

УДК 519.876.5

DOI: 10.34753/HS.2023.5.3.291

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА  
ПОДЗЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ  
ВОД В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ  
НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС С  
ЦЕЛЮ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ  
МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ ИЗ  
ХРАНИЛИЩА РАДИОАКТИВНЫХ  
ОТХОДОВ (1985 г.)**

Д. А. Шаров<sup>1</sup>, А. С. Коротков<sup>1</sup>, И. В. Пырков<sup>1</sup>,  
В. П. Поваров<sup>2</sup>, А. П. Шукин<sup>2</sup>,  
С. В. Росновский<sup>2</sup>, В. Н. Карасев<sup>2</sup>,  
В. С. Росновский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «ВНИИАЭС», г. Москва, Россия;

<sup>2</sup>Филиал АО «Концерн Росэнергоатом»  
«Нововоронежская АЭС», г. Нововоронеж,  
Россия

RosnovskySV@nvnpp1.rosenergoatom.ru

**Аннотация.** Данная статья посвящена радиационному мониторингу зоны влияния утечки жидких радиоактивных отходов (ЖРО) из хранилища жидких отходов № 2 (ХЖО-2) Нововоронежской АЭС (НВАЭС) 1985 г. Инцидент привел к радиоактивному загрязнению грунта и грунтовых вод, при этом перенос радионуклидов с грунтовыми водами из места утечки способствовал радиоактивному загрязнению водных объектов, находящихся в зоне влияния утечки.

Все эти годы проводились исследования, в ходе выполнения расчетных и полевых экспериментальных работ по радиационному мониторингу зоны влияния утечки из хранилища жидких отходов были получены основные результаты по выявлению причин и оценен масштаб инцидента на Нововоронежской АЭС. Результаты исследований использованы для обоснования безопасности при эксплуатации объектов Нововоронежской и других АЭС, но несмотря на большой объем проведенных исследований, остается нерешенными ряд задач по оценке отдаленных последствий утечки жидких

**HYDROSPHERE MONITORING  
IN THE AREA OF NOVovorONEZH  
NPP LOCATION IN ORDER TO ASSESS  
CONSEQUENCES OF RADIONUCLIDE  
MIGRATION  
FROM THE LRWS-2 (in 1985)**

Dmitry A. Sharov<sup>1</sup>, Alexey S. Korotkov<sup>1</sup>,  
Igor V. Pyrkov<sup>1</sup>, Vladimir P. Povarov<sup>2</sup>,  
Alexey P. Shchukin<sup>2</sup>, Sergey V. Rosnovsky<sup>2</sup>,  
Viacheslav N. Karasev<sup>2</sup>, Viktor S. Rosnovsky<sup>2</sup>

<sup>1</sup>JSC «VNIAES», Moscow, Russia;

<sup>2</sup>Novovoronezh NPP Branch of JSC  
Rosenergoatom

RosnovskySV@nvnpp1.rosenergoatom.ru

**Abstract.** The article is dedicated to radiation monitoring of liquid radioactive waste leakage from Novovoronezh NPP liquid radwaste storage No. 2 (LRWS-2) in 1985. The incident resulted in radioactive contamination of soil and groundwater. Moreover, radionuclides transfer with groundwater from the leakage site contributed to radioactive contamination of water reservoirs located in the affected area.

During these years studies have been carried out and in the course of calculations and field experimental work on radiation monitoring of the area effected by the leakage from the liquid waste storage facility, the main results were obtained to identify causes and assess the scale of Novovoronezh NPP incident. The research results were used for justification of Novovoronezh NPP and other nuclear power plants facilities safe operation. However, despite of lots of investigations conducted, a number of tasks remain unsolved to assess long term consequences of the leak from the liquid radwaste storage facility-2.

Since radiation safety requirements and rules are being reinforced day by day, and new sources of <sup>60</sup>Co intake are detected in the area of LRWS leakage effect and redistribution of activity

радиоактивных отходов из хранилища жидких отходов-2.

Так как требования и правила по радиационной безопасности ужесточаются с каждым днем, а в зоне влияния утечки жидких радиоактивных отходов обнаруживаются новые источники поступления  $^{60}\text{Co}$ , а также происходит перераспределение активности донных отложений в р. Дон на участках локализации радиоактивного загрязнения. После последствий утечки в 1985 г. и характеристики загрязнения  $^{60}\text{Co}$  донных отложений на этом участке указывают на возможность поступления данного радионуклида в реку Дон с берегового грунта, необходимо непрерывно проводить мониторинг гидросферы в районе размещения АЭС и поэтому существует потребность в новых методиках, программах по исследованию гидросферы. В связи с этим Нововоронежская АЭС разработала новую программу по радиационному дозиметрическому мониторингу реки Дон и береговой полосы до 2030 г.

