

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПУНКТА ВРЕМЕННОГО ХРАНЕНИЯ ОЯТ И РАО В ГУБЕ АНДРЕЕВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

А.А. Филонова, Н.К. Шандала, Ю.В. Гуцина, М.П. Семенова, Т.А. Дороньева, Д.В. Исаев, Ю.Н. Павленко-Михайлов, А.А. Шитова

Федеральное Государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна», 123098, Россия, г. Москва, ул. Живописная д. 46, E-mail: anfl@mail.ru

Аннотация

Площадка бывшей береговой технической базы в губе Андреева является крупнейшим объектом ядерного наследия на северо-западе России и относится к I категории по потенциальной радиологической опасности. ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России проводит мониторинг радиационной обстановки на территории промплощадки ПВХ и прилегающих территориях.

Ключевые слова: мониторинг окружающей среды, объекты ядерного наследия, оценка радиационной обстановки

Введение

В начале 1960-х годов на северо-западе России в губе Андреева Мурманской области была создана береговая техническая база (БТБ) военно-морского флота (рисунок 1). База использовалась для обеспечения перезарядки ядерных реакторов атомных подводных лодок, временного хранения и последующей отправки для переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) атомных подводных лодок. Также на БТБ осуществлялось хранение жидких и твёрдых радиоактивных отходов, образующихся в процессе эксплуатации надводных кораблей с ядерными энергетическими установками, атомных подводных лодок и судов атомного технологического обслуживания.



Рисунок 1 - Общий вид технической территории ПВХ в губе Андреева.

Для охлаждения и безопасного хранения выгруженных отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) было построено береговое хранилище бассейнового типа. В 1982 году в хранилище отработавшего ядерного топлива (здание 5) произошла радиационная авария – в бассейнах выдержки образовались трещины, и активная вода стала поступать в почву. Для ликвидации последствий аварийной ситуации потребовалось создание новых хранилищ в губе Андреева и перевозка туда ОЯТ, с этой целью ёмкости 2А, 2Б и 3А были переоборудованы под сухое хранилище ядерных отходов.

Функционирование береговой технической базы по приёму ОЯТ и РАО в губе Андреева было прекращено в 1993 г. Отсутствие надлежащего обслуживания

инфраструктуры хранилищ ОЯТ и РАО после прекращения эксплуатации привело к деградации защитных барьеров. Это вызвало выброс радиоактивности в почву, а также неравномерное техногенное загрязнение окружающей среды.

Наиболее неблагоприятная радиационная обстановка сложилась на территории в районе расположения блока сухого хранения ОТВС; бывшего хранилища отработавших тепловыделяющих сборок (здание 5) и идущего от здания русле ручья; площадки №3 – открытой площадке хранения твёрдых радиоактивных отходов.

В 1999 году береговая техническая база была передана Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» и переименована в Пункт временного хранения ОЯТ и РАО (далее - ПВХ губы Андреева). ПВХ губы Андреева - один из филиалов Северо-Западного центра по обращению с радиоактивными отходами (СЗЦ «СевРАО»). План экологической реабилитации ПВХ губы Андреева был разработан в 2002 году. Последовательная реализация этого Плана предполагает восстановление территории до статуса «коричневой лужайки» [1]. Начатое в 1999 году создание инфраструктуры для безопасного хранения и обращения с ОЯТ было завершено в 2017 году. С этого времени в губе Андреева проводятся работы по выгрузке и вывозу кондиционного ОЯТ из ёмкостей сухого хранения 2А и 2Б.

К 2021 году из ёмкостей 2А и 2Б выгружено 47% от общего количества отработавших тепловыделяющих сборок в ёмкостях. Работы по выгрузке и вывозу ОЯТ из ёмкостей 2А и 2Б, включая некондиционное ОЯТ, планируется завершить до 2025 года, а из емкости 3А – до 2028 [2].

