УДК 502.175

Анализ природных и техногенных факторов, формирующих мощность амбиентного эквивалента дозы фотонного излучения на территории ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова»

Е.Б. Панкина, М.П. Глухова

ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор Ленинградской области, Россия

Аннотация

Представлен опыт пятилетней эксплуатации объектовой автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО). Проведены результаты статистической обработки многолетних рядов данных по восьми каналам измерения мощности амбиентного эквивалента дозы фотонного излучения (МАЭД), значения которой характеризуют радиационную обстановку на территории предприятия. На основе анализа факторов влияния на обследованной территории выбран комплексный пост контроля МАЭД и аэрозолей атмосферного воздуха для оценки условного радиационного фона. Изучены природные факторы, формирующие вклад в радиационный фон. Рассмотрены типовые случаи повышения природного гамма-фона при плановых работах с радионуклидными источниками и транспортировании радиоактивных отходов, которые зарегистрированы системой АСКРО. По данным МАЭД объектовой АСКРО показана возможность идентификации прохождения по территории радиоактивных газов, вызванных регламентными сдувками. По результатам анализа МАЭД в совокупности с метеоинформацией приведены примеры идентификации источника ухудшения радиационной обстановки на территории. На основании проведенных исследований многолетней динамики МАЭД обоснован вывод о нормальной радиационной обстановке в санитарно-защитной зоне предприятия.

Ключевые слова: объектовая АСКРО, мощность амбиентного эквивалента дозы, радиационный фон территории, космогенные и природные радионуклиды, аэрозоли атмосферного воздуха, газоаэрозольные выбросы, метеоинформация, работа с радионуклидными источниками, радиационная обстановка.

UDC 502.175

Analysis of natural and anthropogenic contributors to ambient equivalent dose rate of photon radiation at FSUE “Alexandrov NITI” site

E.B. Pankina, M.P. Glukhova

FSUE “Alexandrov NITI”, Sosnovy Bor, Leningrad region, Russia

Abstract

The paper presents results of five-year operation of the on-site Automated Environmental Radiation Monitoring System (AERMS). The authors have statistically processed datasets obtained from many-year measurements of photon radiation ambient equivalent dose rate (ADER) at eight on-site monitoring stations. These measurements show the radiological situation at the Alexandrov NITI site. Based on an analysis of influencing factors, a best suitable ADER and aerosol monitoring station is chosen for assessing the nominal radiation background in the surveyed area. Natural contributors to the radiation background are studied. Typical examples of an increase in the natural gamma background detected by AERMS

during work with radionuclide sources and radwaste transportation are presented. ADER measurements obtained with the on-site AERMS demonstrate the possibility to detect radioactive gases occurring at the NITI site due to routine discharges. Based on ADER analysis and meteodata, contributors to increases in radiation level at the Alexandrov NITI site are identified. Analysis of ADER dynamics for years demonstrates that radiological situation in the control area of Alexandrov NITI is within normal limits.

Key words: on-site AERMS, ambient equivalent dose rate, on-site radiation background, cosmogenic and natural radionuclides, atmospheric aerosols, gaseous aerosol releases, meteodata, work with radionuclide sources, radiological situation.

Введение

В последние годы для контроля безопасной эксплуатации ядерно- и радиационно-опасных объектов (ЯРОО) и оценки радиационной обстановки в районах их размещения на предприятиях Госкорпорации «Росатом» интенсивно внедряются объектовые АСКРО – системы автоматизированного контроля радиационной обстановки. Объектовые АСКРО являются базовыми звеньями отраслевой ОАСКРО, которая, в свою очередь, интегрируется в единую государственную систему ЕГАСКРО [1].

Промышленная площадка ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» (далее НИТИ) является его санитарно-защитной зоной. Объектовая АСКРО организована с учетом всех действующих ЯРОО НИТИ, а также смежных с его границей радиационно-опасных предприятий. Зона наблюдения НИТИ составляет 20 км.

В настоящее время в НИТИ введен в эксплуатацию и функционирует пусковой комплекс объектовой АСКРО. Основным оперативным показателем, значение которого в целом характеризует радиационную обстановку на местности, является мощность амбиентного эквивалента дозы фотонного излучения (далее МАЭД). АСКРО НИТИ предназначена для непрерывного контроля радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения (ЗН) НИТИ во всех режимах эксплуатации ЯЭУ, включая проектные и запроектные аварии. Целью создания АСКРО является получение достоверной информации, позволяющей принять оперативные решения, направленные на предупреждение облучения персонала и отдельных лиц из населения, а также радиоактивного загрязнения окружающей природной среды выше допустимых норм.

В соответствии с рекомендациями по межгосударственной стандартизации – РМГ 78-2005 [2] мощностью амбиентного эквивалента дозы является отношение приращения амбиентного эквивалента дозы за интервал времени к величине этого интервала (единица измерения – Зв/с). В нашем случае МАЭД представлен в единицах измерения мкЗв/ч. Согласно [2] под термином амбиентный эквивалент дозы (доза амбиентная) понимается эквивалент дозы, который был бы создан в шаре диаметром 30 см из тканеэквивалентного материала плотностью 1 г/см^3 на глубине 10 мм от поверхности по радиусу, параллельному направлению излучения, но противоположно ему направленному, в поле излучения, идентичном рассматриваемому по составу, флюенсу и энергетическому распределению, но мононаправленном и однородном (единица измерения – Зв).

Краткая характеристика объектовой АСКРО

В границах санитарно-защитной зоны НИТИ значение МАЭД контролируется в непрерывном режиме на восьми автоматизированных постах радиационного контроля (АПРК), которые размещены вдоль периметра предприятия и около основных транспортных проходных. Информация о МАЭД поступает с датчиков УДБГ-01-02. Из восьми АПРК четыре оснащены

специализированными помещениями – «домиками», в которых работают фильтро-вентиляционные установки (ФВУ) для аспирационного пробоотбора аэрозолей атмосферного воздуха на фильтр Петрянова ФПП-15.

На основе датчиков АСКРБ 1У.14-1С организован непрерывный измерительный канал значений МАЭД от аэрозолей, которые накапливаются за период экспозиции фильтра на барабанах ФВУ. Таким образом, в СЗЗ НИТИ в автоматическом режиме показатели МАЭД на местности поступают с восьми постов АПРК и от аэрозольных фильтров с четырех постов, снабженных аспирационным отбором воздуха. Схема размещения постов АПРК на территории НИТИ приведена на рис. 1.

Номер поста	Направление от трубы
Пост 1	Юго-юго-запад
Пост 2 с ФВУ	Запад-юго-запад
Пост 3 с ФВУ	Запад
Пост 4	Северо-запад
Пост 5	Запад-северо-запад
Пост 6 с ФВУ	Север-северо-восток
Пост 7	Северо-восток
Пост 8 с ФВУ	Юго-юго-запад

Рис. 1. Схема расположения постов АСКРО НИТИ относительно 100 м выбросной трубы

Автоматический контроль параметров в СЗЗ НИТИ осуществляется программно-техническим комплексом (ПТК) АСКРО НИТИ, в зоне наблюдения – техническими средствами АСКРО Ленинградской атомной станции. Информация о значениях мощности амбиентной дозы гамма-излучения на местности в зоне наблюдения передается по линиям связи из АСКРО ЛАЭС в АСКРО НИТИ. Состав и структура ПТК верхнего уровня АСКРО приведена на рис. 2.