**Ключевые слова:** жидкие радиоактивные отходы; радиационная безопасность; удельная активность; радиационный контроль; утечка; мониторинг.

### Введение

Развитие атомной энергетики сопровождается ужесточением регулирующих требований к обеспечению радиационной безопасности. При этом возникают задачи, связанные с контролем и локализацией отдаленных радиационных последствий эксплуатации или нарушений нормальной эксплуатации объектов использования атомной энергии в прошлом, в том числе связанных с загрязнением окружающей среды. Одна из таких задач – радиационный мониторинг зоны влияния утечки жидких радиоактивных отходов (ЖРО) из хранилища жидких отходов № 2 (ХЖО-2) Нововоронежской АЭС (НВАЭС), произошедшей в 1985 г. [Щукин, 2007]. Инцидент привел к

of bottom sediments in the Don River at the sites of localization of radioactive contamination after leakage in 1985, continuous monitoring of the hydrosphere in the vicinity of the nuclear power plant location is required. Therefore, there is a need for new methods, programs on hydrosphere research. Thereby, a new program on radiation dosimetric monitoring of the Don river and waterfront until 2030 were developed by Novovoronezh NPP specialists.

**Keywords:** liquid radioactive waste; radiation safety; specific activity; radiation monitoring; leakage; monitoring.

радиоактивному загрязнению грунта и грунтовых вод, при этом перенос радионуклидов с грунтовыми водами из места утечки способствовал радиоактивному загрязнению водных объектов, находящихся в зоне влияния утечки, в результате разгрузки (выхода в поверхностные водоемы, в частности, в реку Дон) загрязненных радионуклидами грунтовых вод. Со временем происходило перераспределение радионуклидов между взвешенными в воде частицами и донными отложениями, их накопление в донных отложениях, а также перенос течением воды. Перечисленные факторы способствовали перераспределению активности радионуклидов в донных отложениях и изменению границ загрязненных радионуклидами участков.

Sharov D.A., Korotkov A.S., Pyrkov I.V. Povarov V.P., Shchukin A.P., Rosnovsky S.V., Karasev V.N., Rosnovsky V.S. Hydrosphere monitoring in the area of Novovoronezh NPP location in order to assess consequences of radionuclide migration from the LRWS-2 (1985). *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2023, vol. 5, iss. 3, pp. 291–297. (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2023.5.3.291.

## Методы

Для получения детальной информации о радиационном состоянии участка радиоактивного загрязнения в зоне влияния утечки ЖРО из ХЖО-2 НВАЭС, выявления тенденций (кратковременного и долговременного характера) его изменения во времени, а также обоснования целесообразности проведения дополнительных защитных мероприятий, выработки рекомендаций по совершенствованию регламента радиационного контроля (РК) данного участка, с 2001 г. силами компетентных научных организаций (АО «ВНИИАЭС», ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, НПО «Тайфун») в дополнение к регламенту РК НВАЭС в соответствии с утвержденной долгосрочной Программой<sup>1</sup> проводились специальные работы по радиационному мониторингу загрязненных участков.

Методика основана на пробоотборе с последующей гамма-спектрией, а также гамма-мониторинге дна погружным прибором типа «Нырок-ППД».

Работы выполнялись с применением прецизионных методов и средств измерений, а также численных моделей фильтрации и миграции радионуклидов в места разгрузки загрязненных подземных вод. При выполнении полевых работ решались следующие задачи:

- выявление объектов с повышенным содержанием радионуклидов (участки грунта, донных отложений поверхностных водоемов, подземные и поверхностные воды) методами поисковой радиометрии и дозиметрии;

- отбор проб грунта и донных отложений в сети контрольных точек на местности и в водоемах (река Дон, сбросной канал первой очереди НВАЭС, отводной канал на рыбное хозяйство) и анализ радионуклидного состава загрязнения и удельной активности радионуклидов;

- контроль удельной активности радионуклидов в грунте и донных отложениях на

протяженных участках методом неразрушающей гамма-спектрометрии, в том числе с применением погружного гамма-спектрометра высокого разрешения;

