DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-6-61-69

Д.В. Исаев, В.В. Шлыгин, Ю.Н. Зозуль, Ю.С. Бельских, Н.К. Шандала

ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО РАБОТУ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

Контактное лицо: Дмитрий Викторович Исаев, e-mail: strategik@bk.ru

РЕФЕРАТ

Цель: Оценка эколого-гигиенической обстановки в зоне влияния предприятия, обеспечивающего работу Северного морского пути.
Материал и методы: В исследовании использованы данные эколого-гигиенического мониторинга ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, сведения из открытых источников. Мощность амбиентного эквивалента дозы фотонного излучения (МАЭД) оценена методом пешеходной гамма-сьемки, радионуклидный состав – методами гамма-спектрометрии и радиометрии. Потенциальная опасность загрязнения окружающей среды оценена по фактическим выбросам и сбросам предприятия с использованием интегрального показателя загрязнения.
Результаты: На основе опубликованных данных рассчитаны индексы сброса и выброса, выделены приоритетные загрязняющие вещества. Установлено присутствие в сбросе ряда загрязняющих веществ (взвешенные вещества, фосфаты, нитриты) в содержании, превышающих допустимое, что определяет высокую приоритетность химического загрязнения. Радиационное воздействие характеризуется низким уровнем. В сбросах радионуклидов отмечается тенденция к снижению Co-60 и Cs-137, в выбросах доминируют инертные радиоактивные газы.
МАЭД в жилой зоне Мурманска соответствует региональному природному фону. Локальные участки с повышенным содержанием Cs-137 в почве (до 100 Бк/кг) обусловлены глобальными выпадениями и природными особенностями территории. Уровни активности радионуклидов в морской воде и донных отложениях в районе расположения предприятия не превышают фоновых значений для Баренцева моря, с учетом гидродинамического режима и влияния городской инфраструктуры. Содержание радионуклидов в местных пищевых продуктах (грибы, ягоды) находится в пределах допустимых норм.
Выводы: Выбросы и сбросы загрязняющих веществ в основном не превышают установленных нормативов. Наибольшую потенциальную опасность представляют сбросы нерадиоактивных загрязнителей (взвешенные вещества, фосфаты, нитриты). Результаты натурных исследований подтверждают отсутствие радиационного воздействия на окружающую среду. Аспекты техногенного воздействия предприятия обосновывают оптимизацию экологического контроля в части внедрения контрольных уровней для приоритетных нерадиационных факторов по аналогии с радиационным контролем.

Ключевые слова: *судоремонтное предприятие, эколого-гигиенический мониторинг, радиационная обстановка, техногенные радионуклиды, объекты окружающей среды, сбросы и выбросы*

Для цитирования: Исаев Д.В., Шлыгин В.В., Зозуль Ю.Н., Бельских Ю.С., Шандала Н.К. Эколого-гигиеническая обстановка в районе расположения предприятия, обеспечивающего работу Северного морского пути // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2026. Т. 71. № 6. С. 61–69. DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-6-61-69

DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-6-61-69

D.V. Isaev, V.V. Shlygin, Yu.N. Zozul', Iu.S. Belskikh, N.K. Shandala

Environmental and Hygienic Situation in the Area of the Enterprise Operating the Northern Sea Route

A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

Contact person: D.V. Isaev, e-mail: strategik@bk.ru

ABSTRACT

Purpose: To assess the ecological and health physics situation in the area affected by the enterprise supporting the operation of the Northern Sea Route.
Material and methods: The study used data from environmental and health physics monitoring conducted by the Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of the FMBA of Russia, as well as information from open sources. The ambient dose equivalent rate (ADER) of photon radiation was assessed using pedestrian gamma survey; the radionuclide composition was determined by gamma spectrometry and radiometry. The potential hazard of environmental pollution was evaluated by calculating an integral indicator based on the enterprise's actual emissions and discharges.
Results: Based on the calculated indicator and actual data, the potential environmental pollution hazard was assessed and priority pollutants were identified. The presence of certain substances (suspended solids, phosphates, nitrites) in discharges was found at concentrations exceeding permissible levels, which indicates the high priority of chemical pollution. The radiological impact was at a low level: discharges of Co-60 and Cs-137 showed a decreasing trend, while inert radioactive gases predominated in emissions.
The ADER levels in the residential area of Murmansk corresponded to the regional background. Local areas with elevated radionuclide activity in soil (Cs-137 up to 100 Bq/kg) were attributed to global fallout and natural characteristics of the territory. Radionuclide activities in seawater and bottom sediments in the enterprise area corresponded to background values for the Barents Sea, taking into account hydrodynamic conditions and the impact of urban infrastructure. The radionuclide content in local food products (mushrooms, berries) did not exceed permissible levels.

Conclusion: The enterprise's emissions and discharges generally did not exceed the established regulatory limits. The greatest potential hazard was posed by discharges of non-radioactive pollutants (suspended solids, phosphates, nitrites). The field study results confirm the absence of the enterprise's technogenic impact. The identified aspects of the enterprise's technogenic impact justify optimizing environmental control by introducing control levels for priority non-radiological factors, by analogy with radiation control and monitoring.

Keywords: *ship repair company, environmental and health physics monitoring, radiation situation, man-made radionuclides, environmental media, discharges and emissions*

For citation: Isaev DV, Shlygin VV, Zozul' YuN, Belskikh IuS, Shandala NK. Environmental and Hygienic Situation in the Area of the Enterprise Operating the Northern Sea Route. Medical Radiology and Radiation Safety. 2026;71(6):61–69. DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-6-61-69

Введение

Устойчивое функционирование Северного морского пути (СМП) обусловлено работой комплекса обеспечивающих предприятий, значительная часть которых сосредоточена в г. Мурманске – крупнейшем незамерзающем порте на северо-западе России. Стратегическая роль города определяется его географическим положением, развитой транспортной инфраструктурой и концентрацией высокотехнологичных производств, включая предприятия, обслуживающие суда с ядерными энергетическими установками.

На восточном берегу Кольского залива Баренцева моря, на северной окраине г. Мурманска, расположено специализированное предприятие, играющее ключевую роль в обеспечении судоходства по трассам СМП. Предприятие, выполняя ледокольное обеспечение навигации по СМП, осуществляет эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт атомных ледоколов и судов вспомогательного флота. Кроме этого, предприятие участвует в программах реабилитации объектов ядерного наследия Мурманской области, в том числе в мероприятиях по обращению с отработанным ядерным топливом (ОЯТ) и радиоактивными отходами (РАО)[1].

Предприятие классифицировано как радиационно-опасный объект второй категории потенциальной радиационной опасности [1]. В рамках производственной деятельности на его территории реализуется технологическая цепочка обращения с РАО, предусматривающая приём, переработку и временное хранение жидких и твёрдых РАО. На объекте осуществляются операции по выгрузке ОЯТ с морского транспорта, его временному хранению и последующей транспортировке железнодорожным транспортом для дальнейшей переработки [2]. В составе инфраструктурного комплекса предприятия имеется хранилище неперерабатываемого ОЯТ, сроки хранения в котором на текущий момент не регламентированы и определяются перспективами разработки и внедрения технологий переработки ОЯТ.

Радиационная безопасность на предприятии обеспечивается комплексом инженерно-технических и организационных мер (физическая защита источников излучения, регламентация эксплуатации систем, зонирование территории). Мониторинг радиационной обстановки на промышленной площадке, санитарно-защитной зоне (СЗЗ) и зоне наблюдения (ЗН) ведётся в рамках производственного контроля.