При работе АСКРО измерительные каналы функционируют совместно с центральным пультом контроля (ЦПК) АСКРО. Информация со средств нижнего уровня АСКРО НИТИ передается по радиомодемам через станцию сбора данных в серверную систему баз данных, на ЦПК и автоматизированные рабочие места: АРМ РЭЛ, АРМ СЦ, АРМ ГОиЧС для оперативного анализа радиационной обстановки. Визуализация значений контролируемых параметров, поступающих со средств нижнего уровня АСКРО, обеспечивается видеокадрами и Web-сайтом «webaskro.niti.ru» и «АСКРО НИТИ».

В состав ПТК АСКРО НИТИ дополнительно входит специальное программное обеспечение (СПО), разработанное специалистами НИТИ. СПО «Анализ РЭО» обеспечивает возможность просмотра информации и ретроспективного анализа радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения НИТИ. С помощью СПО «Ручной ввод» в БД АСКРО вносят значения радиационных параметров, измеренных носимыми приборами и полученных в результате выполнения лабораторных анализов. На ЦПК обеспечивается представление информации о текущих значениях всех контролируемых параметров, уставочный контроль измеряемых величин, осуществляется диагностика текущего состояния программно-технических средств АСКРО, подготовка сводок, графиков, таблиц, отчетов по текущей и многолетней информации, а также управление оборудованием ПТК нижнего уровня.

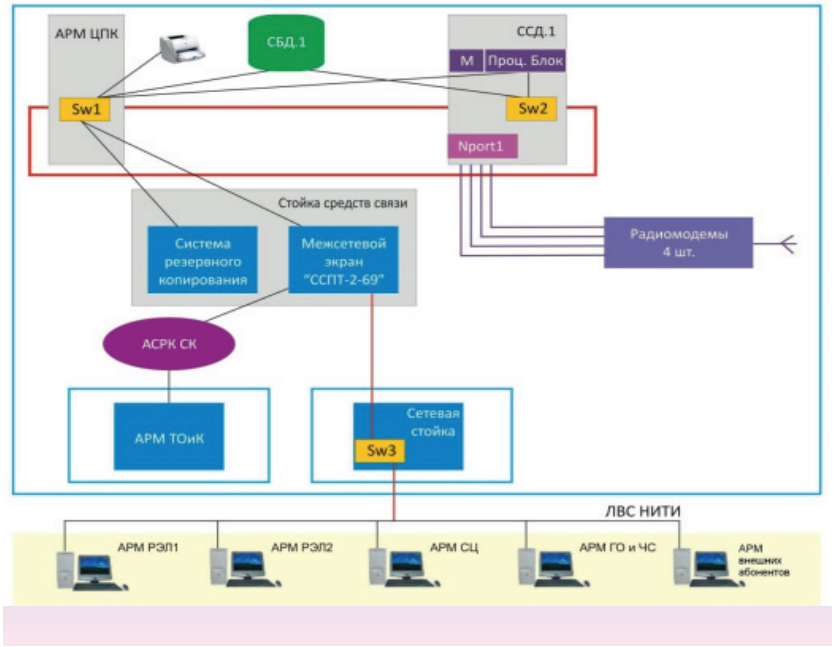


Рис. 2. Схема верхнего уровня АСКРО:

– АРМ - автоматизированное рабочее место;
– АРМ ЦПК - АРМ центрального пульта контроля;
– СБД - серверная база данных;
– ССД - станция сбора данных;
– АСРК - автоматизированная система радиационного контроля;
– АРМ ТОиК - АРМ технического обслуживания и калибровки;
– АРМ РЭЛ (1, 2) - АРМ радиоэкологической лаборатории;
– АРМ СЦ - АРМ спектрометрического центра;
– АРМ ГОиЧС - АРМ отдела по чрезвычайным ситуациям;
– ЛВС НИТИ - локальная вычислительная сеть НИТИ.

В данной статье представлен пятилетний опыт эксплуатации постов АСКРО НИТИ по измерительным каналам МАЭД. Дана оценка работоспособности созданного пускового комплекса автоматизированной системы. Продемонстрирована возможность регистрации автоматизированной системой событий, которые оказали влияние на относительно стабильное временное распределение среднестатистических значений МАЭД на территории НИТИ. Для более детального анализа источников и причинах формирования природной и техногенной активности окружающей среды в санитарно-защитной зоне НИТИ использованы данные лабораторного радиационного анализа воздушной среды – активности аэрозолей, накапливаемых фильтрами ФВУ на постах АСКРО НИТИ.

Структура радиационного фона территории

В настоящее время для ядерно- и радиационно- опасных объектов общепринятой является оценка радиационной обстановки объекта по значениям МАЭД. Этот показатель служит не только хорошим оперативным индикатором состояния окружающей среды, в особенности при резком

ухудшении радиационной обстановки, связанной с аварийными ситуациями на данных объектах, но и может использоваться для анализа самих причин, вызвавших изменение значений МАЭД, в том числе и для режимов нормальной эксплуатации объектов.

Радиационный фон окружающей территории складывается из трех основных компонентов: космического излучения; излучения от находящихся в земной коре, воздухе и других объектах внешней среды природных радионуклидов; излучения от искусственных (техногенных) радионуклидов.

Первичное космическое излучение состоит из протонов высоких энергий и ядер некоторых легких элементов. Первичные космические лучи в результате процессов ионизации и ядерных реакций быстро теряют свою энергию, участвуя в образовании ядер новых легких элементов, мюонов, нейтронов, рентгеновского и γ–излучения. Это вторичное излучение достигает поверхности Земли и составляет значительную часть природного радиационного фона. В результате взаимодействия космических лучей с ядрами основных элементов атмосферного воздуха (азот, кислород, углекислый газ, аргон) образуются космогенные нуклиды: ^{3}H, ^{7}Be, ^{14}C, ^{22}Na [3], излучение которых также входит в природный радиационный фон. К основным рассеянным радиоактивным элементам, повсеместно присутствующим в окружающей среде, относятся нуклиды ториевого и уранового рядов и ^{40}K. По мнению автора работы [4] космическое излучение формирует годовую дозу облучения в пределах 350—410 мкЗв. Это составляет около половины годовой дозы облучения населения. Остальная часть дозы облучения обусловлена радионуклидами, рассеянными в земной коре и атмосферном воздухе.

По полученным нами данным, существенный вклад в гамма-активность аэрозолей атмосферного воздуха вносит космогенный нуклид ^{7}Be. Основные реакции, приводящие к образованию изотопов бериллия в атмосфере Земли, протекают при взаимодействии космических лучей с ядрами азота и кислорода, которые являются основными составляющими атмосферного воздуха. Это так называемые реакции скалывания $_{7}N^{14}(p,X)_{4}Be^{7}$, $_{8}O^{16}(p,X)_{4}Be^{7}$, $_{7}N^{14}(n,X)_{4}Be^{7}$ и $_{8}O^{16}(n,X)_{4}Be^{7}$ [3].

В 2018 году объемная активность ^{7}Be в аэрозолях атмосферного воздуха на промплощадке НИТИ (пост 2 АСКРО) находилась в пределах 1.5—3.0 мБк/м^{3} и составляла от 96 % до 99 % общей аэрозольной активности. Активность природного нуклида ^{40}K и суммы радионуклидов техногенного происхождения распределялась в аэрозолях примерно в равных долях – в среднем за год по 0.8—0.9 %. Эти данные хорошо согласуются с исследованиями, проведенными специалистами Научно-исследовательского института физики [5].

Следует отметить, что на величину гамма-фона окружающей местности также оказывает влияние природный нуклид ^{40}K, который содержится в верхних слоях почвенного покрова и в водах водоемов. Исследование почв в границах зоны наблюдения НИТИ (2018—2019 годы) свидетельствует, что вклад ^{40}K в активность почв примерно в 40 раз выше, чем техногенных радионуклидов. Оценка общей активности радионуклидов в поверхностных слоях воды прибрежной части Копорской губы Финского залива по данным радиоэкологического контроля 2018 года составляет порядка 950—1200 Бк/м^{3}. Из них около 98 % связано с активностью ^{40}K.

