцинтилляционных радиометров серии TRI-CARB и QUANTULUS: МВИ.МН 4143. Минск, 2011.
2. UNSCEAR 2016. Reports to the General Assembly with Scientific Annexes. Biological effects of selected internal emitters. New York, 2016.
3. Журавков В. В., Миронов В. П., Скибинская А. Н. Оценка концентрации трития в водных объектах в районе строительства Белорусской АЭС на основании прямых измерений // Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология-2017): материалы XIII междунар. науч.-техн. конф. Уфа, 2017. Т. 2. С. 72–75.
4. Скибинская, А. Н., Журавков В. В., Миронов В. П. Мониторинговые исследования трития в открытых водоемах в зоне размещения Белорусской АЭС // Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века: 18-я междунар. науч. конф. 17–18 мая 2018. Минск, 2018. Ч. 2. С. 240–241.
5. Журавков В. В., Миронов В. П., Позняк С. С., Скибинская А. Н. Фоновые уровни содержания трития в открытых гидрографических объектах в районе строительства Белорусской АЭС // Актуальные проблемы экологии – 2017: материалы XII междунар. науч.-практ. конф. Гродно, 2017. С. 198–200.

### References

1. Mironov V. P., Zhuravkov V. V., Kudina O.P. [The method of determining the specific activity of tritium in water using liquid scintillation radiometers of the TRI-CARB and QUANTULUS series: МВИ.МН 4143]. Minsk, 2011 (in Russ.).
2. UNSCEAR 2016. Reports to the General Assembly with Scientific Annexes. Biological effects of selected internal emitters. New York, 2016.
3. Zhuravkov V. V., Mironov V. P., Skibinskaya A. N. [Estimation of tritium concentration in water bodies in the area of the Belarusian AES construction based on direct measurements]. *Science, education, production in solving environmental problems (Ecology 2017)*: materials of the XIII intern. scientific and technical conf. Ufa, 2017. Vol. 2. P. 72–75 (in Russ.).
4. Skibinskaya A. N., Zhuravkov V.V., Mironov V.P. [Monitoring studies of tritium in open water bodies in the location zone of the Belarusian NPP]. *Sakharov Readings 2018: Ecological Problems of the 21 Century*: 18<sup>th</sup> intern. scientific conf. May 17–18, 2018. Minsk, 2018. Part 2. P. 240–241 (in Russ.).
5. Zhuravkov V. V., Mironov V. P., Poznyak S. S., et al. [Background levels of tritium in open hydrographic sites in the construction area of the Belarusian NPP]. *Actual Problems of Ecology – 2017*: materials of the XII intern. scientific and pract. conf. Grodno, 2017. P. 198–200 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 09.11.2018.  
Received by editorial board 09.11.2018.