Территория расположения предприятия сложена преимущественно четвертичными (плейстоценовые) отложениями, местами – аллювий и эоловые пески. Почвенный покров отличается зональной неоднородностью: на основной части преобладают иллювиально-гумусовые подзолы, в прибрежной зоне – тундровые глеевые, оподзоленные почвы и подбуры [3]. Климат формируется под влиянием тёплого течения Гольфстрим. Ветровой режим сезонный (зимой преобладают ветры с суши на море, летом – наоборот). Регион отличается избыточным увлажнением, низкими среднегодовыми температурами и коротким вегетационным периодом.

В настоящей статье представлены результаты исследований состояния окружающей среды для оценки эколого-гигиенической обстановки и выявления факторов техногенного воздействия на окружающую среду, обусловленных деятельностью предприятия, обеспечивающего работу СМП.

Материал и методы

В исследовании использованы данные эколого-гигиенического мониторинга, проводимого ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, отчетов по экологической безопасности ФГУП «Атомфлот» [4], радиационно-гигиенических паспортов территории Мурманской области [1] и ежегодников НПО «Тайфун» за период 2016–2025 гг. [5]. Территория исследования включала СЗЗ и ЗН предприятия, а также жилую часть г. Мурманска, находящуюся в непосредственной близости от предприятия (район Роста). В качестве фонового района рассмотрена жилая часть г. Мурманска (район Абрам-мыс), находящаяся на противоположной стороне Кольского залива в 7,6 км на юг от предприятия (рис. 1).

Измерения МАЭД фотонного излучения выполнены методом пешеходной гамма-съемки с использованием портативных спектрометрических установок МКС–01А «Мультирад–М» и МКС–АТ6101С.

Лабораторные исследования радионуклидного состава и удельной активности радионуклидов проводились методами гамма-спектрометрии (гамма-спектрометр «CANBERRA» с полупроводниковым германиевым детектором (США)[2] и радиометрии (радиометр УМФ–2000, Россия) с применением предварительных методов радиохимического выделения радионуклидов[3, 4].

Анализ потенциальной опасности загрязнения окружающей среды выполнен на основе опубликованных данных по сбросам и выбросам предприятия [4] по интегральному показателю потенциального загрязнения объектов окружающей среды, складывающегося из индексов сброса / выброса загрязняющих веществ (Int_j) по формуле:

[1] Материалы по оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) // «Материалы обоснования лицензии на осуществление деятельности в области использования атомной энергии: эксплуатацию ядерных установок атомных ледоколов проекта 10580 ФГУП «Атомфлот»» // ФГУП «Атомфлот», Мурманск, 2021 г, с.51.

[2] Методика выполнения измерений активности гамма-излучающих радионуклидов в счетных образцах с применением гамма-спектрометрической системы LabSOCS//ООО НТЦ «РАДЭК» – СПб.,2007.

[3] МУК 4.3.2503-09. Стронций-90. Определение удельной активности в пищевых продуктах. – Введ. 2009-06-20. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 32 с.

[4] МУК 2.6.1.033-2003. Стронций-90. Определение концентрации в почве экстракцией моноизооктиловым эфиром метилфосфоновой кислоты иттрия-90. – М., 2003.

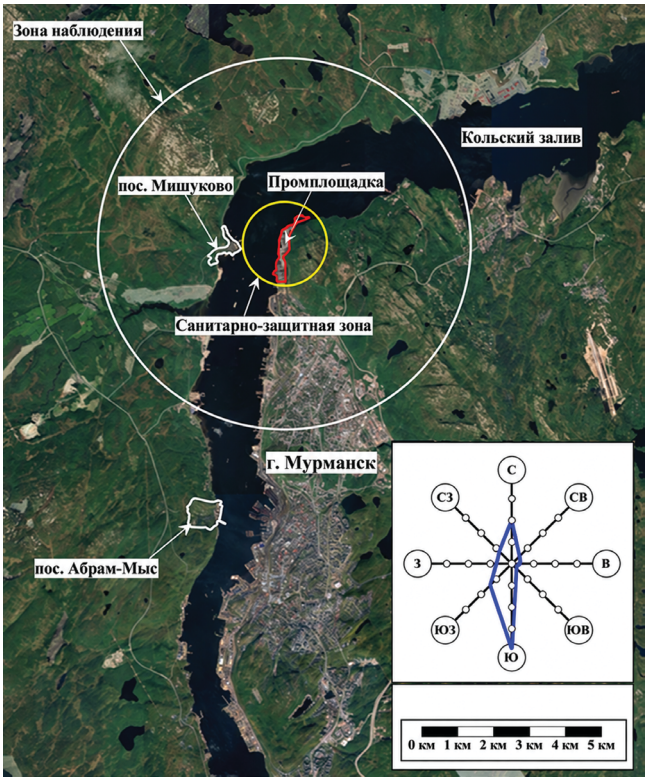


Рис. 1. Картограмма территории исследования
Fig. 1. Cartogram of the research area

$$Int_j = Max_{i=1}^{N}\left(\frac{Fact_i}{Norm_i}\right), \quad (1)$$

где Int_j – максимальный индекс сброса или выброса загрязняющего вещества или радионуклида в отчётном году; *Max* – функция максимума; *i* – порядковый номер источника сброса или выброса загрязняющего вещества или радионуклида; *N* – количество источников сбросов или выбросов загрязняющих веществ или радионуклидов, приведённое в отчёте; *Fact* – фактическое значение сброса или выброса загрязняющего вещества (т/год) или радионуклида (Бк/год); *Norm* – предельно-допустимое значение сброса или выброса загрязняющего вещества (т/год) или радионуклида (Бк/год).

На основании формулы (1) формируется массив значений Int_j размерностью $R \times M$, где *R* – количество загрязняющих веществ, *M* – продолжительность исследуемого периода времени, лет. Загрязняющее вещество определяется приоритетным для дальнейшего анализа, если за M лет хотя бы одно значение $Int_j \geq 1{,}0$. Относительный вклад загрязняющих веществ в интегральный показатель потенциального загрязнения определяется по формуле:

$$D_j = \frac{\sum_{k=1}^{M} Int_j}{\sum_{j=1}^{R}\sum_{k=1}^{M} Int_{kj}} \times 100\%, \quad (2)$$

где D_j – относительный вклад *j*-го загрязняющего вещества или радионуклида в суммарный *Int* за исследуемый период, %; *j* – порядковый номер загрязняющего вещества или радионуклида в объединённом перечне за исследуемый период; *R* – количество наименований в объединённом перечне за исследуемый период; *k* – порядковый номер отчётного года; *M* – количество отчётных лет в исследуемом периоде.

Выборка загрязняющих веществ из объединённого перечня со значениями $D \geq 5\%$ для химических загрязнителей и $D \geq 1\%$ для радионуклидов формирует результирующий перечень приоритетных загрязняющих веществ или радионуклидов, сброшенных со сточными водами или выброшенных в атмосферный воздух.

Статистический анализ данных выполнен с использованием MS Excel. Для однородных наборов измерений в качестве показателя центральной тенденции использована медиана, границы её доверительного интервала рассчитаны при доверительной вероятности 0,95[5]. С учётом принципа консервативности при представлении результатов учтена расширенная неопределённость измерений, что позволяет обеспечить надёжную оценку диапазона возможных значений и учесть погрешность измерений.