- отбор проб поверхностных вод и анализ радионуклидного состава загрязнения и удельной активности радионуклидов для выявления мест разгрузки загрязненных грунтовых вод;

- отбор проб грунтовых (подземных) вод из сети наблюдательных скважин и анализ радионуклидного состава загрязнения и удельной активности радионуклидов для выявления путей миграции радионуклидов;

- оконтуривание, в случае выявления, участков локального радиационного загрязнения (ЛРЗ) грунта и донных отложений;

- установление распределения активности радионуклидов по вертикальному профилю грунта на исследуемых участках;

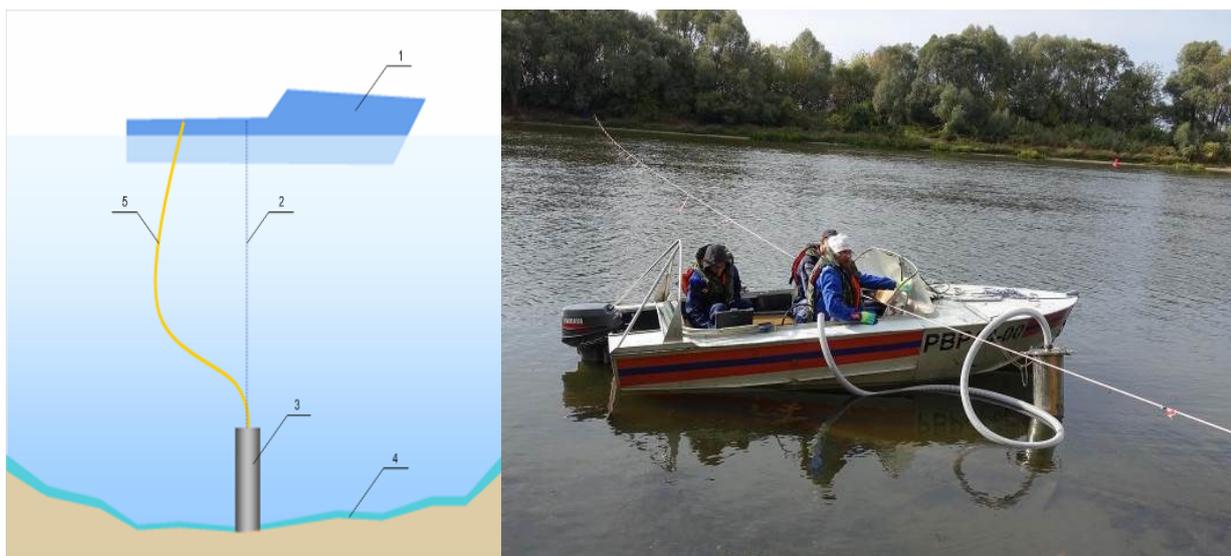
- оценка запаса техногенных радионуклидов в донных отложениях на участках ЛРЗ и общего запаса данных радионуклидов на участках исследования;

- отлов и определение содержания радионуклидов в рыбе из р. Дон для последующей оценки дозовой нагрузки на критическую группу населения (рыбаки);

- выявление динамики изменения радиационного состояния контролируемых объектов во времени.

В ходе выполнения работ по радиационному мониторингу зоны влияния утечки из ХЖО-2 разработан и с 2008 г. применяется при выполнении полевых работ метод неразрушающего (дистанционного) радиационного контроля донных отложений на основе погружной гамма-спектрометрической системы «Нырок-ППД» (разработка АО «ВНИИАЭС» и ООО «Грин Стар Инструментс»), позволяющий получать репрезентативную картограмму удельной активности радионуклидов в загрязненных донных отложениях (рисунок 1).

<sup>1</sup> Программа по научно-методическому сопровождению радиационного контроля участка радиоактивного загрязнения в районе 1,2 блоков и ХЖО-2 Нововоронежской АЭС на период 2010–2025 гг., утв. заместителем генерального директора - техническим директором ОАО «Концерн «Росэнергоатом» (23.09.2008)  
Programma po nauchno-metodicheskomu soprovozhdeniiu radiatsionnogo kontroliia uchastka radioaktivnogo zagriazneniia v rai'one 1,2 blokov i KHZHNO-2 Novovoronezhskoi' AE'S na period 2010–2025 gg., utv. zamestitelem general'nogo direktora - tekhnicheskim direktorom ОАО «Koncerna «Rose`nergoatom» (23.09.2008).