Описание площадки

Пункт временного хранения в губе Андреева расположен в прибрежной полосе Баренцева моря в 5 км от г. Заозерска и в 45 км от российско-норвежской границы. Санитарно-защитная зона ограничена технической территорией объекта. В зону наблюдения входит прилегающая к объекту территория радиусом 10 км [3]. По данным 2004 г. на промплощадке в трёх хранилищах было сосредоточено $\sim 1,3 \times 10^{17}$ Бк ОЯТ с выдержкой более 25 лет, в котором основными радионуклидами являются продукты деления Cs-137 и Sr-90. Общая активность твёрдых радиоактивных отходов составляет $6,6 \times 10^{14}$ Бк, жидких – $4,5 \times 10^{12}$ Бк, что также обусловлено, главным образом, Cs-137 и Sr-90 [4].

Материалы и методы

При оценке состояния территорий и объектов окружающей среды использовались полевые и лабораторные методы измерения, включающие измерение мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения, определение удельной активности радионуклидов спектрометрическими, радиометрическими и радиохимическими методами. Объектами исследования являлись почва, растительность, объекты водной среды. Отбор проб объектов окружающей среды проводился согласно утвержденным стандартам по отбору проб [5, 6, 7].

Исследования *мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД)* на открытой местности проводилось при передвижении по маршруту следования портативным Na-I спектрометром МКС АТ6101С [8], а также фиксировалось во всех точках отбора проб.

Измерение удельной активности гамма-излучающих радионуклидов в пробах проводилось на многоканальном гамма-спектрометре CANBERRA b10188 с широкополосным германиевым детектором BE5030 [9].

Определение содержания Sr-90 в пробах объектов окружающей среды проводилось радиохимическим методом после предварительной пробоподготовки в соответствии с аттестованными методическими указаниями [10].

Оценка степени подвижности радионуклидов Cs-137 и Sr-90 проводилась воздействием на пробу различными растворами химических соединений. Биодоступные формы радионуклидов извлекались одномолярным (1М) раствором уксуснокислого аммония (обменная форма). Подвижные радионуклиды, извлекаемые 1М раствором соляной кислоты, только частично могут поглощаться растениями и являются для них потенциально доступным резервом (подвижная, кислоторастворимая форма). Фиксированные формы радионуклидов недоступны растениям и освобождаются лишь при обработке почвы 6М раствором соляной кислоты (прочносвязанные, остаточная форма).

Оценка радиационной обстановки на территории промплощадки ПВХ г. Андреева

Начиная с 2004 года, сотрудниками ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России совместно со специалистами Государственного управления Норвегии по радиационной и ядерной безопасности (ранее NRPA, с 2019 г. – DSA) выполняются ряд научных и практических работ по регулированию радиационной безопасности на объектах ядерного наследия Северо-западного центра по обращению с радиоактивными отходами «СевРАО» - филиала ФГУП «ФЭО». Одним из направлений работ является мониторинг радиационной обстановки на территории промплощадки ПВХ и прилегающих территориях.

В ходе экспедиционных выездов проводятся:

- исследования мощности дозы гамма-излучения на открытой местности;
- оценка загрязнения почвы и растительности техногенными радионуклидами;
- оценка загрязнения морской акватории;
- определение уровня подвижности радионуклидов.

По результатам исследований **мощность дозы γ -излучения** на территории объекта изменяется в широком диапазоне: 0,5-150 мкЗв/ч. Высокая вариабельность данного показателя наблюдается на территории зоны контролируемого доступа, где проводятся реабилитационные работы.

В санитарно-защитной зоне, где располагаются объекты обеспечения ПВХ, мощность дозы варьирует в сравнительно узком диапазоне 0,03-0,19 мкЗв/ч и её средние показатели существенно не превышают средних показателей по региону в целом – 0,07-0,19 мкЗв/ч.

В зоне наблюдения мощность дозы гамма-излучения не превышает средних показателей по региону и варьирует в диапазоне 0,06-0,17 мкЗв/ч.

На рисунке 2 представлена динамика изменения мощности дозы гамма-излучения на промплощадке за период с 2009 по 2021 г.