Результаты и обсуждение

Оценка потенциального воздействия предприятия

Воздействие предприятия на окружающую среду обусловлено регламентированными выбросами в атмосферный воздух и сбросами в водные объекты загрязняющих веществ радиационной и нерадиационной природы, осуществляемыми в ходе его производственной деятельности. Сточные воды (хозяйственно-фекальные воды, прошедшие биологическую очистку, морская вода от докования судов и ливневые воды, сбрасываемые без очистки) сбрасываются в Кольский залив, являющийся рыбохозяйственным водным объектом высшей категории[6]. Качественный состав выбросов и сбросов предприятия характеризуется многокомпонентностью и включает широкий спектр химических соединений, потенциально значимых с точки зрения воздействия на окружающую среду. Значения разрешённых выбросов и сбросов в период 2015–2024 гг. неоднократно пересматривались с учётом изменения производственной деятельности, внедрения новых технологий, актуализации нормативно-правовой базы в области охраны окружающей среды и радиационной безопасности.

Для анализа потенциальной опасности загрязнения окружающей среды за счет присутствующих в сбросах предприятия загрязнителей рассмотрен интегральный показатель потенциального загрязнения химическими веществами и радионуклидами. Структура интегрального показателя с учетом вклада каждого из загрязнителей показывает (рис. 2), что потенциальная опасность загрязнения окружающей среды химическими загрязнителями в основном (75%) обусловлена взвешенными веществами (вклад 41%), фосфатами (вклад 20%) и нитритами (вклад 14%); по радионуклидам Co-60 (вклад 41%) и Cs-137 (вклад 44%).

Индексы сброса приоритетных загрязнителей изменяются в широком диапазоне (табл. 1). По химическим загрязняющим веществам наблюдается превышение нормативно допустимого сброса (НДС) до 16 раз, по радионуклидам превышения предельно допустимого сброса (ПДС) не отмечено.

Динамика сбросов приоритетных химических загрязнителей показывает (рис. 3), что в период 2015–2018 гг.

[5] ГОСТ Р ИСО 16269-7-2004. Статистические методы. Статистическое представление данных. Медиана. Определение точечной оценки и доверительных интервалов : утв. постановлением Госстандарта России от 27 января 2004 г. № 34-ст: введ. 1 июня 2004 г.

[6] Постановление Правительства РФ от 28 февраля 2019 г. № 206 «Об утверждении Положения об отнесении водного объекта или части водного объекта к водным объектам рыбохозяйственного значения и определении категорий водных объектов рыбохозяйственного значения» (в ред. от 10 июня 2021 г.).

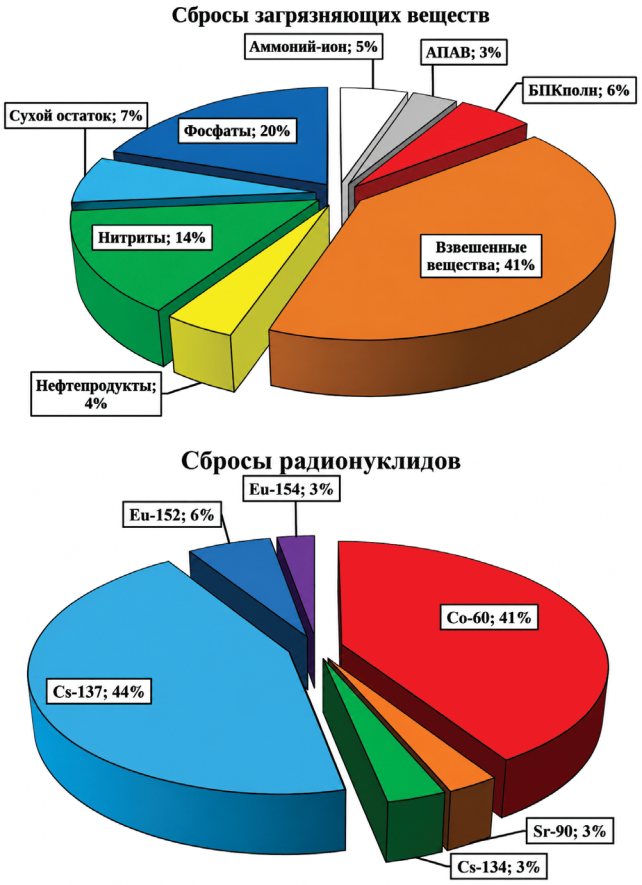


Рис. 2. Структура интегрального показателя потенциального загрязнения сбросов радионуклидов и загрязняющих веществ, 2015–2024 гг.

Fig. 2. Structure of the integral indicator of potential pollution from radionuclide

Таблица 1

Индексы сброса химических загрязняющих веществ и радионуклидов

Discharge indices for chemical pollutants and radionuclides

Загрязнители	Индекс сброса									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Взвешенные в-ва	0,64	**1,7**	0,87	0,98	**15**	**16**	**22**	**9,9**	**12**	**22**
Нитриты	**1,1**	0,81	0,52	0,32	**4,2**	**7,1**	**7,2**	**5,4**	**5,4**	**3,8**
Фосфаты	**1,5**	**1,2**	0,77	0,69	**3,5**	**6,5**	**6,7**	**7,2**	**5,3**	**16**
Co-60	0,93	0,13	0,004	0,01	0,23	0,28	0,51	0,81	0,028	0,12
Cs-137	0,52	0,50	0,55	0,11	0,86	0,13	0,18	0,092	0,23	0,11

Примечание: Жирным шрифтом выделены значения Int_j>1,0

наблюдалось соответствие фактического сброса и НДС рассмотренных загрязняющих веществ ($Int_j \approx 1$). С 2019 г., когда значения НДС были снижены, наблюдается увеличение фактического сброса, достигающего многократного превышения НДС ($Int_j >> 1$). В динамике фактических сбросов фосфатов, характеризующейся относительной стабильностью, в 2024 г. отмечен резкий всплеск, что может указывать на эпизодическое нарушение технологического режима, проведение ремонтных работ в системе очистки либо на изменение методики учёта.

Совокупное присутствие этих загрязнителей в сбросах предприятия в содержаниях выше НДС определяют необходимость строгого контроля их концентраций в рамках системы экологического мониторинга ввиду их