**Рисунок 1.** Схема измерения активности донных отложений неразрушающим методом:  
1 – плавсредство; 2 – трос; 3 – блок детектирования в капсуле; 4 – дно водоема (реки);  
5 – вентиляционный шланг

**Figure 1.** Scheme for bottom sediment activity measurement by non-destructive method:  
1 – watercraft; 2 – rope; 3 – encapsulated detection unit; 4 – water reservoir bottom (epy river);  
5 – ventilation hose

### Результаты и обсуждение

За годы исследований в ходе выполнения расчетных и полевых экспериментальных работ по радиационному мониторингу зоны влияния утечки из ХЖО-2 были получены следующие основные результаты:

- выявлены причины и оценен масштаб инцидента на НВАЭС, проведена оценка выхода радионуклидов из ХЖО-2 в грунтовые воды;
- выявлены основные характеристики радиоактивного загрязнения окружающей среды;
- разработаны и апробированы расчетно-теоретические модели распространения различных физико-химических форм  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$  с грунтовыми и поверхностными водами с учетом гидрогеологических и геохимических особенностей района расположения НВАЭС;
- выявлены основные пути и особенности миграции  $^{60}\text{Co}$  в грунтовых водах, а также места поступления этого радионуклида в р. Дон на основе расчетно-теоретических работ;
- разработан оптимальный метод радиационного контроля грунтовых вод, позволяющий выполнять достоверное измерение

активности радионуклидов в подземной воде с нижним пределом измерений около 0,05 Бк/кг;

- показано, что годовая доза облучения критической группы населения (рыбаки) в результате утечки ЖРО из ХЖО-2 за все время наблюдения не превышала минимально значимую дозу (10 мкЗв/год)<sup>2</sup>.

- проведена оценка радиационно-гигиенической обстановки в прибрежных районах р. Дон;

- выполнены оценки эффективности природных защитных барьеров на пути миграции  $^{60}\text{Co}$  в р. Дон;

- разработан и реализован на основе полученных данных комплекс мероприятий по реабилитации радиоактивно загрязненной территории и оценена их эффективность, а также даны исчерпывающие ответы на запросы контрольных и надзорных органов.

Результаты исследований использованы для обоснования безопасности при эксплуатации объектов Нововоронежской и других АЭС.

Несмотря на большой объем проведенных исследований, остается нерешенным ряд задач по

<sup>2</sup> Минимально значимая доза – нижняя граница дозы облучения при оптимизации радиационной защиты населения в режиме нормальной эксплуатации АЭС.

оценке отдаленных последствий утечки ЖРО из ХЖО-2

В период с 2003 по 2016 гг. в грунтовой воде наблюдательных скважин эпизодически обнаруживался радионуклид  $^{137}\text{Cs}$  ( $T_{1/2}=30$  лет) с удельной активностью до нескольких Бк/кг, что может указывать на возможную миграцию данного радионуклида. Современное содержание  $^{137}\text{Cs}$  за пределами ХЖО-2 составляет около 3,5 ТБк, предполагается, что активность сосредоточена в грунте под ХЖО-2.

Удельная активность  $^{60}\text{Co}$  в донных отложениях на ряде участков в устье сбросного канала и отводном канале в направлении прудов рыбного хозяйства по результатам исследований в предыдущие годы (например, в 2016 г., соответственно, 17 и 28 кБк/кг) превышала предельное значение (10 кБк/кг), установленное<sup>3</sup> в для отнесения материалов к твердым радиоактивным отходам. Вследствие этого, необходимо дальнейшее продолжение периодического радиационного обследования донных отложений на участках исследования, в особенности на указанных выше участках.

Периодически в зоне влияния утечки ЖРО из ХЖО-2 обнаруживаются новые источники поступления  $^{60}\text{Co}$  в р. Дон, а также перераспределение активности донных отложений в р. Дон на участках локализации радиоактивного загрязнения. Прогноз изменения поступления  $^{60}\text{Co}$  в р. Дон может быть сделан только на основании расчетных и