Анализ флуктуаций естественного радиационного фона территории НИТИ по результатам измерения МАЭД

При измерениях МАЭД датчики УДБГ-01-02 АСКРО регистрируют фотонное излучение (гамма-излучение) общего радиационного фона территории. Для анализа динамики изменения

МАЭД на промплощадке НИТИ была выбрана территория поста 2 АСКРО. Пост 2 совмещает измерительные каналы МАЭД и метеостанции, а также ФВУ для аспирационного отбора аэрозолей приземного слоя атмосферного воздуха. Этот пост находится с наветренной стороны по отношению к выбросной трубе НИТИ. По данным метеостанции МК-14-1 АСКРО НИТИ в течение последних пяти лет ветра, направленные в сторону поста 2 (ВСВ), составляли не более 5 % от общей розы ветров. Территория поста 2 наименее подвержена влиянию радиоактивных выбросов НИТИ, поэтому информацию, поступающую от каналов измерения МАЭД с поста 2, можно условно рассматривать в качестве регионального гамма-фона, сформированного природными процессами.

Анализ динамики и воспроизведение значений МАЭД проводились с использованием СПО «Анализ РЭО». Эта специализированная программа АСКРО позволяет отображать информацию на дисплей в табличном или графическом виде и экспортировать данные в различные форматы за любой промежуток времени. В качестве примера на рис. 3 воспроизведены массивы значений МАЭД в 2018 году: за сутки, месяц и полный год. Из представленной на рис. 3 информации следует, что в 2018 году значения МАЭД на территории поста 2 находились в диапазоне 0.05—0.17 мкЗв/ч, что характерно для регионального гамма-фона.

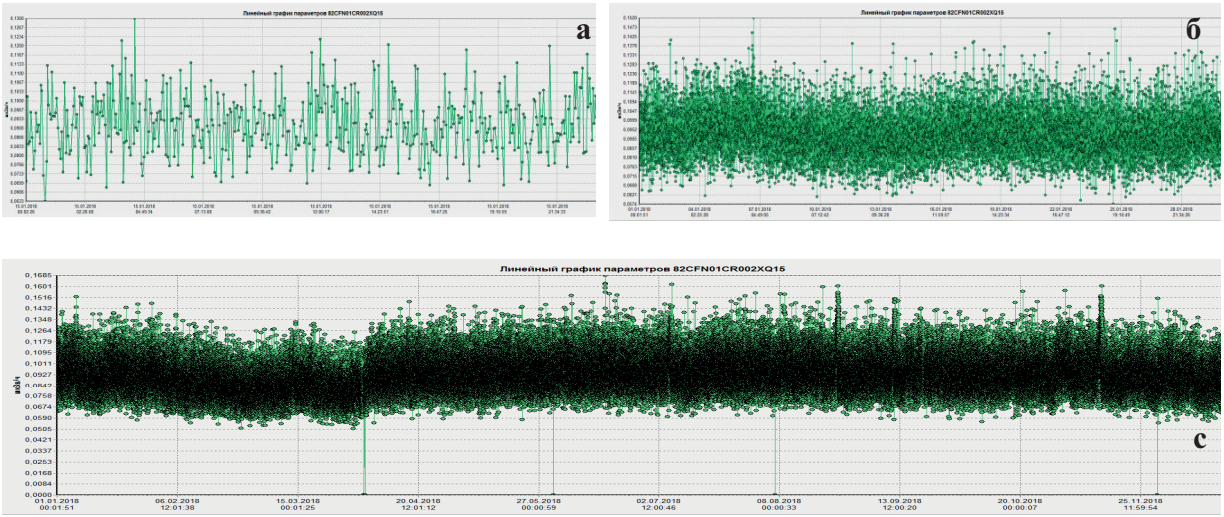
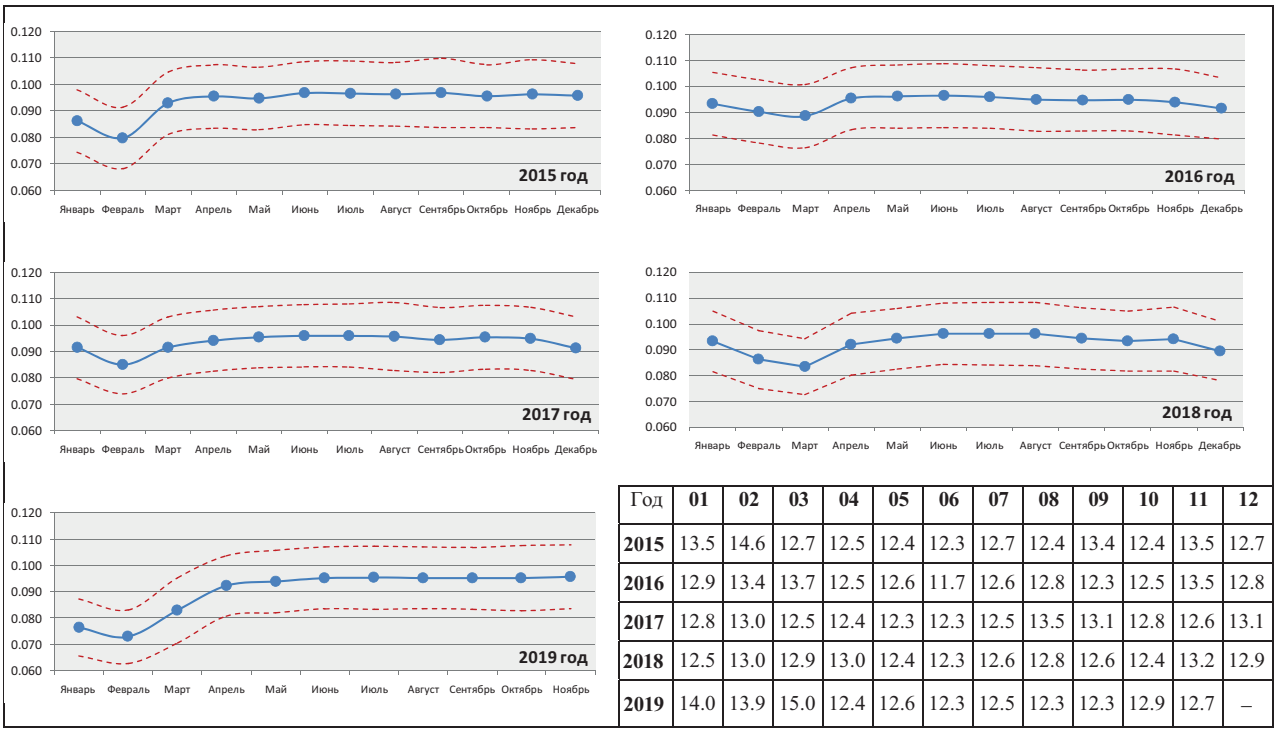


Рис. 3. Пост 2. Динамика значений МАЭД в 2018 году:

а – суточная (15 января), б – за месяц (январь), с – годовая (январь-декабрь)

Непрерывно измеряемые на посту 2 датчиком УДБГ-01-02 значения МАЭД поступают в СБД АСКРО с периодичностью 1 раз в 2—3 минуты. За год в СБД АСКРО от одного датчика УДБГ-01-02 накапливается порядка 180 тысяч значений. Авторами проведены статистические данные для многолетних рядов результатов измерений из СБД АСКРО по значениям МАЭД поста 2. На основании этих данных рассчитаны средние за месяц значения МАЭД и их доверительные интервалы (среднеквадратические отклонения – СКО). В расчет средних значений не вошли данные повышенных уровней МАЭД, зарегистрированных 25 мая 2015 года, 16 июня 2016 года и 29 июня 2017 года в период проведения поверочных работ с применением закрытых радионуклидных источников на территории поста 2 (в общем, не более 20 значений за 3 года, рис. 4).