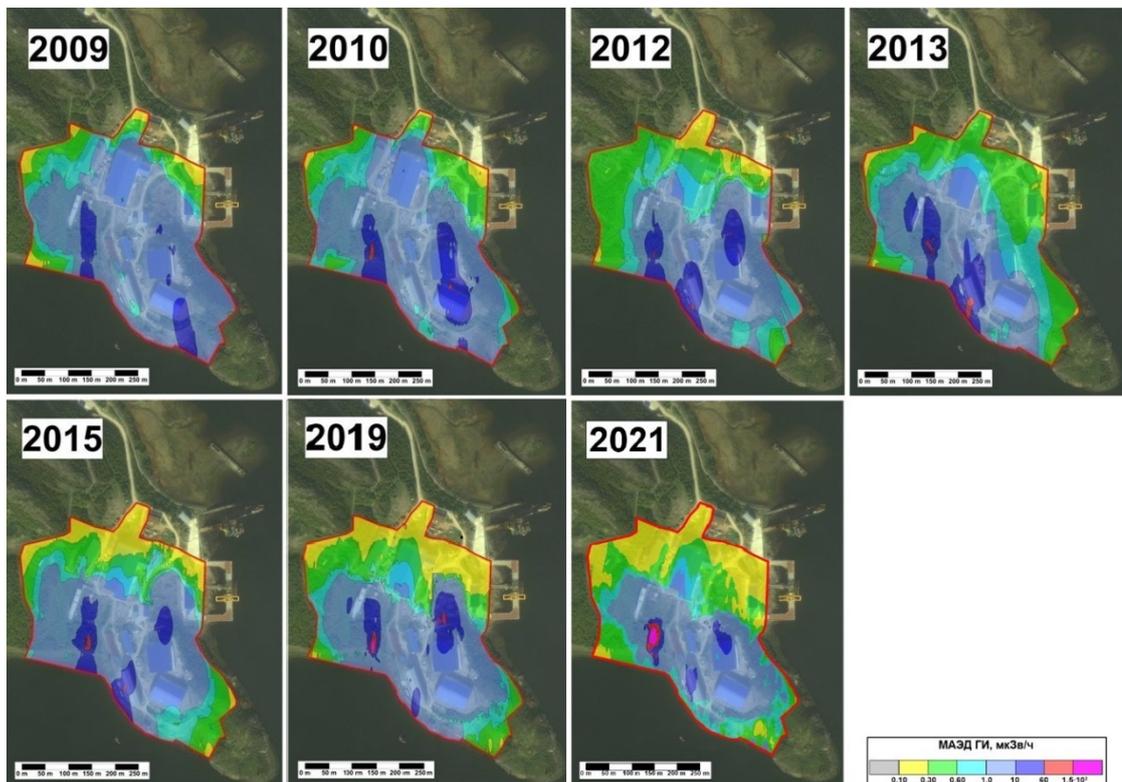


Рисунок 2 - Динамика изменения мощности дозы гамма-излучения на промплощадке за период 2009-2021 гг.

Оценивая изменения мощности дозы гамма-излучения за двенадцатилетний период наблюдений, можно отметить положительную динамику в перераспределении зон с повышенной мощностью дозы, сопровождающуюся снижением их размеров и количества. Изменения в сторону ухудшения, отмечаемые в некоторых точках, обусловлены работами, проводимыми на объекте.

Результаты оценки загрязнения почвы и растительности показали, что на территории имеются участки локального загрязнения.

Данные по концентрации радионуклидов в почве и растительности на территории ПВХ и в зоне наблюдения представлены в таблице 1.

Высокие значения удельной активности техногенных радионуклидов отмечаются на территории зоны контролируемого доступа в пробах почвы, отобранных в районе расположения здания 5 и площадки №3.

Вне зоны контролируемого доступа обнаруживаются локальные участки загрязнения, на которых значения удельной активности техногенных радионуклидов в почве значительно превышают радиационный фон, характерный для региона и достигают 800-900 Бк/кг. Согласно данным мониторинга уровень загрязнения на данных участках остаётся стабильным в течение длительного времени, следовательно дополнительного загрязнения на этих участках не возникло.