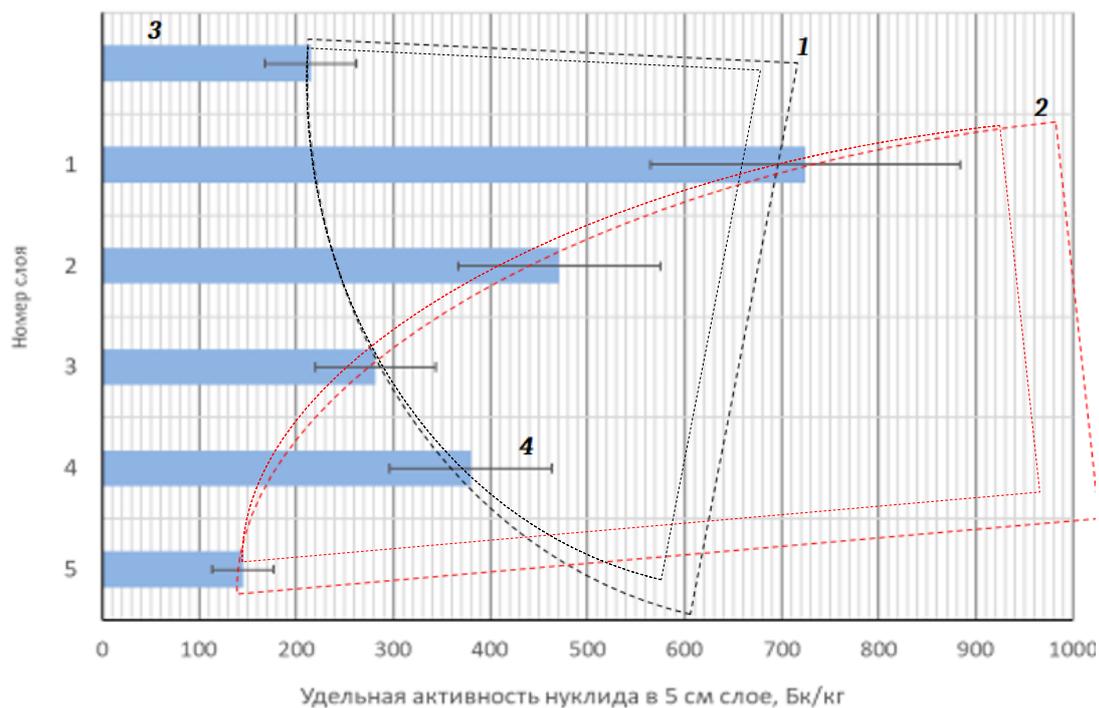
экспериментальных работ. Например, в 2018 г. обнаружен участок с повышенным содержанием  $^{60}\text{Co}$  в донных отложениях вблизи береговой насосной станции – 1 (БНС-1) в р. Дон (максимальное значение удельной активности  $^{60}\text{Co}$  в донных отложениях достигало 1500 Бк/кг). По результатам специальных работ, выполненных в 2020 г.<sup>4</sup>, отмечен рост удельной и общей активности  $^{60}\text{Co}$  в донных отложениях на данном загрязненном участке (значения максимальной удельной активности  $^{60}\text{Co}$  в 2020 и 2018 гг. – 1570 и 687 Бк/кг соответственно, запас активности  $^{60}\text{Co}$  – 68 и 47,6 МБк соответственно). Характеристики загрязнения  $^{60}\text{Co}$  донных отложений на этом участке указывают на возможность поступления данного радионуклида в р. Дон с берегового грунта. На рисунке 2 приведена гистограмма распределения удельной активности  $^{60}\text{Co}$  по глубине донных отложений (по 5-сантиметровым слоям керна), отобранных на данном участке р. Дон, где черная пунктирная линия (1) – тенденция миграции нуклида из верхнего слоя в нижележащие слои, красная пунктирная линия (2) – тенденция выноса (вымывания) нуклида из верхних слоев с проточной водой реки Дон. Под номером 3 – распределение удельной активности нуклида по глубине с учетом неопределенности измерений, 4 – показано, как два процесса (миграция, вымывание), накладываясь друг на друга, формируют распределение активности по глубине.