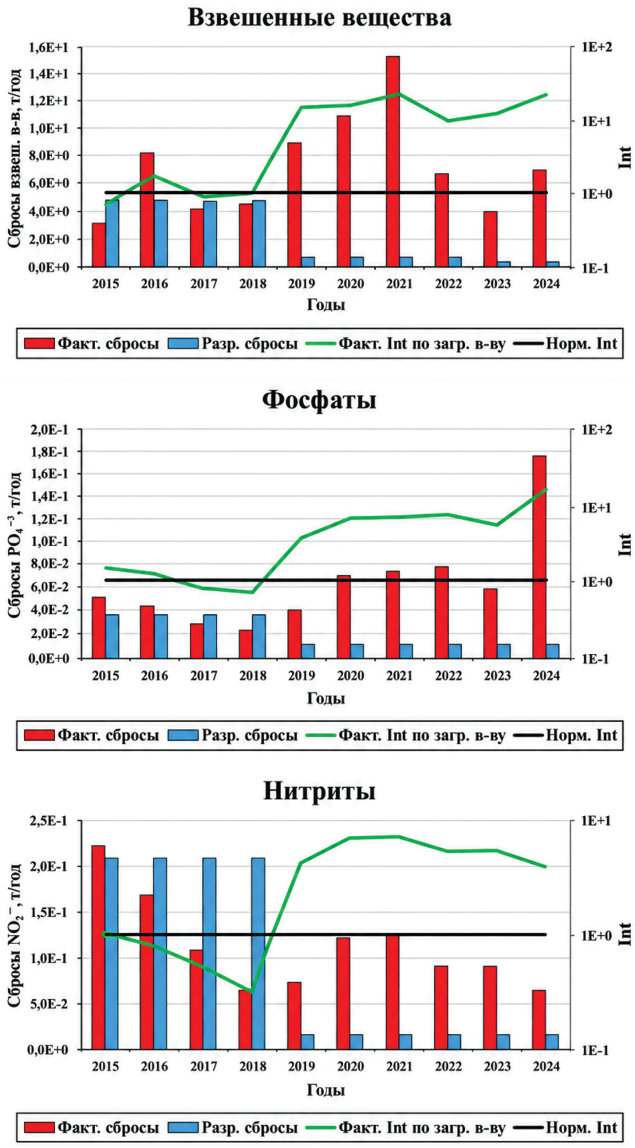


Рис. 3. Динамика сбросов химических загрязняющих веществ со сточными водами

Fig. 3. Dynamics of chemical pollutant discharges in wastewater

возможного негативного влияния на водные экосистемы. Взвешенные вещества снижают прозрачность воды, угнетая фотосинтез и сокращая биомассу фитопланктона. Фосфаты как биогенные элементы провоцируют эвтрофикацию водоёмов, а последующее разложение отмершей биомассы ведёт к гипоксии и массовой гибели гидробионтов. Нитриты, обладая выраженной токсичностью, вызывают гипоксию и нарушения физиологических процессов.

Динамика сбросов техногенных радионуклидов Co-60 и Cs-137 отражает тенденцию снижения фактических сбросов (рис. 4). Относительно Cs-137 с 2020 г. наблюдается существенное снижение активности при неизменном уровне допустимого значения, за счёт чего заметно снижается вклад данного радионуклида в интегральный показатель потенциального загрязнения. Удельная активность Co-60 меняется год от года, с максимальным значением в 2015 г. близким к ПДС. Позднее его активность в сбросах резко снижается, соответствуя пересмотренному в 2021 г. значению ПДС.

Анализ интегрального показателя потенциального загрязнения окружающей среды сбросами предпри-

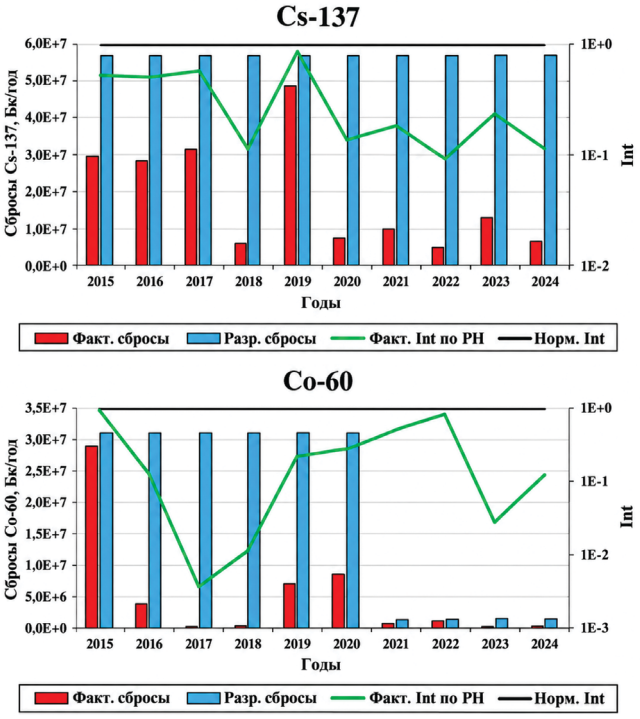


Рис. 4. Динамика сбросов радионуклидов со сточными водами
Fig. 4. Dynamics of radionuclide discharges in wastewater

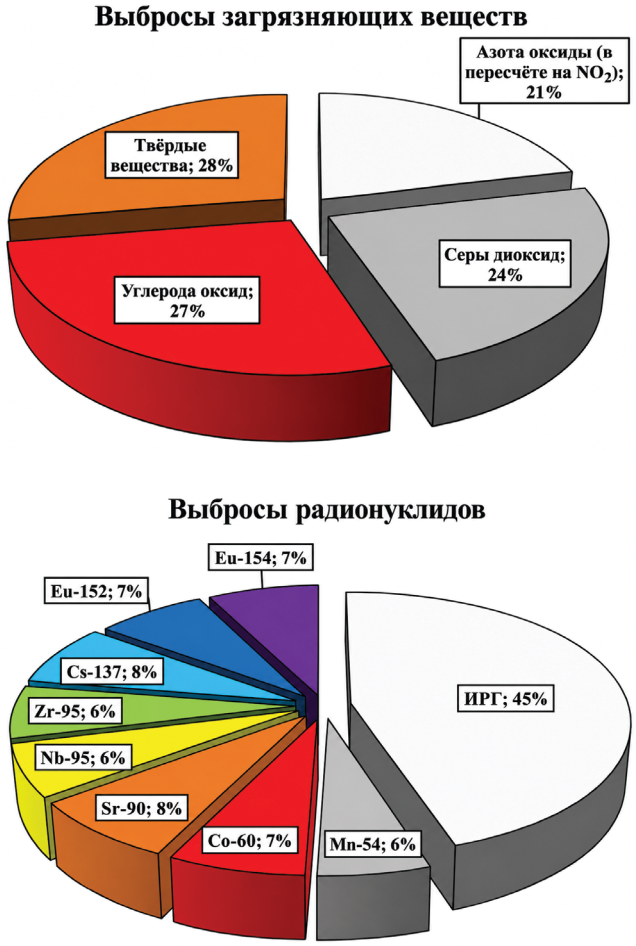


Рис. 5. Структура интегрального показателя потенциального загрязнения выбросов радионуклидов и загрязняющих веществ, 2015–2024 гг.
Fig. 5. Structure of the integral indicator of potential pollution from radionuclide emissions and pollutants, 2015–2024

ятия, выявил высокую приоритетность химических загрязняющих веществ за счет высокого содержания взвешенных веществ, фосфатов и нитритов, и низкий вклад радионуклидного загрязнения.

Потенциальная опасность загрязнения окружающей среды выбросами предприятия, оцененная по структуре интегрального показателя (рис. 5), обусловлена тем, что среди химических загрязняющих веществ основной вклад вносят твердые вещества (вклад 28%), оксид углерода (вклад 27%), диоксид серы (вклад 24%) и оксиды азота (вклад 21%). В выбросах среди радиоактивных веществ преобладают инертные радиоактивные газы (вклад 45%), вклады отдельных радионуклидов (Eu-154, Co-60, Sr-90, Cs-137 и др.) составляют 6–8% каждый.

Перечень приоритетных загрязнителей в выбросах предприятия в атмосферный воздух отражает отсутствие в период 2015–2024 гг. случаев превышения допустимого выброса (табл. 2). При этом индексы выброса химических загрязняющих веществ, в основном, ниже индекса выброса радионуклидов.

