

Объемная активность приземного слоя воздуха и атмосферных выпадений в районе расположения Кольской атомной электростанции

А.А. Чупрунов¹, А.Ю. Смелов¹, В.А. Даувальтер^{2,3}

¹ Кольская атомная электростанция

² Апатитский филиал МГТУ, кафедра геоэкологии

³ Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН

Аннотация. Показана динамика объемной активности приземного слоя воздуха и атмосферных выпадений на различном расстоянии от Кольской АЭС с 1972 по 2006 гг. Основной вклад в увеличение объемной активности в этих природных средах за рассматриваемый период времени дали наземные ядерные взрывы в Китае в 1970-1980 гг. и авария на Чернобыльской АЭС в 1986 г. После этого отмечается устойчивое снижение объемной активности приземного слоя воздуха и атмосферных выпадений. Синхронные изменения объемной активности приземного слоя воздуха и атмосферных выпадений указывают на наличие прямой связи между этими природными средами, что подтверждается при проведении корреляционного анализа.

Abstract. Dynamics of volumetric activity of air ground layer and atmospheric precipitation on various distances from the Kola Nuclear Power station from 1972 to 2006 has been described. The basic contribution to increase in volumetric activity to these natural environments for the considered period was given by ground nuclear explosions in China in 1970-1980's and the accident on the Chernobyl NPS in 1986. After that steady reduction of volumetric activity of air ground layer and atmospheric precipitation has been marked up to the present time. Synchronous changes of volumetric activity of air ground layer and atmospheric precipitation specify suggest the direct connection between these natural environments, that proves to be true at carrying out of the correlation analysis.

1. Введение

Использование атомной энергии на благо человечества насчитывает уже более 50 лет и опыт, накопленный за это время, позволяет говорить о том, что АЭС – это наиболее экологически "чистое" производство, оказывающее минимальное воздействие на окружающую природную среду. Несмотря на это, развитие атомной энергетики как отрасли напрямую зависит от решения вопросов, связанных с охраной окружающей среды и рациональным природопользованием, которые являются одними из важнейших проблем настоящего времени.

На Кольской атомной электростанции контроль состояния окружающей среды в пределах санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения осуществляет лаборатория охраны окружающей среды отдела радиационной безопасности. Лаборатория изучает радиационную обстановку в регионе и обеспечивает получение и обработку информации о параметрах, характеризующих радиационное состояние АЭС и окружающей среды при всех режимах работы станции. Кроме этого, на АЭС осуществляется контроль мощности дозы гамма-излучения, радиоактивных аэрозолей и радиойода в воздухе, в выбросах и сбросах АЭС и содержания радионуклидов в почве, растительности, гидробионтах, продуктах питания местного производства и пр. (Ветров, 1990).

Объектом данного исследования является объемная активность приземного слоя воздуха и атмосферных выпадений на различном удалении от Кольской АЭС, начиная с момента ее эксплуатации.

2. Материалы и методы

2.1. Характеристика района расположения Кольской АЭС

Кольская АЭС (КАЭС) построена в 1973 г. и расположена на полуострове, отделяющем оз. Иокостровская Имандра от оз. Бабинская Имандра на расстоянии 15 км к северу от города Полярные Зори. Установленная электрическая мощность АЭС составляет 1760 МВт и обеспечивается четырьмя энергоблоками с реакторами ВВЭР-440.

Климат района отличается относительной мягкостью, что объясняется воздействием теплых атлантических масс воздуха. Среднегодовая температура воздуха, по данным многолетних наблюдений, составляет -0,6°C, абсолютная максимальная и абсолютная минимальная температуры – +32°C и -44°C, соответственно. Относительная влажность воздуха 81 %. Среднегодовое количество осадков составляет 560 мм (Купецкая, 1974).

2.2. Отбор проб атмосферных осадков

Контроль распространения и плотности атмосферных выпадений в районе расположения Кольской АЭС производился следующими седиментационными методами:

- а) сбор оседающих аэрозолей и атмосферных осадков в открытые сосуды;
- б) исследование снежного покрова.

Для сбора осадков использовали металлические кюветы размером 50×50 см с высотой бортиков 10 см. Кюветы устанавливали на специальных стойках на высоте 2-3 м от поверхности земли. Продолжительность экспозиции составляла от 5-10 суток и до месяца в зависимости от поставленной задачи и количества выпадающих осадков.