<sup>3</sup> Постановление Правительства РФ от 19.10.2012 № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов»

Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 19.10.2012 № 1069 "O kriteriiaikh otneseniia tverdyy' kh, zhidkikh i gazoobrazny' kh othodov k radioaktivny' m othodam, kriteriiaikh otneseniia radioaktivny' kh othodov k osoby' m radioaktivny' m othodam i k udaliaemy' m radioaktivny' m othodam i kriteriiaikh klassifikatsii udaliaemy' kh radioaktivny' kh othodov" [On the criteria for classifying solid, liquid, and gaseous waste as radioactive waste, criteria for classifying radioactive waste as special radioactive waste and removable radioactive waste, and criteria for classifying removable radioactive waste]

<sup>4</sup> Д.А. Шаров, А.С. Коротков, И.В. Пырков и др. Отчет «Радиационная обстановка в зоне влияния утечки ЖРО из ХЖО-2 (1985 г.) НВАЭС в 2020 г.». М: АО «ВНИИАЭС», 2020

D.A. Sharov, A.S. Korotkov, I.V. Pyrkov i dr. Otchet "Radiatsionnaia obstanovka v zone vliianiia utechki ZHRO iz KHZHO-2 (1985 g.) NVAE'S v 2020 godu" [Report "Radiation Situation in the Influence Zone of the Leakage of Liquid Radioactive Waste from Liquid Radioactive Waste Storage Facility-2 (1985) of Novovoronezh NPP in 2020.] M: AO «VNIIE'S», 2020



**Рисунок 2.** Содержание радионуклида  $^{60}\text{Co}$  в слоях керн донных отложений, отобранного на участке № 1а исследования в створе № 28 в 5 м от левого берега р. Дон в 2020 г.

**Figure 2.** Content of radionuclide  $^{60}\text{Co}$  in the bottom sediment layers sampling point, sampled at section No. 1a of the cross section No. 28 5 m from the left bank of the Don River in year 2020



**Рисунок 3.** Участок исследований в р. Дон перед каменной насыпью БНС-4 НВАЭС (вид с плавсредства)

**Figure 3.** Research site in the Don River in front of the stone rip-rap fill of the NVNPP on-shore pumping station-4 (view from a watercraft)

Также в 2020 г. подтверждена тенденция к накоплению  $^{60}\text{Co}$  в донных отложениях вблизи каменной насыпи перед береговой насосной станции–4 (БНС-4) НВАЭС и смещению накопленной активности в направлении русла реки. В целях обеспечения радиационной безопасности при эксплуатации БНС-4 НВАЭС представляется целесообразным проведение детального исследования радиационных характеристик данного участка (рисунок 3) и выполнение прогнозных оценок изменения радиационной обстановки во времени с целью принятия обоснованных и своевременных решений о необходимости проведения защитных мероприятий.

#### Литература

Щукин А.П. Расчетно-теоретические и экспериментальные исследования закономерностей загрязнения окружающей среды в результате утечки радионуклидов из хранилища жидких радиоактивных отходов (на примере Нововоронежской АЭС). Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2007. 20 с.

#### Заключение

Оставшиеся нерешенные проблемы, а также необходимость подтверждения безопасной радиационной обстановки для диалога с надзорными органами и общественностью делают актуальным продолжение работ по научно-методическому сопровождению радиационного контроля на участке радиоактивного загрязнения, образовавшегося вследствие утечки ЖРО из ХЖО-2 С учетом вновь выявленных задач с целью непрерывного наблюдения за радиационным состоянием загрязненного участка разработана и утверждена новая Программа радиационного дозиметрического мониторинга реки Дон и береговой полосы до 2030 г.<sup>5</sup>.

#### References

Shchukin A.P. *Raschetno-teoreticheskie i eksperimental'ny'e issledovaniia zakonornostei` zagriazneniia okruzhaiushchei` sredy` v rezul'tate utechki radionuclidov iz khranilishcha zhidkikh radioaktivny`kh othodov (na primere Novovoronezhskoi` AE`S). Avtoref. diss. kand. techn. nauk [Calculative-Theoretical and Experimental Studies on Environmental Pollution Patterns Due to Leakage of Radionuclides from Liquid Radioactive Waste Storage: (Case Study of Novovoronezh NPP)]. Ph. D. (technical) thesis]. M., 2007. 20 p. (In Russian).*

<sup>5</sup> Программа Радиационного дозиметрического мониторинга участков р. Дон и береговой полосы в районе расположения Нововоронежской АЭС на период 2023 – 2030 гг., утв. заместителем генерального директора – директором филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская АЭС» (17.01.2023). Programma Radiatsionnogo dozimetricheskogo monitoringa uchastkov r. Don i beregovoi` polosy` v rai`one raspolozheniia Novovoronezhskoi` AE`S na period 2023 – 2030 gg. [The Radiation Dosimetric Monitoring Program for the areas of the Don River and the coastal zone near the Novovoronezh Nuclear Power Plant for the period of 2023-2030] (17.01.2023).