Год	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
2015	13.5	14.6	12.7	12.5	12.4	12.3	12.7	12.4	13.4	12.4	13.5	12.7
2016	12.9	13.4	13.7	12.5	12.6	11.7	12.6	12.8	12.3	12.5	13.5	12.8
2017	12.8	13.0	12.5	12.4	12.3	12.3	12.5	13.5	13.1	12.8	12.6	13.1
2018	12.5	13.0	12.9	13.0	12.4	12.3	12.6	12.8	12.6	12.4	13.2	12.9
2019	14.0	13.9	15.0	12.4	12.6	12.3	12.5	12.3	12.3	12.9	12.7	–

Рис. 4. Пост 2. Многолетняя динамика значений МАЭД (мкЗв/ч) и их СКО (%)

Статистический анализ данных показал, что осредненные за месяц значения МАЭД с 2015 по 2019 годы находились в пределах 0.073 мкЗв/ч (февраль 2019 года) – 0.097 мкЗв/ч (июнь 2015 года). Графики годового изменения значений МАЭД имеют сходный характер. Это подтверждено значениями коэффициентов корреляции (от 0.69 до 0.85) между сравниваемыми годовыми массивами данных. Оценка для среднемноголетнего значения МАЭД составляет 0.093 ± 0.012 мкЗв/ч при объеме выборки за пять лет – 862 520 измерений.

При анализе динамики значений МАЭД за 2018—2019 годы прослеживается тенденция снижения значений МАЭД в зимний период времени (декабрь—март, рис. 5).

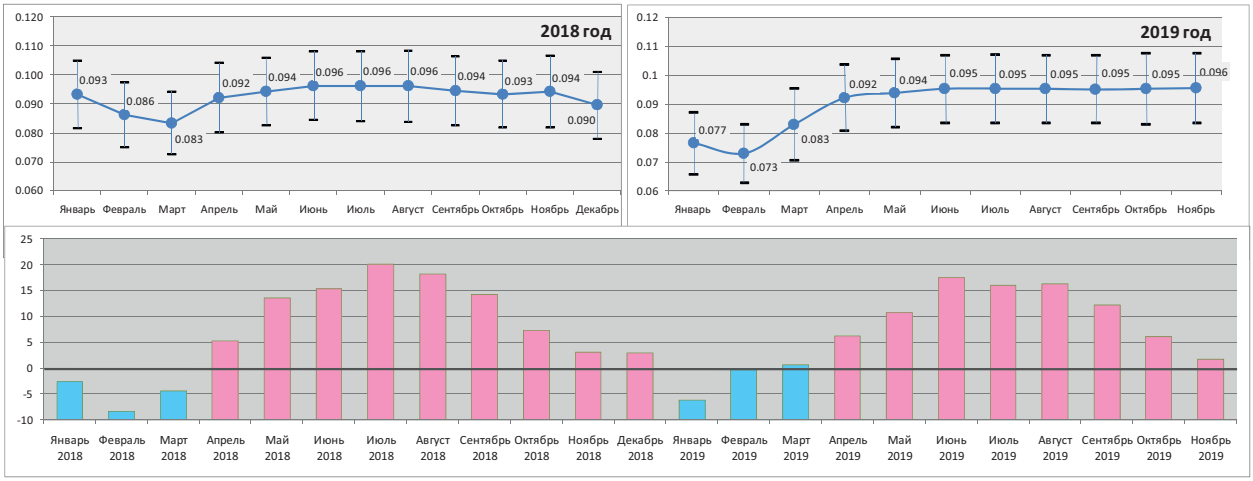


Рис. 5. Пост 2 АСКРО. Сезонный ход значений МАЭД и температуры атмосферного воздуха в 2018—2019 годах

В это время года при минусовых температурах атмосферного воздуха перекрывается выход из почвы газообразных продуктов распада радионуклидов природного происхождения (^{224}Ra, ^{226}Ra, ^{228}Th, ^{232}Th). Их основными дочерними радионуклидами, поступающими в приземный слой атмосферного воздуха, являются ^{220}Rn и ^{222}Rn, активность которых вносит вклад в мощность амбиентной дозы гамма-излучения на местности.

При изучении возможного влияния температуры окружающего воздуха на величину МАЭД проанализированы два временных ряда этих показателей за 2019 год. Из всего массива статистических данных по температуре атмосферного воздуха, зарегистрированных метеостанцией АСКРО, отобраны два периода времени года с максимальными суточными перепадами температур: с 3 по 18 апреля (перепад составляет 18.3 °С) и с 15 по 31 августа (перепад составляет 16.5 °С). Сравнительные результаты суточной динамики температуры и значений МАЭД за эти периоды приведены на рис. 6.

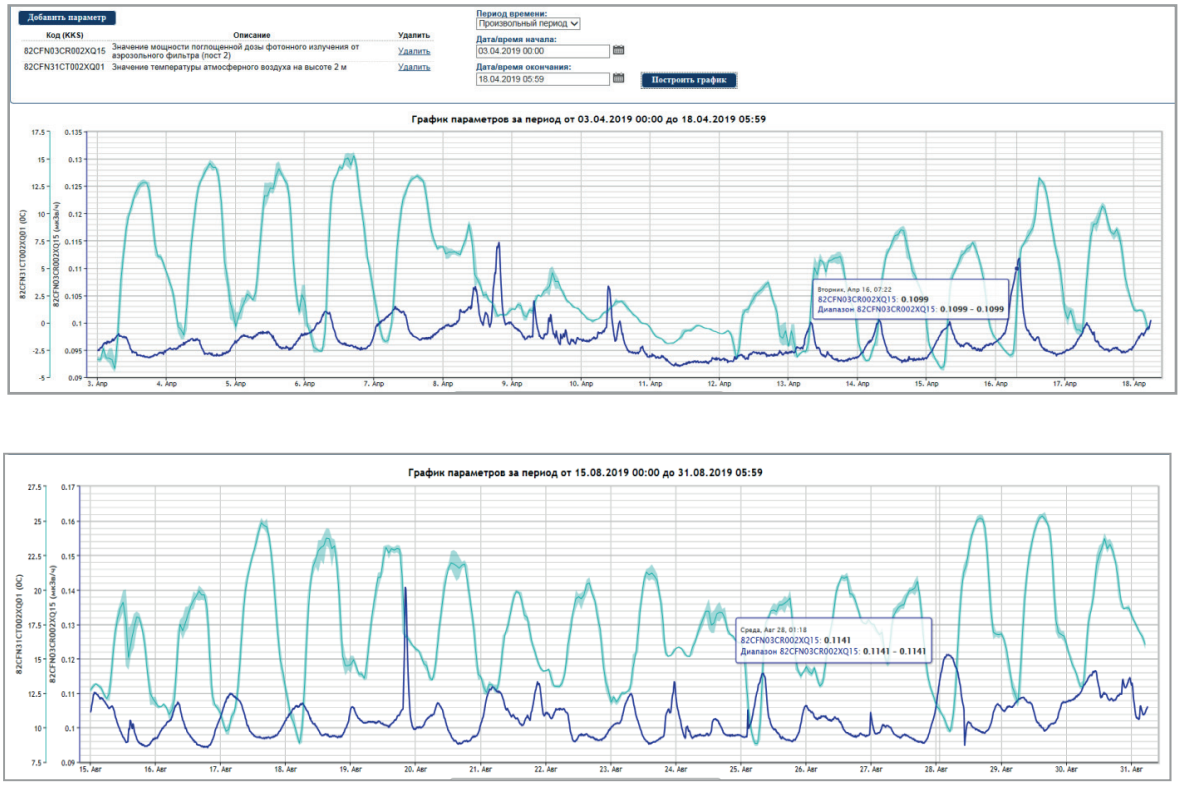


Рис. 6 . Пост 2. Суточная динамика значений МАЭД и температуры атмосферного воздуха в апреле и августе 2019 года