После отбора пробы отправлялись в лабораторию, где их отфильтровывали через бумажный фильтр, подкисляли концентрированной азотной кислотой и выпаривали до минимального объема. Фильтр с осадком помещали в тигель, в который также переносили и осадок раствора.

Содержимое тигля высушивали под инфракрасной лампой досуха и озоляли в муфельной печи при температуре 400°C. После охлаждения в эксикаторе содержимое тигля взвешивали с точностью до 3 знака, наносили на алюминиевую подложку 200-300 мг и уплотняли через кальку.

Пробу измеряли на третьи сутки на радиометрической установке УМФ-2000. Результаты, характеризующие плотность выпадения радионуклидов из атмосферного воздуха, записывались в Бк/м² (Ки/км²) в сутки (месяц) (*Система...*, 2004).

Отбор проб снега проводился один раз в год перед началом весеннего снеготаяния (апрель-май). Для этого выбирали ровную площадку в отдалении от проезжих дорог. Чтобы уменьшить случайные ошибки, использовали усреднение: объединяли пять образцов, отбираемых в центре и по углам квадрата со стороной 10 м на всю глубину снежного покрова.

Для отбора проб снега использовали пробоотборник в виде металлической трубы высотой 0,75-1 м, диаметром 15-20 см с острыми краями. После отбора пробу помещали в полиэтиленовый мешок, который маркировался и направлялся в лабораторию.

В лаборатории снег растапливали, воду профильтровывали через бумажный фильтр, подкисляли азотной кислотой и выпаривали до сухого остатка, который затем озоляли при температуре не выше 400°C вместе с подсушенным бумажным фильтром. Зола обсчитывалась на общую бета-активность, а затем направлялась на бета-, гамма-спектрометрический анализ. Расчет активности производился на единицу площади и записывался как Бк/м² (Ки/км²) (*Система...*, 2004).

2.3. Отбор проб аэрозолей воздуха

Для контроля концентрации радиоактивных веществ в воздухе использовался метод отбора проб атмосферных аэрозолей с помощью фильтровентиляционных установок (аспирационный метод).

Аспирационные установки размещаются на ровных открытых площадках, в местах с наименьшей естественной запыленностью, вдали от шоссе дорог и на расстоянии не менее 50-300 м от зданий и сооружений. В качестве фильтрующего материала использовалась ткань Петрянова. Для определения количества прокачиваемого воздуха применяли анемометры, трубку Пито, газовые часы (*Система...*, 2004).

Для получения достоверных данных и приемлемого времени измерения необходимо было иметь активность пробы, превышающую фон не менее, чем в два раза. Этого добивались путем выбора достаточного времени экспозиции.

Замер скорости прокачки воздуха через фильтр проводился на оси потока воздуха в плоскости выходного отверстия воздуховода. Осуществляли 3 двухминутных замера до снятия отработавшего фильтра и 3 двухминутных замера после установки свежего фильтра. По данным измерений определялись средние значения начальной (V_1) и конечной (V_2) скорости аспирации воздуха на исследуемом фильтре. Объем воздуха Q , прокачанный через фильтр, рассчитывали по формуле:

$$Q = 3600 S \cdot t \cdot (V_1 + V_2) / 2, \quad (1)$$

где S – площадь выходного отверстия воздуховода, м²; t – время аспирации, час.

Снятые фильтры сжигали в муфеле при температуре 400°C. Зола наносили на подложку, просчитывали на общую бета-активность и передавали на спектрометрический анализ (*Система...*, 2004).

2.4. Расчет объемной активности проб

1. Расчет поверхностной активности проб атмосферных выпадений производился по формуле:

$$A = A_{\Pi} / S \cdot t, \quad (2)$$

где A – суммарная бета-активность в атмосферных выпадениях, Бк/м² сутки; A_{Π} – суммарная бета-активность пробы; S – площадь кюветы, м²; t – время экспозиции кюветы, сутки.

2. Расчет объемной активности проб аэрозолей атмосферного воздуха производился по формуле:

$$A_V = A_{\Pi} / \varepsilon \cdot V, \quad (3)$$

где A_V – суммарная объемная бета – активность радионуклидов в воздухе, Бк/м³; A_{Π} – суммарная объемная бета – активность радионуклидов пробы; V – количество воздуха, прошедшее через фильтр воздухофильтрующей установки, м³; ε – эффективность улавливания аэрозолей. Для фильтроткани Петрянова, $\varepsilon = 1$ (Система..., 2004).