В динамике выбросов загрязняющих химических веществ выделяется период 2015–2018 гг., когда значения фактического и предельно допустимого выброса (ПДВ) были наиболее высокими, с последующей тенденцией к снижению показателей (рис. 6). По выбросам оксида углерода отмечается период 2018–2021 гг., когда значение ПДВ было значительно снижено (в 7 раз) – до его уровня уменьшился и фактический сброс (Int_j = 1). С 2022 г. наблюдается увеличение ПДВ и постепенный рост фактического объёма выброса. Такая динамика может быть связана с изменением режимов работы оборудования или внедрением технологий дожигания угарного газа (CO) с целью снижения выбросов токсичных веществ.

Таблица 2

Индексы выброса химических загрязняющих веществ и радионуклидов
Emission indices for chemical pollutants and radionuclides

Загрязнители	Индекс выброса									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
NO_2	0,78	0,77	0,47	0,49	0,49	0,45	0,45	0,84	0,90	0,97
SO_2	0,63	0,61	0,62	0,77	0,77	0,71	0,69	0,83	0,79	0,87
CO	0,83	0,81	0,23	0,99	0,99	0,99	0,99	0,90	0,84	0,90
Твёрдые в-ва	0,91	0,90	0,61	0,83	0,83	0,80	0,80	0,99	0,90	0,94
Co-60	0,029	0,28	0,37	0,93	0,050	–	3,3E-5	5,6E-5	1,2E-5	1,8E-5
Sr-90	0,30	0,28	0,37	0,92	0,050	–	6,2E-7	–	–	–
Cs-137	0,29	0,28	0,37	0,92	0,050	–	1,4E-4	5,3E-4	5,7E-5	2,8E-3

Примечание: Прочерк – отсутствие данных

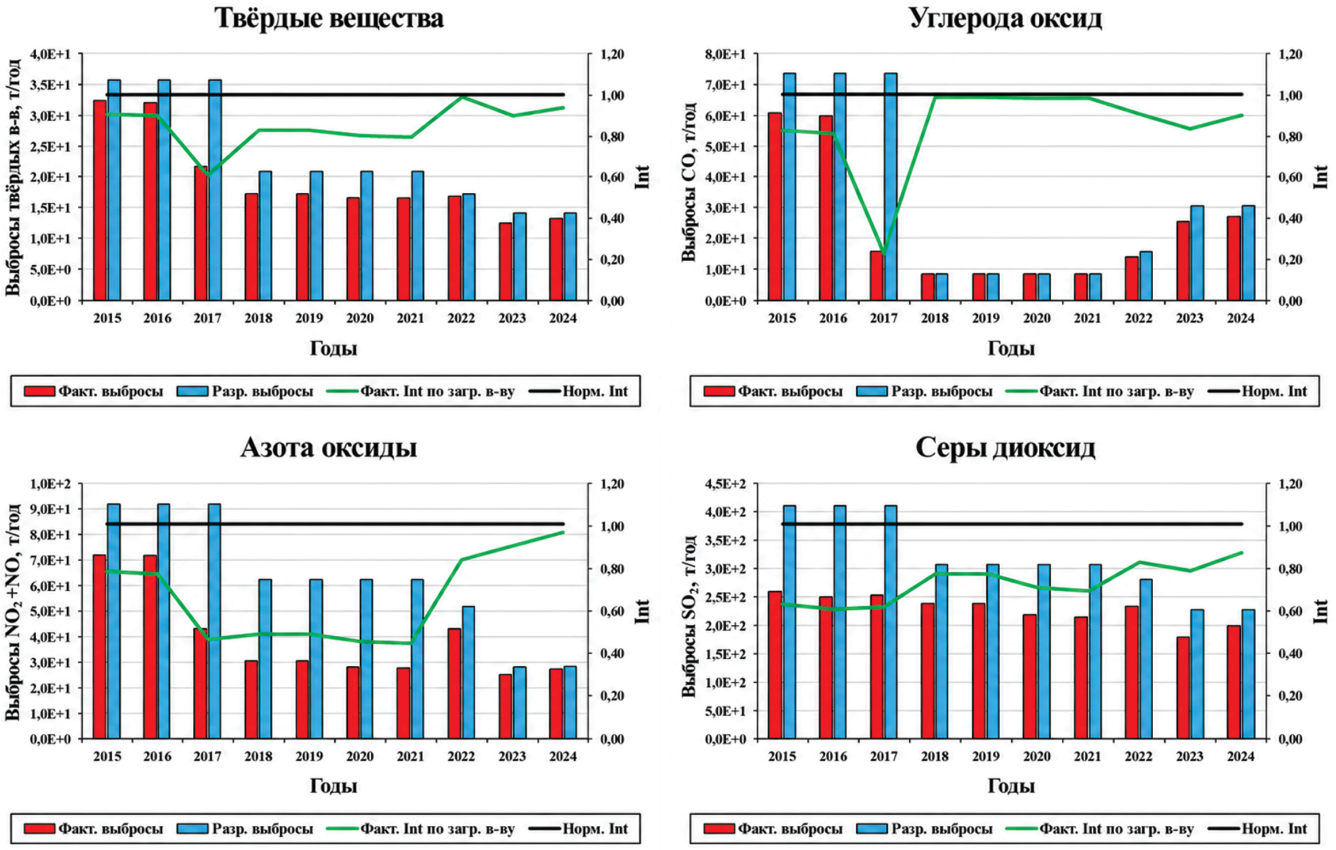


Рис. 6. Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферу
Fig. 6. Dynamics of pollutant emissions into the atmosphere

Динамика выбросов радиоактивных веществ (рис. 7) отражает резкое снижение индекса выброса в 2021–2024 гг. по сравнению с данными 2015–2020 гг. В основном, это обусловлено пересмотром нормативных выбросов радионуклидов в сторону увеличения. При этом для инертных газов (Ar-41, Kr-88, Xe-135 – нуклиды, характерные для атмосферных выбросов при штатном режиме работы ядерного реактора) фактические выбросы, в целом, изменялись незначительно, а по продуктам деления (Eu-154, Co-60, Sr-90), поступающим в окружающую среду в основном вследствие обращения с ОЯТ и РАО, отмечено существенное снижение фактических выбросов.

Оценка фактического состояния эколого-гигиенической обстановки

При оценке эколого-гигиенической обстановки использованы данные, характеризующие состояние территории, полученные ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России в рамках исследований, а также данные открытых источников.

По результатам пешеходной гамма-съемки в жилой части г. Мурманска (район Роста) значения МАЭД соответствуют значениям, полученным в фоновом районе (пос. Абрам-мыс) (табл. 3), и согласуются со средними значениями МАЭД по Мурманской области [1]. На территории промплощадки предприятия наблюдается более выраженная пространственная изменчивость – 24 % измеренных значений МАЭД превышают уровень 0,3 мкЗв/ч. Медианное значение соответствует уровню естественного фона, характерному для Мурманской области, что указывает на локальный характер техногенного радиационного воздействия, обусловленного производственной деятельностью, и подтверждает контролируемый характер радиационной обстановки на объекте.