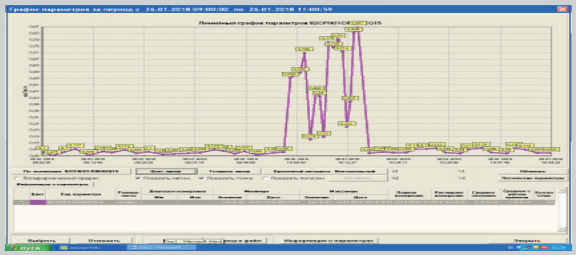
Представленный на рис. 6 ход кривых МАЭД и температуры в периоды максимальных перепадов суточных температур имеет выраженную обратную зависимость. Коэффициенты корреляции между двумя сравниваемыми рядами в эти периоды составляют отрицательную величину, равную –0.53 ÷ –0.62. Для пиков дневных температур наблюдается снижение значений мощности дозы. По характеру поведения кривых на рис. 6 можно предположить, что в результате перепада температуры между почвой и атмосферным воздухом ночью радиоактивные газы начинают выходить на поверхность земли из прогретой днем почвы. Максимальные суточные значения МАЭД были зарегистрированы в ранние утренние часы.

Анализ динамики МАЭД на территории НИТИ под воздействием техногенных факторов

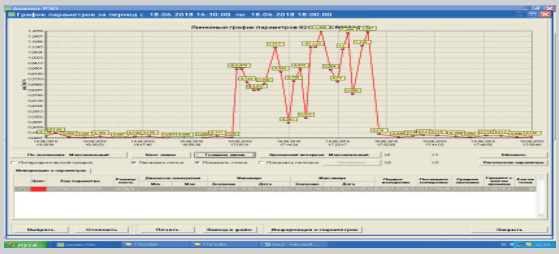
Накопленный пятилетний опыт работы системы АСКРО дает возможность в ретроспективном плане оценить общие причины повышения значений МАЭД на территории НИТИ, которые не связаны с природными флуктуациями радиационного фона.

Среди основных причин повышения значений МАЭД на территории НИТИ следует выделить плановые работы, которые с различной периодичностью проводились на промышленной площадке института с применением закрытых радиоактивных источников. В последние годы сотрудники лаборатории неразрушающего контроля НИТИ неоднократно проводили анализ состояния сварных соединений трубного хозяйства с применением дефектоскопов в районе водозаборного канала и внутри периметра НИТИ. С применением закрытых радиоактивных источников проводилась поверка датчиков измерения МАЭД (УДБГ-01-02) непосредственно внутри постов АСКРО НИТИ.

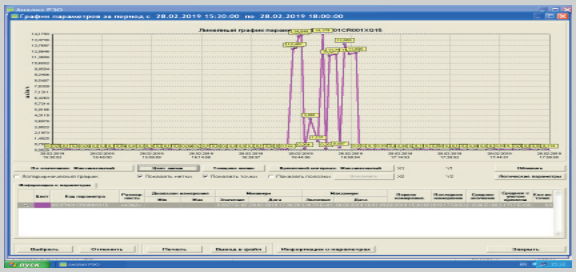
В качестве примера влияния работ с применением закрытых радиоактивных источников на повышение значений МАЭД можно привести массивы значений МАЭД, зарегистрированные в периоды проведения работ с дефектоскопами по определению герметичности труб и их соединений (рис. 7).



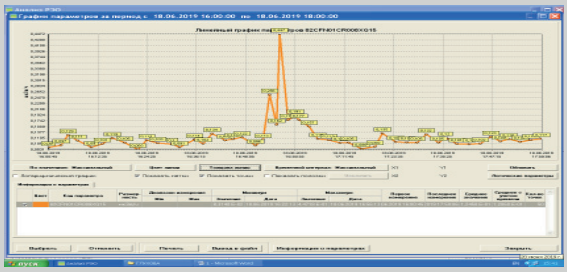
26.01.2018. Пост 4



18.06.2018. Пост 3



28.04.2019. Пост 4



18.06.2019. Пост 8

Рис. 7. Повышение значений МАЭД в периоды проведения дефектоскопии сварных соединений оборудования внешних сетей на территории НИТИ

Еще одной из причин регистрации повышенных значений МАЭД системой АСКРО является транспортировка радиоактивных отходов. Периодически по территории НИТИ перемещают контейнеры с радиоактивными отходами специализированным автотранспортом или железнодорожным составом. Так, в мае и августе 2018 года датчики УДБГ-01-02 дважды зафиксировали повышение МАЭД при вывозе радиоактивных отходов с территории НИТИ в Ленинградское отделение СЗТО ФГУП «РосРАО» (рис. 8).

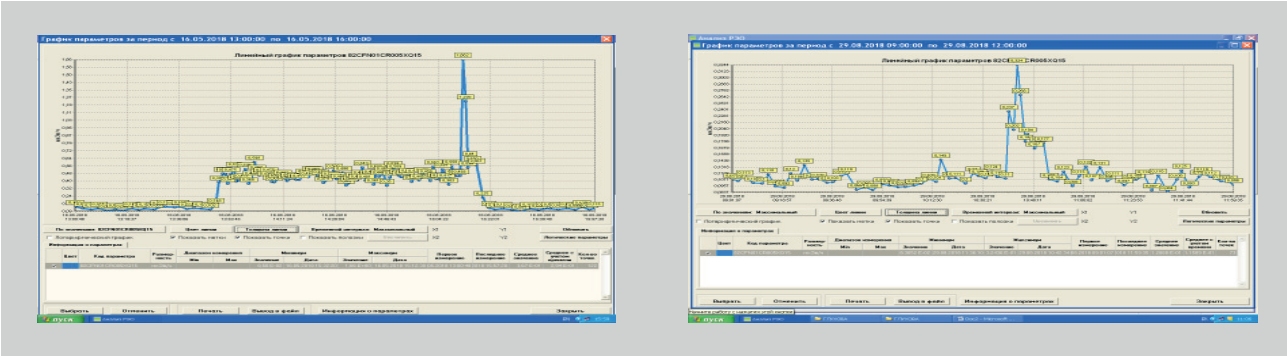


Рис. 8. Пост 5. Повышение значений МАЭД (мкЗв/ч) при транспортировке РАО в 2018 году

В ряде случаев при контроле МАЭД по нестандартному виду графиков можно диагностировать неполадки в работе технических средств нижнего уровня АСКРО. Ход «пилообразных» кривых на рис. 9 связан с выходом из строя датчиков УДБГ-01-02 на постах 4 и 7. После замены неисправных датчиков вид графиков динамики значений МАЭД восстановился и стал соответствовать типичным флуктуациям измерения гамма-фона.