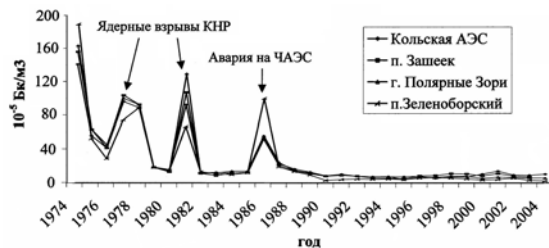


Рис. 1. Объемная активность приземного слоя воздуха в районе расположения КАЭС

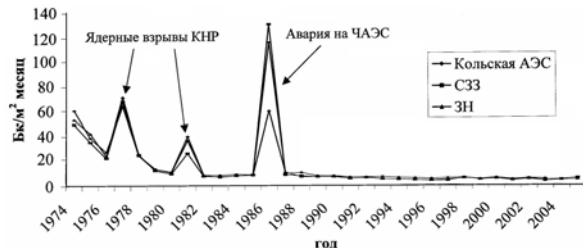


Рис. 2. Плотность выпадения радионуклидов в районе расположения Кольской АЭС

3. Результаты и обсуждение

В результате проведенных анализов были получены следующие значения объемной активности приземного слоя воздуха и атмосферных выпадений на различном удалении от Кольской АЭС по годам.

Динамика объемной активности приземного слоя воздуха за годы эксплуатации КАЭС приведена на рис. 1. Видна тенденция к постепенному снижению радиоактивности приземного слоя воздуха, начиная с года пуска АЭС и по настоящее время. Это вызвано прекращением испытаний ядерного оружия и постепенным самоочищением атмосферы (оседание радионуклидов на землю).

Из графика видно, что основной вклад в радиоактивность воздуха в районе расположения Кольской АЭС за рассматриваемый период времени дали наземные ядерные взрывы 1977-1978 гг., конца 1980 гг. проводимые в Китайской Народной Республике и авария на Чернобыльской АЭС, произошедшая в 1986 г. Этим годам на графике соответствуют характерные пики значений объемной активности приземного слоя воздуха.

На сегодняшний день объемная активность приземного слоя воздуха находится на минимальном уровне и составляет порядка $1 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³.

Динамика среднегодовой плотности атмосферных выпадений за годы эксплуатации АЭС (рис. 2) в целом повторяет картину для приземного слоя воздуха (рис. 1) и также характеризуется пиками, соответствующими годам проведения испытаний ядерного оружия в Китае и аварии на Чернобыльской АЭС. Это, в свою очередь, указывает на непосредственную связь между плотностью атмосферных выпадений и объемной активностью приземного слоя воздуха, которая хорошо просматривается на рисунках.

Для выявления наличия связи между рассматриваемыми значениями по разным точкам отбора проб проводился корреляционный анализ полученных результатов. Для этого использовался линейный коэффициент корреляции (r), в качестве проверки которого применяли графический метод (построение точечного графика в прямоугольных координатах) и t -критерий Стьюдента.

При проведении корреляционного анализа было определено, что общая бета-активность приземного слоя воздуха характеризуется высокой степенью взаимосвязи для всех точек отбора проб при сравнении их между собой (линейный коэффициент корреляции равен 0,9). Это позволяет говорить о достоверности наблюдаемых зависимостей между рассматриваемыми точками.

Построение графиков проверки вида и формы распределения показало наличие линейного характера по всем точкам отбора проб. Это подтверждается также и при использовании коэффициента Стьюдента с уровнем значимости 0,05 в качестве коэффициента проверки достоверности связи (рис. 3).

Корреляционный анализ результатов общей бета-активности атмосферных выпадений показал наличие высокой степени взаимосвязи между всеми рассматриваемыми точками контроля ($|r| = 0,8-0,9$). Построение графиков и использование коэффициента Стьюдента с уровнем значимости 0,05 полностью подтвердило эти данные (рис. 4).