Таблица 1 - Концентрация радионуклидов в почве и растительности на территории ПВХ и в зоне наблюдения

Место отбора	Объект исследования	Полученные данные, Бк/кг	
		Sr-90	Cs-137
Зона контролируемого доступа			
В районе русла бывшего ручья	Почва	$2,7 \times 10^4 - 1,5 \times 10^5$	$3,4 \times 10^5 - 2,9 \times 10^6$
	Растительность		
Площадка № 3	Почва	$1,4 \times 10^2 - 3,9 \times 10^4$	$4,3 \times 10^2 - 5,3 \times 10^3$
	Растительность	$1,4 \times 10^2 - 3,8 \times 10^3$	$2,4 \times 10^2 - 6,7 \times 10^3$
Санитарно-защитная зона			
100 м вокруг здания 5	Почва	28 – 49	$12 - 1,2 \times 10^2$
	Растительность	21	7,7 – 34
50 м вокруг здания 5	Почва	$6,7 \times 10^2 - 8,8 \times 10^2$	$57 - 4,9 \times 10^4$
	Растительность	9,7 – 63,1	5,1 – 31,2
Склон блока сухого хранения	Почва	$3,5 - 1,2 \times 10^2$	$1,2 - 1,9 \times 10^2$
	Растительность	47,2 – 67,3	10,1 – 10,9
Зона наблюдения			
	Почва	1,9 – 17,1	0,7 – 14,7
	Растительность	4,1 – 22,2	3,6 – 19,0

На большей части территории удельная активность техногенных радионуклидов в почве, отобранной на различных участках технической территории, колеблется в достаточно узком диапазоне и остаётся на уровне значений, полученных в предыдущие периоды исследований.

Для оценки **загрязнения морской акватории** проводился отбор проб донных отложений в шельфовой зоне, в местах, где обмен загрязняющими веществами между водной массой и донными отложениями может характеризоваться экстремальными значениями, а также в зоне влияния сброса сточных вод. В таблице 2 приведены данные по содержанию Sr-90 и Cs-137 в морских объектах окружающей среды.

Анализ полученных данных показывает, что загрязнение донных отложений носит локальный характер и приурочено к загрязнённым промышленным площадкам. При удалении от береговой полосы содержание техногенных радионуклидов в донных отложениях уменьшается, что связано с их размыванием приливным течением.

Содержание Sr-90 и Cs-137 в морской воде в некоторых точках прибрежной полосы на порядок превышает средние показатели в воде Баренцева моря [12]. В данном случае идёт процесс вымывания из донных отложений, загрязнённых в результате смыва с прибрежной полосы, в морскую акваторию. То же самое можно сказать и о причинах локального значительного содержания радионуклидов в водорослях.

Таблица 2 - Содержание Sr-90 и Cs-137 в морских объектах окружающей среды

Место отбора	Морская вода		Донные отложения		Водоросли	
	Sr-90	Cs-137	Sr-90	Cs-137	Sr-90	Cs-137
Устье бывшего ручья	0,2	0,3	5-16	18-360	11-15	1,2-140
Акватория в районе пирса	0,03	0,04	2-17	12-160	13-18	2,9-10
Среднее содержание в Баренцевом море*	0,004	0,003	0,1-2	1-5	<0,4	<0,2
* по данным работы [11]						

При проведении исследований морского дна акватории методом придонной гамма-спектрометрии обнаружено локальное загрязнение донных отложений прибрежной морской акватории в районе расположения пирса.

Основной очаг загрязнения локализован в районе центральной части пирса. По данным эхолокации загрязнённый участок находится на глубине около 18 метров. Основной дозообразующий радионуклид – Cs-137 (рисунок 3). Мощность дозы гамма-излучения на морском дне варьирует в диапазоне 0,05-3,5 мкЗв/ч. Плотность загрязнения донных отложений Cs-137 варьирует в диапазоне 100-200 кБк/м². На остальной части акватории плотность загрязнения донных отложений варьирует в диапазоне от 0,1 до 100 Бк/м² [12]. Также в данных точках обнаруживается присутствие Co-60. Плотность загрязнения донных отложений Co-60 варьирует в диапазоне 0,5 до 7 кБк/м².