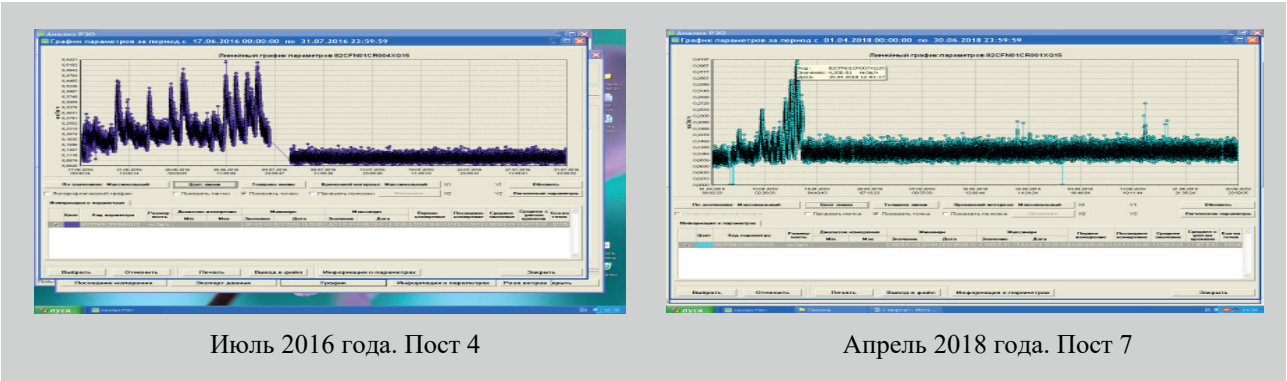


Рис. 9. Динамика значений МАЭД при неисправности датчиков УДБГ-01-02

Впервые резкое «пилообразное» изменение значений МАЭД было зарегистрировано в июле 2016 года на водозаборном канале НИТИ. Приведённое на рис. 9 «пилообразное» поведение графика значений МАЭД воспринималось как реальное повышение гамма-фона на местности. Результаты поиска и анализа возможных причин такого «ухудшения» радиационной обстановки свидетельствовали об отсутствии источников загрязнения территории поста 4, как со стороны НИТИ, так и Ленинградской АЭС. Нормальная радиационная обстановка подтверждалась результатами измерения объемной активности воды радиометром РСКВ-01 на водозаборном канале НИТИ: значения результатов измерений объемной активности радионуклидов в диапазоне энергий ^{137}Cs в воде водозаборного канала в июле 2016 года находились на уровне минимально-детектируемой активности. Проведение дополнительной гамма-съемки непосредственно около датчика УДБГ-01-02 на посту 4 АСКРО носимым радиометром-дозиметром типа ДКС-АТ1121 подтвердило факт регистрации на этой территории фоновых уровней МАЭД. В результате было установлено, что резкое изменение значений МАЭД обусловлено техническими причинами – неисправностью регистрирующего излучение детектора.

В апреле 2018 года подобная ситуация повторилась. Радиационная обстановка на территории предприятия была без отклонений. Это подтверждалось и контролем МАЭД на ближайших постах АСКРО НИТИ (№№ 5, 6, 8). Однако показания датчика УДБГ-01-02 на посту 7 соответствовали верхнему уровню значений и повторяли ход кривых, зарегистрированных при

неисправности датчика на посту 4 в июле 2016 года. После замены спонтанно срабатывающего датчика показания измерительного канала МАЭД на посту 7 стали характерными для нормальной радиационной обстановки.

При проведении непрерывного контроля территории НИТИ, АСКРО периодически регистрируются пики значений МАЭД, связанные с газо-аэрозольными выбросами предприятий атомно-промышленного комплекса г. Сосновый Бор. В январе – феврале 2017 года в поведении МАЭД поста 8 и МАЭД от аэрозольного фильтра поста 8 наблюдались многочисленные синхронные всплески измеряемых значений до 0.24 мкЗв/ч (рис. 10). При этом уровень значений МАЭД от аэрозольного фильтра в домике поста 8 был ниже, чем значения МАЭД от датчика УДБГ-01-02, установленного на мачтовой конструкции на высоте 2.5 м. Это связано с поглощением внешнего гамма-излучения стенами металлического домика, в котором размещена фильтровентиляционная установка с тканью Петрянова. Технических отклонений в работе измерительных каналов в этот период не выявлено. Суточная регулярность и интервал появления всплесков МАЭД с 17.00 до 20.00 часов позволили предположить о прохождении по территории обусловленного кратковременными выбросами радиоактивных газов облака. Вероятно, эти выбросы были связаны с организованными сдувками инертных радиоактивных газов. Тем более, в это время не наблюдалось накопления аэрозольной активности и, как следствие, постепенного нарастания значений МАЭД от фильтра ФВУ на посту 8.

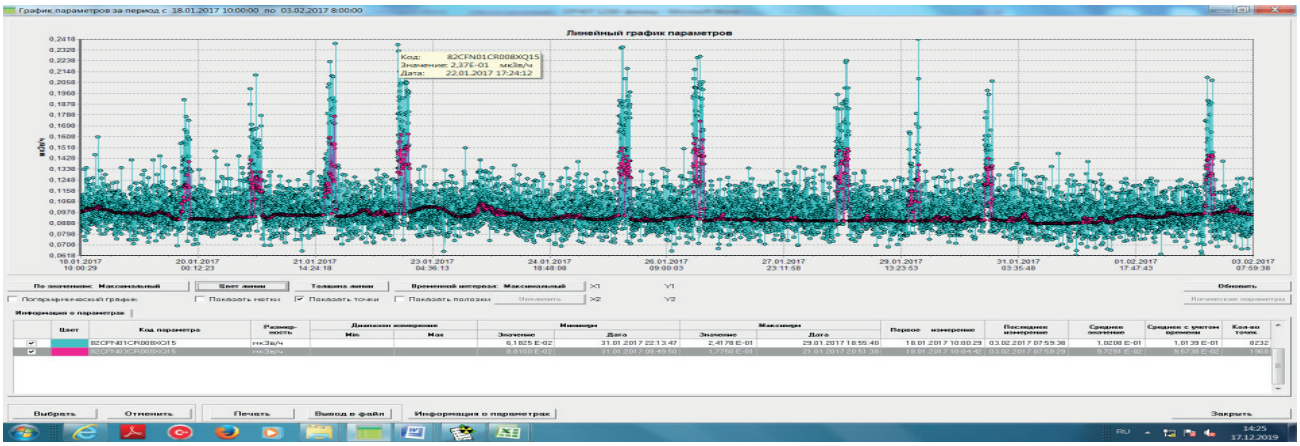


Рис. 10. Пост 8. Сравнительные данные значений МАЭД от аэрозольного фильтра (красный) и МАЭД на местности (голубой) в периоды прохождения радиоактивного облака, мкЗв/ч

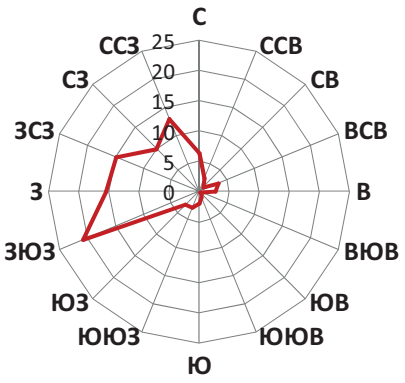
Определить источник повышения МАЭД позволил анализ метеоинформации, поступающей с метеостанции МК-14-1 АСКРО НИТИ. С 19 января по 02 февраля 2017 года из базы данных АСКРО была извлечена временная выборка максимальных значений МАЭД и соответствующих им значений направления ветра. В анализируемый период на территории НИТИ преобладали ветра западных секторов (табл. 1). Практическое отсутствие поступления воздушных масс со стороны территории размещения других предприятий атомно-промышленного комплекса в период 19 января – 02 февраля 2017 года подтвердило, что источником организованных сдувок инертных радиоактивных газов являются технологические здания НИТИ.

Другим примером проявления признаков поступления активности радионуклидов в воздушную среду территории НИТИ является ситуация августа 2019 года, когда измерительными каналами МАЭД АСКРО НИТИ на посту 6 были зарегистрированы периодические скачки контролируемого параметра в ночные часы (табл. 2).