Помимо этого было проведено сравнение динамики общей бета-активности приземного слоя воздуха и атмосферных выпадений между собой. Статистический анализ данных общей бета-активности показал наличие высокой степени взаимосвязи при сравнении между собой аналогичных точек отбора проб приземного слоя воздуха и атмосферных выпадений (рис. 5). Это подтверждается при построении графиков и при использовании коэффициента Стьюдента с уровнем значимости 0,05 ($|r| = 0,6-0,9$).

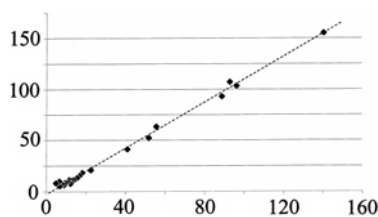


Рис. 3. Сравнение значений общей бета-активности приземного слоя воздуха между территорией КАЭС и п. Зашеек, 10^{-5} Бк/м³ ($n = 30$, $|r| = 0,997$ при $\alpha = 0,05$)

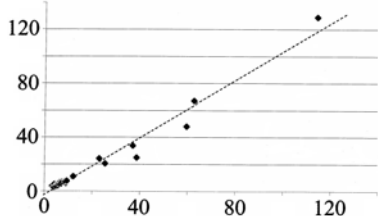


Рис. 4. Сравнение значений общей бета-активности атмосферных выпадений между территорией КАЭС и СЗЗ, Бк/м² мес ($n = 30$, $|r| = 0,987$ при $\alpha = 0,05$)

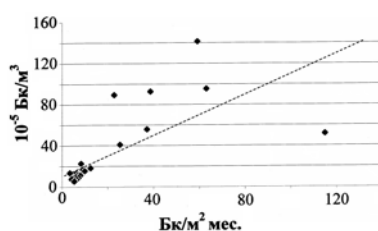


Рис. 5. Сравнение значений общей бета-активности в атмосферных выпадениях (Бк/м² мес.) и в атмосферном воздухе (10^{-5} Бк/м³) на территории КАЭС ($n = 30$, $|r| = 0,706$ при $\alpha = 0,05$)

Вышеприведенные результаты свидетельствуют о том, что активность приземного слоя воздуха и атмосферных выпадений на различном удалении от Кольской АЭС за все время ее эксплуатации изменяется аналогичным образом и определяется радионуклидами глобального происхождения, а вклад самой станции незначителен.

4. Выводы

Результаты радиационного контроля объемной активности приземного слоя воздуха и атмосферных выпадений в районе расположения Кольской АЭС, показали, что:

- Радиационный контроль, существующий на Кольской АЭС, полностью обеспечивает оценку состояния окружающей среды и динамики контролируемых параметров.
- Кольская АЭС не оказывает существенного воздействия на окружающую природную среду, что подтверждается при использовании современной высокочувствительной техники измерений и отборе проб большого объема.
- Радиационная обстановка на различном удалении от Кольской АЭС определяется радионуклидами естественного и космогенного происхождения, а также радионуклидами глобального загрязнения атмосферы продуктами деления, образовавшимися при испытаниях ядерного оружия, и продуктами аварийного выброса Чернобыльской АЭС.
- Объемная активность приземного слоя воздуха и атмосферных выпадений в районе расположения Кольской АЭС не превышает установленных допустимых пределов и имеет устойчивую во времени тенденцию к снижению, что свидетельствует об отсутствии негативного влияния Кольской АЭС на окружающую природную среду.
- Изменения объемной активности приземного слоя воздуха и атмосферных выпадений аналогичны по точкам отбора проб и при сравнении рассматриваемых сред между собой, что подтверждается статистически.

Это, в свою очередь, позволяет сделать вывод о том, что в режиме нормальной эксплуатации выбросы и сбросы КАЭС не приводят к обнаруживаемым изменениям естественного радиационного фона.

Литература

- Ветров В.А.** Отчет по хоздоговорной теме "Разработка системы долговременного радиологического мониторинга в районе Кольской АЭС", М., 20 с., 1990.
- Купецкая К.Н.** Климатическая характеристика отдельных районов Кольского полуострова. Озера различных ландшафтов Кольского полуострова. Л., с.111-125, 1974.
- Отчеты о радиационной обстановке в районе расположения Кольской АЭС за 1972-2005 гг.
- Система радиационного контроля. Методика радиометрического анализа проб внешней среды. № 0-06-33ИП, 25 с., 2004.