Таблица 3

Значения МАЭД в районе расположения предприятия за период проведения исследования
ADER values in the enterprise area during the study period

Место исследований	Количество измерений (всего / кол-во измерений МАЭД>0,3 мкЗв/ч (доля))	МАЭД, мкЗв/ч	
		Максимальное	Медиана
Промплощадка предприятия	1275 / 306 (24 %)	11	0,11 (0,07–0,16)
СЗЗ предприятия	10367 / –	0,27	0,10 (0,07–0,13)
ЗН, Жилая часть г. Мурманск (р-н Роста)	14508 / –	0,27	0,10 (0,07–0,13)
пос. Абрам-мыс (фоновый район)	2478 / –	0,17	0,10 (0,07–0,13)
Среднее значение по Мурманской области [5]		0,21	0,10 (0,08–0,13)

В почве жилых районов г. Мурманска содержание радионуклидов (Sr-90, Cs-137, U-235) соответствует значениям в фоновом районе, что значительно ниже критерия неограниченного использования в хозяйственной деятельности АНИ (табл. 4)[7]. В СЗЗ предприятия медианное значение удельной активности Cs-137 – 6 Бк/кг (максимум – 41 Бк/кг), на отдельных локальных участках отмечено повышение до 100 Бк/кг, что типично для Кольского полуострова и обусловлено преимущественно глобальными выпадениями середины XX века с учетом особенностей миграции цезия в почвах криолитозоны [6 – 11]. Содержание Sr-90 в почвах

[7] СанПиН 2.6.1.2523–09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ–99/2009)» / Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. – М., 2009. – 100 с.

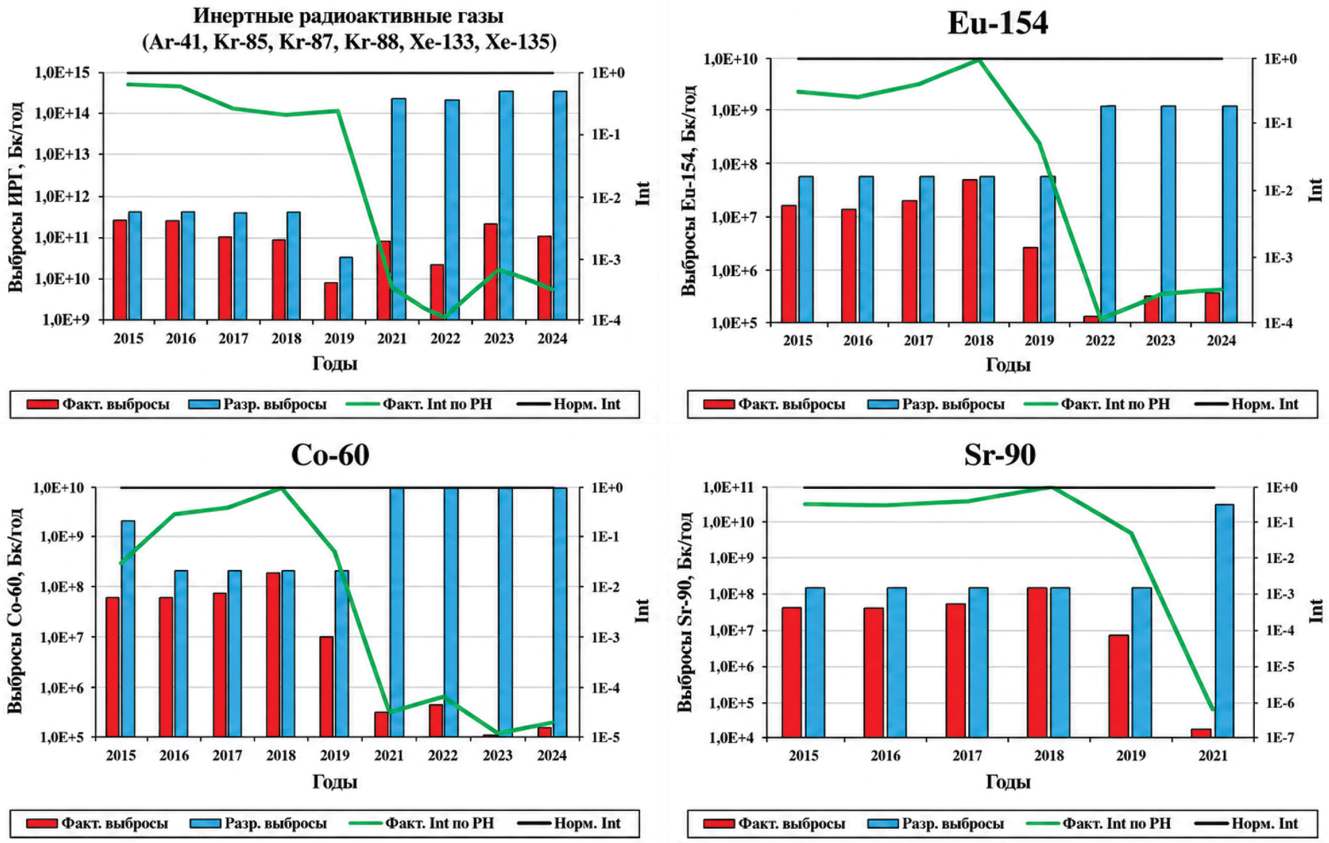


Рис. 7. Динамика выбросов радионуклидов в атмосферу
Fig. 7. Dynamics of radionuclide emissions into the atmosphere

Таблица 4

Значения удельной активности радионуклидов в почве на исследуемых территориях за все годы проведения исследований

Specific activity of radionuclides in soil of the studied territories (generalized over the entire study period)

Исследуемый район	Удельная активность, Бк/кг			
	Sr-90	Cs-137	U-235	$A_{эфф.}$ ЕРН
СЗЗ предприятия	0,2 (<0,2–2,1) 6,1	6 (3–9) 41	1,6 (0,8–2,2) 6,4	52 (44–58) 116
ЗН, Жилая часть г. Мурманск (р-н Роста)	0,2 (<0,02–0,7) 1,1	1 (<1–3) 25	0,8 (0,4–1,2) 3,5	50 (46–54) 89
пос. Абраммыс (фоновый район)	0,2 (<0,02–0,5) 0,7	<1 (<1–2,0) 7	1,0 (0,4–1,6) 5,3	51 (45–55) 102
Критерий неограниченного использования 8	1000	100	Не установлен	370

Примечание: В числителе – медиана (доверительный интервал), в знаменателе – максимум

СЗЗ сопоставимо с показателями фоновых и жилых зон – менее 1 Бк/кг (максимум – 6 Бк/кг). Эффективная удельная активность естественных радионуклидов ($A_{эфф.}$ ЕРН) в почвах варьирует в узком диапазоне: медианы – 50–52 Бк/кг, максимумы – до 116 Бк/кг (в СЗЗ) и 102 Бк/кг (в фоновом районе), что существенно ниже установленного критерия в 370 Бк/кг, регламентирующего возможность неограниченного использования материалов в строительстве и хозяйственной деятельности[8]. Таким образом, пространственное распределение радионуклидов в почвенном покрове носит локально-очаговый характер, выявленные повышенные значения Cs-137 в пределах СЗЗ отражают региональные особенности северных территорий, свидетельствуя об отсутствии значимого техногенного воздействия предприятия.

Формирование радионуклидного состава вод Кольского залива обусловлено совокупным влиянием объектов инфраструктуры Северного флота и других предприятий г. Мурманска, а также спецификой гидрологических процессов в губах Пала, Оленья и Сайда. Многолетние данные демонстрируют устойчиво повышенный уровень объёмной активности отдельных радионуклидов в акватории залива, по сравнению, например, с Мотовским заливом [12]. По данным 2011–2021 гг., средняя многолетняя активность Cs-137 в верхнем слое воды составляла 3,8 мБк/л, Sr-90 – 8,7 мБк/л [13]. Пространственная изменчивость концентраций радионуклидов в прибрежной зоне Кольского полуострова характеризуется значительными колебаниями: Cs-137 варьирует в диапазоне от 0,71 до 3,80 мБк/л, Sr-90 – от 0,46 до 7,24 мБк/л [13], что отражает локализацию источников поступления и особенности гидродинамического режима. Результаты собственных исследований показали, что объёмная активность Cs-137 в пробах морской воды, отобранных непосредственно у пирса, не превышала 2,4 мБк/л. В фоновом районе, удалённом от потенциальных техногенных источников, уровни активности сопоставимо ниже: Cs-137 и Sr-90 менее 1,2 мБк/л.