Таблица 1

Пост 8. Результаты контроля значений МАЭД и направления ветра
за период 19 января – 02 февраля 2017 года

Дата	Время	МАЭД в пике, мкЗв/ч		Направление ветра, град. (румб)
		Мачта	Фильтр	
19.01.2017	19^{40}	0.191	0.140	274 (З)
20.01.2017	19^{05}	0.212	0.141	312 (СЗ)
21.01.2017	19^{22}	0.238	0.178	351 (С)
22.01.2017	17^{25}	0.237	0.163	308 (СЗ)
25.01.2017	19^{30}	0.235	0.151	232 (ЮЗ)
26.01.2017	19^{00}	0.227	0.174	306 (СЗ)
28.01.2017	19^{00}	0.224	0.152	252 (ЗЮЗ)
29.01.2017	18^{55}	0.242	0.137	245 (ЗЮЗ)
30.01.2017	18^{54}	0.207	0.143	260 (З)
02.02.2017	18^{34}	0.210	0.145	253 (ЗЮЗ)



Уровень превышения значений МАЭД над основным массивом данных был небольшим, но достоверным и четко прослеживался на графиках при анализе информации (рис. 11). При этом мощность дозы от аэрозольного фильтра была примерно на одном уровне, а в некоторых случаях и выше мощности дозы на высоте 2.5 м.

Таблица 2

Пост 6. Результаты контроля значений МАЭД и направления ветра
за период 03—31 августа 2019 года

Дата	Время	МАЭД в пике, мкЗв/ч		Направление ветра, град. (румб)	Скорость ветра, м/с
		Мачта	Фильтр		
03.08.2019	04^{14}	0.129	0.132	4.9 (С)	2.08 ± 0.60
06.08.2019	03^{08}	0.157	0.148	133 (ЮВ)	штиль
07.08.2019	02^{14}	0.126	0.157	96 (В)	2.27 ± 0.61
10.08.2019	06^{49}	0.133	0.141	152 (ЮЮВ)	штиль
13.08.2019	01^{03}	0.151	0.144	31 (ССВ)	0.88 ± 0.54
14.08.2019	00^{58}	0.142	0.154	166 (ЮЮВ)	1.67 ± 0.58
17.08.2019	04^{53}	0.129	0.139	137 (ЮВ)	0.88 ± 0.54
20.08.2019	02^{08}	0.124	0.137	186 (Ю)	0.71 ± 0.53
21.08.2019	01^{13}	0.162	0.145	147 (ЮЮВ)	0.77 ± 0.54
24.08.2019	01^{08}	0.138	0.143	194 (ЮЮЗ)	3.06 ± 0.65
27.08.2019	01^{13}	0.113	0.131	233 (ЮЗ)	0.77 ± 0.54
28.08.2019	03^{28}	0.208	0.164	123 (ВЮВ)	0.60 ± 0.53
31.08.2019	05^{14}	0.142	0.157	175 (Ю)	1.57 ± 0.58

Сопоставление розы ветров в этот временной интервал с максимальными значениями мощностей доз в районе поста 6 не позволило однозначно определить источник этих поступлений. В августе ветер часто менял направление и скорость. В этот период также отмечались и штили. Поэтому вероятность того, что скачки МАЭД были связаны с эксплуатацией новых энергоблоков Ленинградской АЭС составила около 46 %. Остальная часть загрязнения атмосферного воздуха могла исходить от НИТИ (15 %), в меньшей степени со стороны других предприятий – комплекса по переработке РАО Ленинградской АЭС, предприятия по переработке металлических радиоактивных отходов «Экомет-С» и ЛО СЗТО ФГУП «РосРАО».

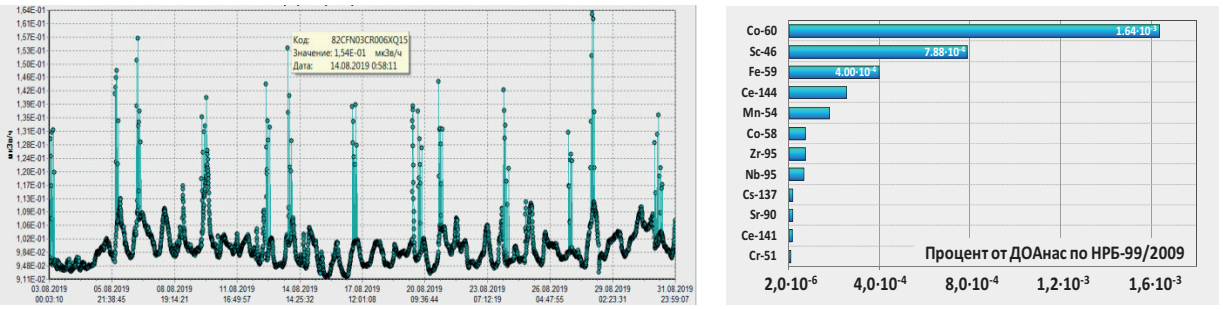


Рис. 11. Пост 6. Значения МАЭД от аэрозольного фильтра, мкЗв/ч, и объемная активность аэрозолей атмосферного воздуха относительно нормативов по НРБ-99/2009 в августе 2019 года

Около 23 % ветров в момент пиковых значений МАЭД было направлено с южного направления, где отсутствуют объекты атомно-промышленного комплекса. Проведение работ, связанных с поступлением аэрозольной активности в санитарно-защитную зону НИТИ в августе 2019 года подтверждено результатами лабораторного анализа аэрозольных фильтров, снятых после месячной экспозиции в конце августа с барабанов ФВУ на посту 6 АСКРО НИТИ. Максимальные уровни объемной активности коррозионных радионуклидов и продуктов деления в воздушной среде находились на 4—7 порядков ниже соответствующих регламентированных уровней по отечественным нормам НРБ-99/2009. Самый критичный из радионуклидов ^{60}Co, активность которого в аэрозолях воздуха достигла в августе 2019 года максимальных значений, был радиологически безопасен (его активность в воздухе была в $\approx 6 \cdot 10^4$ раз ниже $ДОА_{нас}$ – допустимой объемной активности ^{60}Co во вдыхаемом воздухе для критической группы населения по НРБ-99/2009.

В результате анализа радиационной обстановки в зоне воздействия НИТИ по многолетним данным радиационного контроля МАЭД от восьми автоматических постов АСКРО НИТИ рассчитаны средние значения контролируемого параметра на территориях всех постов АСКРО (табл. 3).

Таблица 3

Среднемноголетние значения МАЭД на постах АСКРО НИТИ, мкЗв/ч

Номер поста	2015 год	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год
Пост 1	0.081 ± 0.011	0.081 ± 0.011	0.080 ± 0.011	0.084 ± 0.012	0.083 ± 0.012
Пост 2	0.094 ± 0.012	0.094 ± 0.012	0.093 ± 0.012	0.092 ± 0.012	0.090 ± 0.011
Пост 3	0.095 ± 0.013	0.094 ± 0.013	0.094 ± 0.013	0.097 ± 0.014	0.102 ± 0.014
Пост 4	0.100 ± 0.013	0.100 ± 0.013	0.101 ± 0.013	0.100 ± 0.013	0.099 ± 0.013
Пост 5	0.108 ± 0.013	0.108 ± 0.013	0.106 ± 0.013	0.106 ± 0.013	0.107 ± 0.013
Пост 6	0.086 ± 0.012	0.087 ± 0.012	0.086 ± 0.012	0.095 ± 0.013	0.094 ± 0.013
Пост 7	0.090 ± 0.012	0.090 ± 0.012	0.091 ± 0.012	0.105 ± 0.014	0.098 ± 0.013
Пост 8	0.099 ± 0.013	0.100 ± 0.013	0.099 ± 0.013	0.104 ± 0.014	0.101 ± 0.013

Рассчитанные СКО значений МАЭД за пять лет от восьми постов АСКРО находятся в пределах 12—18 %. Самые высокие СКО от среднегодовых значений МАЭД приходятся на январь – март каждого года, когда в силу природных факторов наблюдаются низкие значения МАЭД.