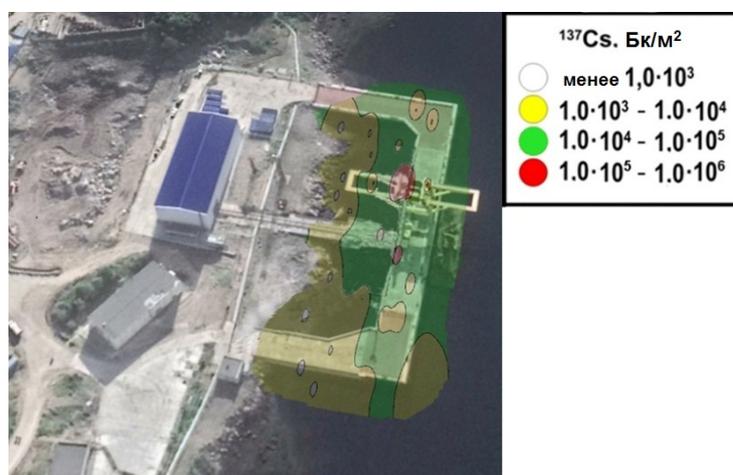


Рисунок 3 - Картограмма распределения активности Cs-137 на поверхности донных отложений в районе расположения пирса (глубина около 18 метров).

Для подтверждения данных о береговом загрязнении морской акватории проводилось **определение уровня подвижности радионуклидов** в пробах почв и донных отложений. Методом определения форм нахождения радионуклидов исследовались **уровни подвижности Sr-90 и Cs-137** в экологических цепях и прочность их связи с почвой и донными отложениями.

Наиболее наглядным показателем при прогнозировании загрязнения окружающей среды является определение коэффициента десорбции – отношения содержания радионуклида, находящегося в подвижной форме, к общему содержанию радионуклида

[13]. Оценка содержания радионуклидов в подвижной форме позволяет прогнозировать миграционные процессы и дальнейшее возможное загрязнение объектов окружающей среды в системе почва - растения, донные отложения - морская среда (таблица 3).

Таблица 3 - Коэффициент десорбции Sr-90 и Cs-137 в почве и донных отложениях

Объект	Коэффициент десорбции	
	Sr-90	Cs-137
Донные отложения	0,76	0,61
Почва	0,92	0,32

При изучении относительной подвижности радионуклидов получено, что наиболее подвижным элементом является Sr-90. Коэффициент десорбции подвижных форм Sr-90 для почв составляет 0,9, т.е. практически 90 % валового Sr-90 может находиться в подвижной форме и быть доступным растениям или мигрировать по профилю почв.

Поскольку почвы обладают большей фиксирующей способностью к цезию, нежели к стронцию, средний коэффициент десорбции подвижных форм Cs-137 для почв составляет 0,3, что значительно ниже, чем для Sr-90. Однако ввиду большого содержания Cs-137 в почвах на отдельных участках территории промплощадки, он представляет существенную опасность для загрязнения морской акватории.

Для донных отложений коэффициент десорбции подвижных форм Sr-90 составляет 0,76, а для Cs-137 – 0,6, что объясняется биологическими, механическими и минералогическими особенностями донных отложений.

Общая картина высокой подвижности Sr-90 и Cs-137 в почве и донных отложениях на ПВХ в губе Андреева позволяет предположить, что наличие миграции в экологических цепях может привести к дальнейшему распространению загрязнения, в том числе в морскую акваторию.

Заключение

Оценивая полученные результаты можно сказать, что на текущий момент работы по выгрузке и вывозу кондиционного ОЯТ не привели к появлению новых очагов загрязнения окружающей среды на территории промплощадки и распространению существующего загрязнения по территории санитарно-защитной зоны и за ее пределы.

При проведении операционных работ по выгрузке ОЯТ, включая работы по обращению с радиоактивными отходами, накопленными в период эксплуатации объекта, отмечается положительная динамика изменений МАЭД, сопровождающаяся сокращением площади радиоактивного загрязнения.

В целом, следует отметить, что проводимые реабилитационные работы на территории промплощадки, изменяют радиационную обстановку в сторону улучшения.

Благодарность

Работы выполнялись в рамках программы регулирующего сотрудничества между Директоратом по радиационной защите и ядерной безопасности (DSA), Федеральным медико-биологическим агентством (ФМБА России) и Государственным научным центром - Федеральным медико-биофизическим центром им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства (ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России).

Авторы хотели бы поблагодарить DSA за финансовую поддержку этой работы.