Оценка загрязнения донных отложений (интегрального индикатора поступления радионуклидов) выявила пространственную неоднородность распределения техногенных радионуклидов. В пробах, отобранных в зоне

[8] СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)»: утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 26.04.2010 № 40 (в ред. от 16.09.2013).

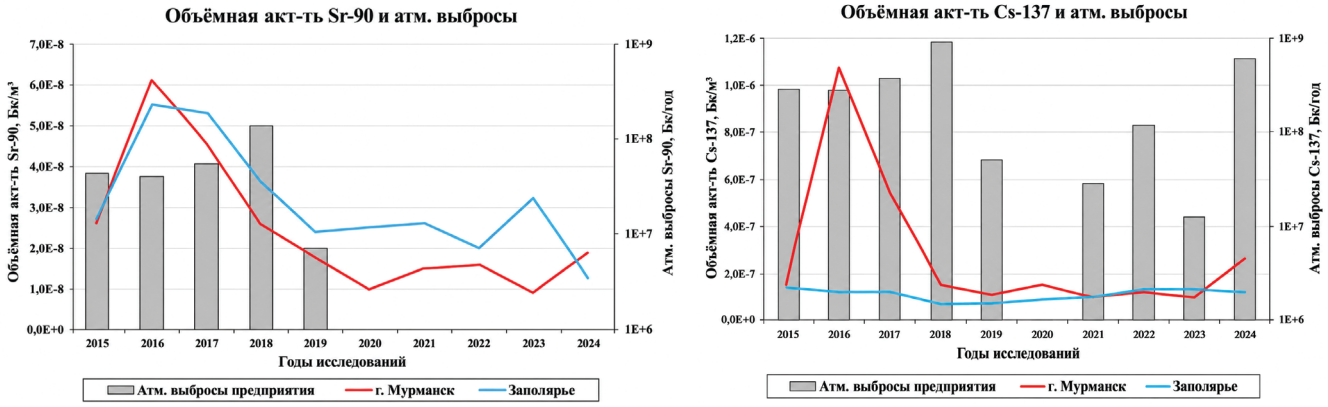


Рис. 8. Динамика активности радионуклидов в воздухе территории и выбросах предприятия
Fig. 8. Dynamics of radionuclide activity in the air and in the enterprise emissions

непосредственного влияния предприятия, содержание Cs-137 не превышало 11 Бк/кг, Sr-90 – 2 Бк/кг, что незначительно отличается от значений в фоновом районе (Cs-137 < 1 Бк/кг), находясь на уровне фоновых значений Баренцева моря. По данным Мурманского морского биологического института РАН, в прибрежной зоне Кольского полуострова содержание Cs-137 составляет 0,6–6,3 Бк/кг, Sr-90 – от 0,2–2,1 Бк/кг, с тенденцией к накоплению радионуклидов в локальных зонах с замедленным водообменом [13, 14].

Содержание радионуклидов в пищевых продуктах местного происхождения было оценено для дикорастущих ягод и съедобных грибов, произрастающих вблизи границы СЗЗ предприятия. В съедобных грибах удельная активность Cs-137 варьировалась в диапазоне от 120 до 260 Бк/кг (среднее 150 Бк/кг), Sr-90 – от 0,3 до 1,6 Бк/кг (среднее 0,9 Бк/кг). В пробах дикорастущих ягод (шикша) удельная активность не превышала 26 Бк/кг Cs-137 и 0,2 Бк/кг Sr-90, что значительно ниже допустимых значений в соответствии с ТР ТС 021/2011[9].

Данные объемной активности радионуклидов в приземном слое воздуха рассматриваемой территории в период 2015–2024 гг. [5] показывают, что среднегодовая Σβ активность изменялась в пределах $(5{,}3–7{,}2)\cdot10^{-7}$ Бк/м^3, активность Cs-137 – $(0{,}9–92)\cdot10^{-7}$ Бк/м^3, Sr-90 – $(1{,}3–80)\cdot10^{-7}$ Бк/м^3, что многократно ниже значений допустимой объемной активности в воздухе. Наибольшие содержания Cs-137 и Sr-90 в воздухе наблюдались в период 2018–2021 гг., что не согласуется с динамикой выбросов рассматриваемого предприятия (рис. 8).

[9] ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (с изменениями на 22 апреля 2024 года): утверждён Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 880. – Текст: электронный. – URL: (дата обращения: 26.06.2026).

Выводы

Согласно опубликованным данным, выбросы и сбросы предприятия в основном осуществляются в рамках установленных нормативов. Стабильность показателей активности радионуклидов во времени и их соответствие действующим нормативам свидетельствуют об эффективности системы радиационного контроля. С учётом высокой экологической значимости и наблюдаемой динамики, наибольшую потенциальную опасность представляют сбросы нерадиоактивных загрязнителей (взвешенные вещества, фосфаты, нитриты), концентрации которых превышают НДС .

Результаты натурных исследований подтверждают отсутствие радиационного техногенного воздействия предприятия: уровни МАЭД и содержание радионуклидов в почве, воде, воздухе и пищевых продуктах в жилой зоне Мурманска не превышают нормативов, соответствуя региональному фону .

Представленные в статье аспекты потенциального техногенного воздействия предприятия на окружающую среду могут служить базой для оптимизации системы экологического контроля в части внедрения контрольных уровней приоритетных нерадиационных факторов по аналогии с применяемым в системе радиационного контроля.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Радиационно-гигиенический паспорт территории за 2024. Мурманская область. Электронный ресурс: https://mpr.gov-murman.ru/activities/napravleniya/radiatsionnaya-bezopasnost.php (дата обращения: 05.03.2026)
2. Кашка М.М., Ефанская Е.А., Кобзев В.А. и др. Совершенствование инфраструктуры и материально-технической базы ФГУП «Атомфлот» для обеспечения экологической безопасности на северо-западе России // Арктика: экология и экономика. 2017. Т.1. №25. С. 130-136. Doi: 10.25283/2223-4594-2017-1-130-136.
3. Переверзев В.Н. Почвы тундр Северной Фенноскандии / Под ред. Г. А. Евдокимовой. Апатиты: Кольский научный центр, 2001. 127 с.
4. Отчёты по экологической безопасности ФГУП «Атомфлот»». Электронный ресурс: https://rosatomflot.ru/o-predpriyatii/bezopasnost/ekologicheskaya-bezopasnost (Дата обращения: 04.06.2026)
5. Радиационная обстановка на территории России. Электронный ресурс: https://www.rpatyphoon.ru/products/pollution-media.php (Дата обращения: 26.06.2026)
6. Зозуль Ю.Н., Киселев С.М., Шлыгин В.В. и др. Оценка состояния загрязнения подземных вод на предприятии ФГУП «Атомфлот» // Хроническое радиационное воздействие: отдаленные медико-биологические эффекты: Материалы VII научной конференции с международным участием. Челябинск, 06–08 декабря 2022 года. Челябинск: Челябинский государственный университет, 2022. С. 198-199. EDN HIGFCK.
7. Кузьменкова Н.В. Оценка радиационного состояния почв и лишайников северо-западного побережья Кольского залива // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2009. №2. С. 32-36.
8. Гущина Ю.В., Шандала Н.К., Серегин В.А. и др. Радиационное обследование территории села Териберка и острова