При расчете средних значений были отсеяны измерения МАЭД, связанные с плановыми работами на территории НИТИ с применением радионуклидных источников (поверка аппара-

туры на постах АСКРО, сканирование дефектоскопами оборудования внешних сетей и др.), которые при статистической обработке могли повлиять на средние значения и среднеквадратические отклонения годовых выборок.

На основе пятилетних рядов наблюдений, регистрируемых с частотой передачи данных (2—3 минуты), рассчитаны диапазоны МАЭД по средним значениям для санитарно-защитной зоны (территории) НИТИ. Диапазон средних значений составляет 0.08—0.11 мкЗв/ч. При точности единичного измерения 20 % верхняя граница среднемноголетнего значения МАЭД на территории НИТИ составит – 0.13 мкЗв/ч. На основании полученных данных в качестве значения среднего гамма-фона территории НИТИ целесообразно принять величину в 0.13 мкЗв/ч.

Согласно проведенным исследованиям, значения МАЭД, регулярно поступающие с постов АСКРО НИТИ в течение последних лет, не превышали контрольного уровня МАЭД в 0.5 мкЗв/ч, установленного для промплощадки НИТИ [6]. Исключением являются эпизодические работы с радионуклидными источниками и транспортированием РАО, которые выполнялись в плановом порядке и не связаны с ухудшением радиационной обстановки вследствие загрязнения объектов природной среды. Следует отметить, что во время проведения этих работ уровни МАЭД не превысили норматива, установленного правилами безопасности при транспортировании радиоактивных отходов [7] по уровню излучения в 0.1 мЗв/ч (100 мкЗв/ч) для любой точки на расстоянии 2 м от вертикальных плоскостей, образованных внешними боковыми поверхностями транспортного средства.

Благоприятная радиационная обстановка в районе расположения НИТИ подтверждена сравнительным анализом данных АСКРО НИТИ и АСКРО Ленинградской атомной станции (табл. 3, табл. 4).

Таблица 4

Значения МАЭД в зоне наблюдения НИТИ по данным АСКРО ЛАЭС за период 2018—2019 годов, мкЗв/ч

Номер точки контроля	Направление (расстояние, км) от НИТИ	Количество измерений		Мощность дозы, мкЗв/ч			
				Максимум		Среднее	
		2018	2019	2018	2019	2018	2019
Река Воронка	ЮЗ (4)	46309	36583	0.15	0.14	0.095 ± 0.019	0.085 ± 0.017
Сад. «Энергетик»	СВ (6)	46303	37155	0.14	0.12	0.079 ± 0.016	0.075 ± 0.015
Сосновый Бор	ССВ (7)	45533	36072	0.14	0.13	0.103 ± 0.021	0.106 ± 0.021
Пос. Копорье	Ю (14)	46353	36972	0.16	0.16	0.100 ± 0.020	0.105 ± 0.021
Пос. Шепелево	С (16)	46348	36748	0.15	0.16	0.101 ± 0.020	0.109 ± 0.022
Озеро Копанское	ЗЮЗ (18)	46331	37056	0.23	0.22	0.190 ± 0.038	0.189 ± 0.038
Пос. Лопухинка	ЮВ (23)	46347	37611	0.20	0.19	0.163 ± 0.033	0.150 ± 0.030
Пос. Б. Ижора	СВ (32)	44492	35484	0.13	0.12	0.071 ± 0.014	0.090 ± 0.018
Пос. Бегуницы	ЮЮВ (31)	45856	36644	0.14	0.14	0.101 ± 0.020	0.078 ± 0.016
Пос. Котельский	ЮЮЗ (32)	46373	37406	0.22	0.12	0.089 ± 0.018	0.094 ± 0.019

Система АСКРО НИТИ эксплуатируется в границах санитарно-защитной зоны предприятия. В зоне наблюдения НИТИ размещены посты радиационного контроля АСКРО ЛАЭС. По данным контроля изменения МАЭД, поступающим от измерительных каналов с постов указанных двух предприятий, значения данного показателя в санитарно-защитной зоне и в зоне наблюдения НИТИ находятся практически на одинаковом и безопасном уровне.

Детальный анализ работы АСКРО в части измерений МАЭД позволяет сделать вывод о нормальной радиационной обстановке в районе расположения НИТИ. Это является следствием незначительного влияния эксплуатации действующих стендовых установок и процессов обращения с РАО на радиационное состояние объектов природной среды контролируемой территории.

Заключение

1. Пусковой комплекс АСКРО НИТИ по каналам измерения МАЭД в стабильном режиме обеспечивает регистрацию показателей радиационной обстановки на территории ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».
2. На основании информации, поступающей с АСКРО, проведена оценка осредненных значений МАЭД за пятилетний период эксплуатации системы, которые не превышают 0.13 мкЗв/ч.
3. На основе анализа факторов влияния на обследованной территории выбран пост АСКРО, показания которого целесообразно принять за условный радиационный фон территории ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»:
   - среднемноголетнее значение МАЭД – 0.093 ± 0.012 мкЗв/ч;
   - максимальное значение – 0.17 мкЗв/ч.
4. При анализе годовых рядов наблюдений отмечена тенденция снижения значений МАЭД в зимний период времени. Это подтверждено высокими коэффициентами корреляции между годовыми рядами данных: от 0.69 до 0.85.
5. На значения МАЭД оказывают влияние нуклиды космогенного и природного происхождения. Содержание ^{7}Be космогенного происхождения в аэрозолях атмосферного воздуха на территории предприятия составляет 96—99 % общей аэрозольной активности. Основной вклад в активность почвенного покрова и воды вносит природный нуклид ^{40}K.
6. Система АСКРО НИТИ обеспечивает регистрацию «надфоновых» значений МАЭД при проведении плановых работ с применением радионуклидных источников и транспортировке радиоактивных отходов. В режиме нормальной эксплуатации ядерно- и радиационно- опасных объектов по значениям МАЭД и метеоинформации показана возможность идентификации прохождения по территории санитарно-защитной зоны облака радиоактивных газов, вызванных регламентными сдувками.
7. Сравнительный анализ значений МАЭД при работе АСКРО Ленинградской АЭС и АСКРО НИТИ подтверждает благополучную радиационную обстановку в санитарно-защитной зоне и в зоне наблюдения ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».
8. Приведённые в статье результаты актуальны при планировании работ по созданию и эксплуатации объектовых АСКРО для ядерно- и радиационно- опасных объектов атомной отрасли.

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 10 июля 2014 года № 639. О государственном мониторинге радиационной обстановки на территории Российской Федерации.
2. РМГ 78-2005. Излучения ионизирующие и их измерения: рекомендации по межгосударственной стандартизации. – 2006. – 19 с.
3. Фоторождение космогенного бериллия-7 в земной атмосфере / Безуглов М.В., Малышевский В.С., Малыхина Т.В. [и др.] // Электронный научный журнал «Исследовано в России». – URL: http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2011/046.pdf.
4. Кузнецов В.В. 20 лекций по солнечно-земной физике. − Горно-Алтайск: Горно-Алтайский гос. университет, 2012. – 368 с.
5. Естественная радиоактивность приземного слоя воздуха г. Ростова-на-Дону / Е.А. Бураева, Л.В. Зорина, В.П. Рогов [и др.] // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – № 1 (2). – 10 с.
6. Числовые значения контрольных уровней радиационных параметров для персонала ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»: уч. № РБ-17-236. – 2017. – 9 с.
7. НП-053-16. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов. – 2016. – 90 с.