Литература

1. Challenges in Nuclear and Radiological Legacy Site Management: Towards a Common Regulatory Framework, NEA No. 7419, OECD 2019.
2. Хранилище РАО в губе Андреева очистят к 2028 году (доступно на: <https://www.atomic-energy.ru/news/2020/07/14/105396>) (на русском).
3. Техничко-экономическая оценка (вариантов) обращения с отработавшим ядерным топливом береговой технической базы губы Андреева Кольского полуострова и оценка воздействия на окружающую среду: Отчет НИКИЭТ им. Н.А. Доллежала. –Т.2. – М., 2004 (на русском).
4. Техничко-экономическая оценка (вариантов) обращения с отработавшим ядерным топливом береговой технической базы губы Андреева Кольского полуострова и оценка воздействия на окружающую среду. Отчет НИКИЭТ им. Н.А. Доллежала. – Т.1. – М., 2004 (на русском).
5. Вода. Общие требования к отбору проб. ГОСТ 31861-2012. Стандартиформ, 2012. - 32 с. (на русском).
6. Почвы. Общие требования к отбору проб. Охрана природы (ССОП). ГОСТ 17.4.3.01-2017. Стандартиформ, 2017. – 8 с. (на русском).
7. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязнённость (с изменением №1). ГОСТ 17.1.5.01-80 Охрана природы (ССОП). Стандартиформ, 2017. – 7 с. (на русском).
8. АТ6101С, АТ6101СМ Спектрометр. URL<https://atomtex.com/ru/spektrometry-spektrometricheskie-radiacionnye-skanery/spektrometry-mks-at6101s-mks-at6101sm>
9. Широкоэнергетический германиевый детектор. URL <https://www.mirion.com/products/bege-broad-energy-germanium-detectors>
10. Определение удельной активности Sr-90 и Cs-137 в пробах объектов окружающей среды радиометрическим методом после радиохимической подготовки счётных образцов: Методические указания по методам контроля. МУК 4.3.048, 2019 (на русском).
11. О влиянии хранилища радиоактивных отходов в губе Андреева на загрязнение экосистемы Баренцева моря / Г.Г. Матишов, Г.В. Ильин, И.С. Усягина [и др.] // Доклады Академии наук. -2017. –Т.472. -№5. –С.590-595 (на русском).
12. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2018: Ежегодник. - Обнинск: Росгидромет, 2019 (на русском).
13. Филонова, А. Миграция техногенных радионуклидов в почвах и донных отложениях в прибрежной зоне пункта временного хранения СевРАО и её влияние на возможное загрязнение морской акватории / А. Филонова, В. Серегин // Гигиена и санитария. - 2014.. –Т.93. –№1. – С.18.

Сведения об авторах:

Филонова Анна Александровна - старший научный сотрудник ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, E-mail: anfl@mail.ru

Шандала Наталия Константиновна - доктор медицинских наук, заместитель генерального директора ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России по науке и биофизическим технологиям, E-mail: nshandala@gmail.com

Гущина Юлия Валерьевна - младший научный сотрудник ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, E-mail: yuliyagushina@yandex.ru

Семенова Мария Петровна - старший научный сотрудник ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

Дороньева Татьяна Алексеевна - научный сотрудник ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

Исаев Дмитрий Викторович - научный сотрудник ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

Павленко-Михайлов Юрий Назарович - ведущий научный сотрудник ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

Шитова Анастасия Александровна - инженер ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF THE SITE OF TEMPORARY STORAGE OF SNF AND RW IN ANDREEVA BAY

A.A. Filonova, N.K. Shandala, I.V. Gushchina, M.P. Semenova, T.A. Doronjeva, D.V. Isaev, Y.N. Pavlenko-Michailov, A.A. Shitova

**State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 123098, Russia, Moscow, Zhivopisnaya St., 46,
E-mail: anfl@mail.ru**

Abstract

The site of temporary storage for spent fuel and radioactive waste at Andreeva Bay is a largest nuclear legacy site in the Russian Northwest. The site belongs to Category I for potential radiological hazards. State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency monitors the radiation situation on the territory of the STS industrial site and adjacent territories.

Key words: environmental monitoring, nuclear legacy sites, radiation survey.