Кильдин Мурманской области // Радиационная гигиена. 2024. Т.17. №2. С. 117-127.
9. Шандала Н.К., Исаев Д.В., Титов А.В. и др. Оценка радиационной обстановки в районе расположения судоремонтных предприятий, осуществляющих утилизацию судов с ядерной энергетической установкой // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2019. Т.64. №5. С. 9-14. Doi: 10.12737/1024-6177-2019-64-5-9-14
10. Киселев С.М., Шлыгин В.В., Зозуль Ю.Н., Гимадова Т.И. Эколого-гигиеническая обстановка на территории малых городов Севморпути // Техногенные системы и экологический риск: Материалы VIII Международной (XXI Региональной) научной конференции. Обнинск, 17–18 апреля 2025 года. Обнинск: Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, 2025. С. 126-128. EDN ZXOBSL.
11. Кузьменкова Н.В. Миграция и аккумуляция Cs-137 в ландшафтах северо-западной части Кольского полуострова: Автореферат дис… канд. географических наук. М.: Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, 2010. 24 с.
12. Ильин Г.В., Усягина И.С. Новые данные о формировании радиоэкологического статуса морской среды в прибрежье Мурмана (Баренцево море) // Арктика: экология и экономика. 2026. Т.16. №2. С. 264 - 273. Doi: 10.25283/2223-4594-2026-2-264-273
13. Ильин Г.В., Усягина И.С. Динамика накоплений техногенных радионуклидов в морском прибрежье Мурмана // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2025. Т.4. №2. С. 63-74.
14. Матишов Г.Г., Ильин Г.В. Стронций-90 в морской воде и донных отложениях Баренцевоморского шельфа (2000–2019 гг.) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2022. Т.505. №2. С. 185-191. Doi: 10.31857/S2686739722080114.

REFERENCES

1. *Radiatsionno-Gigiyenicheskiy Pasport Territorii za 2024. Murmanskaya Oblast’* = Radiation and Hygienic Passport of the Territory for 2024. Murmansk Oblast (In Russ.). URL: https://mpr.gov-murman.ru/activities/napravleniya/radiatsionnaya-bezopasnost.php (Date of Access: 05.03.2026).
2. Kashka M.M., Yefanskaya Ye.A., Kobzev V.A., et al. Improving the Infrastructure and Material and Technical Base of FSUE Atomflot to Ensure Environmental Safety in Northwest Russia. *Arktika: Ekologiya i Ekonomika* = Arctic: Ecology and Economy. 2017;1;25:130-136 (In Russ.). Doi: 10.25283/2223-4594-2017-1-130-136.
3. Pereverzev V.N. Pochvy Tundr Severnoy Fennoskandii = Tundra Soils of Northern Fennoscandia. Ed. G.A. Yevdokimova. Apatity, Kol’skiy Nauchnyy Tsentr Publ., 2001. 127 p. (In Russ.).
4. *Otchoty po Ekologicheskoy Bezopasnosti FGUP «Atomflot»* = Environmental Safety Reports of FSUE Atomflot (In Russ.). URL: https://rosatomflot.ru/o-predpriyatii/bezopasnost/ekologicheskaya-bezopasnost (Date of Accessed: 04.06.2026).
5. *Radiatsionnaya Obstanovka na Territorii Rossii* = Radiation Situation in Russia (In Russ.). URL: https://www.rpatyphoon.ru/products/pollution-media.php (Date of Accessed: 26.06.2026).
6. Zozul’ Yu.N., Kiselev S.M., Shlygin V.V., et al. Assessment of the State of Groundwater Contamination at the FSUE Atomflot Enterprise. *Khronicheskoye Radiatsionnoye Vozdeystviye: Otdalennyye Mediko-Biologicheskiye Effekty* = Chronic Radiation Exposure: Remote Medical and Biological Effects. Proceedings of the VII Scientific Conference with International Participation. Chelyabinsk, December 6–8, 2022. Chelyabinsk, Chelyabinskiy Gosudarstvennyy Universitet Publ., 2022. P. 198-199 (In Russ.). EDN HIGFCK.
7. Kuz’menkova N.V. Assessment of the Radiation State of Soils and Lichens of the Northwestern Coast of the Kola Bay. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya* = Moscow University Bulletin. Series 5. Geography. 2009;2:32–36 (In Russ.).
8. Gushchina Yu.V., Shandala N.K., Seregin V.A., et al. Radiation Survey of the Territory of the Village of Teriberka and Kildin Island, Murmansk Region. *Radiatsionnaya Gigiyena* = Radiation Hygiene. 2024;17;2:117-127 (In Russ.).
9. Shandala N.K., Isayev D.V., Titov A.V., et al. Assessment of the Radiation Situation in the Area of Ship Repair Facilities Engaged in the Dismantling of Ships with Nuclear Power Plants. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost’* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2019;64;5:9-14 (In Russ.). Doi: 10.12737/1024-6177-2019-64-5-9-14.
10. Kiselev S.M., Shlygin V.V., Zozul’ Yu.N., Gimadova T.I. Ecological and Hygienic Situation in the Territory of Small Towns of the Northern Sea Route. *Tekhnogennyye Sistemy i Ekologicheskiy Risk* = Man-Made Systems and Environmental Risk. Proceedings of the VIII International (XXI Regional) Scientific Conference. Obninsk, April 17-18, 2025. Obninsk, Natsional’nyy Issledovatel’skiy Yadernyy Universitet MIFI Publ., 2025. P. 126-128 (In Russ.). EDN ZXOBSL.
11. Kuz’menkova N.V. *Migratsiya i Akkumulyatsiya Cs-137 v Landshaftakh Severo-Zapadnoy Chasti Kol’skogo Poluostrova* = Migration and accumulation of Cs-137 in landscapes of the northwestern part of the Kola Peninsula. Abstract of Candidates Thesis (Geography) Moscow, Moskovskiy gosudarstvennyy universitet im. M. V. Lomonosova Publ., 2010. 24 p. (In Russ.).
12. Il’in G.V., Usyagina I.S. New Data on the Formation of the Radioecological Status of the Marine Environment off the Coast of Murman (Barents Sea). *Arktika: Ekologiya i Ekonomika* = Arctic: Ecology and Economy. 2026;16;2:264 – 273 (In Russ.). Doi: 10.25283/2223-4594-2026-2-264-273.
13. Il’in G.V., Usyagina I.S. Dynamics of Accumulation of Technogenic Radionuclides in the Murmansk Coastal Sea Area. *Trudy Kol’skogo Nauchnogo Tsentra RAN. Seriya: Yestestvennyye i Gumanitarnyye Nauki* = Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities. 2025;4;2:63-74 (In Russ.).
14. Matishov G.G., Il’in G.V. Strontium-90 in Seawater and Bottom Sediments of the Barents Sea Shelf (2000–2019). *Doklady Rossiyskoy Akademii Nauk. Nauki o Zemle* = Reports of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences. 2022;505;2:185-191 (In Russ.). Doi: 10.31857/S2686739722080114.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.
Поступила: 20.06.2026. Принята к публикации: 25.07.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.
Financing. The study had no sponsorship.
Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.
Article received: 20.06.2026. Accepted for publication: 25.07.2026.