

## Некоторые аспекты радиэкологического мониторинга объектов окружающей природной среды в районе размещения КАЭС

М.Е. Семенихина

*Биологический факультет МГТУ, кафедра биоэкологии*

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы накопления радионуклидов в таких объектах окружающей природной среды, как вода природных водоемов, родники, хвоя сосны и ели, листья березы и осины, ягель. Дана оценка деятельности Кольской атомной электростанции и ее вклад в современное экологическое состояние Мурманской области.

**Abstract.** Some questions of accumulation of radionuclids in waters, springs, needles, leaves and lichenes have been considered in the paper. An estimation of KNPP's activity and its contribution to the modern ecological condition of the Murmansk region has been given.

### 1. Введение

Арктический регион России в силу своих географических и социо-экономических особенностей в большой степени подвергается радиоактивному загрязнению. Во многом это связано с большим количеством военных объектов и расположением военно-морских атомных баз. В настоящее время некоторые территории Арктического региона России относятся к числу экологически неблагоприятных. Особое внимание следует обратить на радиационную обстановку, которая сложилась на Кольском полуострове. Кольская атомная электростанция (КАЭС) сегодня является основным поставщиком электроэнергии для Мурманской области и Карелии. Но вместе с тем необходимо учитывать КАЭС как потенциальный объект радиационной опасности и для проживающего в городе Полярные Зори населения, и для окружающей природной среды как в районе размещения станции, и для всей области в целом. Поэтому охране окружающей среды на КАЭС уделяется большое внимание, и осуществление радиэкологического мониторинга представляется наиболее важной задачей.

В сложившихся условиях особую роль приобретает проблема накопления радионуклидов в окружающей среде, преимущественно в водной среде и растительности.

Природные воды представляют собой достаточно сложную систему, содержащую в себе разнообразные неорганические и органические соединения, растворенные газы. Естественная радиоактивность вод обусловлена присутствием радона-222 и 220, радия-226, 228 и 224, урана-234 и 238, калия-40, полония-210 и свинца-210. Как правило, фоновая бета-активность природных вод на 50-90 % обусловлена калием-40. Основной вклад в суммарную альфа-активность вносят изотопы урана-234 и 238, радия-226 и 224 и тория-228.

Почва – важнейший компонент биогеоценоза, и именно ее свойства определяют скорость и способы включения радионуклидов в биогеохимические циклы. Радиоизотопы, естественно присутствующие в почве, в результате обменных процессов поступают в растения. Радиоактивные изотопы, находящиеся в почвах, переходят в корневые системы растений точно так же, как и нерадиоактивные изотопы тех же элементов.

Некорневой (стеблевой) путь поступления радионуклидов в растения обычно более активный, чем корневой, хотя и протекает довольно медленно. Непосредственно в листьях и стеблях растений может задерживаться и усваиваться растением до 20-25 % осевших на них радионуклидов, при корневом поступлении в растение – в среднем 0,1-1 % радионуклидов, содержащихся в почве (*Охрана окружающей среды...*, 1990). Корневой путь поступления радионуклидов в растения, т.е. поступление радионуклидов из почвы вместе с питательными веществами, принято характеризовать коэффициентом накопления (КН) радионуклидов.

Среди растений особого внимания заслуживают лишайники. Ряд их анатомо-физиологических особенностей (многолетний характер роста, воздушный тип питания растений) обуславливает их более высокие уровни радиоактивного загрязнения по сравнению с другими видами травянистых растений (*Miettinen*, 1964). Наибольший интерес в плане накопления радионуклидов представляет ягель. Он является показательным биоиндикатором, который в полной мере отражает состояние окружающей среды.

## 2. Материал и методы

Для анализа воды на содержание в ней радионуклидов были взяты пробы воды из губ Молочная (место поступления сбросных вод АЭС) и Глубокая озера Имандра, рек Узкая и Широкая Салма. В качестве контроля была выбрана река Пиренга, куда сточные воды КАЭС не поступают. Отбор проб проводился в период 1999-2004 гг. по существующему регламенту, все пробы обрабатывались согласно необходимой методике. В июле 2004 г. было проведено комплексное исследование природной воды рек Пиренга, Широкая и Узкая Салма и Чун-озера, а также воды из родников города Полярные Зори и города Мурманска.

В июле 2004 г. проводился отбор проб из 3-х родников: в окрестностях г. Мурманска родники в районе улицы Контейнерной, на Ленинградском шоссе и в поселке Мурмаши. В городе Полярные Зори (лесная зона) – в районе Ленинградского шоссе недалеко от города и из родника на Лысой горе.

Вода измерялась на  $\beta$ -активность, а также на содержание в ней трития и углерода-14. Для измерения на гамма-спектрометре необходим был сосуд Маринелли, в который помещался 1 литр воды из каждого источника. Для измерения общей бета-активности на УМФ-1500 (установка малого фона) пробы необходимо было соответственно обработать по методике.

Помимо этого, на установке Tri-Carb было измерено содержание трития и углерода-14 в воде, взятой из рек Узкая и Широкая Салма, Чун-озера и р. Пиренга.

Отбор проб хвои сосны и ели, листьев березы и осины производился 1 раз в год в летний период. Отбор осуществлялся в 3-х точках: санитарно-защитной зоне (СЗЗ), зоне наблюдения (ЗН) и в поселке Зеленоборский. Всего отбиралось около 1 кг каждой пробы. В июле 2004 г. отбирались также листья березы и осины. Две пробы (листья березы и осины) были взяты в поселке Нивский по 0,91 кг и 1,0 кг соответственно; были отобраны листья березы (0,5 кг) на горе Лысая, а также листья березы (0,51 кг) и листья осины (0,5 кг) в самом городе Полярные Зори.

Отбор проб ягеля производился в районе реки Пиренга 2 раза в год: в мае и сентябре. Бралось по 1 пробе массой около 1,0 кг, которая затем соответствующим образом обрабатывалась по методике.

Все взятые для исследования пробы природных объектов направлялись на  $\beta$ - и/или  $\gamma$ -спектрометрические анализы. Все основные анализы были проведены на оборудовании Лаборатории охраны окружающей среды (ЛООС), являющейся структурным подразделением КАЭС.

Для проведения бета-радиометрического анализа использовались специальные "установки малого фона" УМФ-1500 и УМФ-2000, для гамма-спектрометрического анализа использовалась гамма-спектрометрическая установка "Canberra". Определение содержания трития и углерода-14 в пробах осуществлялось на установке "TRI-CARB" (США) для измерения жидких сред продуктов. Все компьютерные расчеты производились с использованием Excel.

## 3. Результаты и обсуждение

Динамика среднегодовой удельной активности воды открытых водоемов за период 1999-2004 гг. представлена в табл. 1.

Таблица 1. Среднегодовая удельная активность воды открытых водоемов за период 1999-2004 гг.

| Год отбора         | 1999                       | 2000  | 2001  | 2002  | 2003   | 2004   | 1999                        | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  |
|--------------------|----------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Место отбора пробы | Содержание цезия-137, Бк/л |       |       |       |        |        | Общая бета-активность, Бк/л |       |       |       |       |       |
| Губа Молочная      | 0,04                       | 0,03  | 0,02  | 0,017 | 0,077  | 0,0085 | 0,068                       | 0,063 | 0,05  | 0,063 | 0,052 | 0,061 |
| Губа Глубокая      | 0,019                      | 0,028 | 0,013 | 0,016 | 0,0024 | 0,0037 | 0,074                       | 0,064 | 0,05  | 0,066 | 0,059 | 0,053 |
| Узкая Салма        | 0,05                       | 0,008 | 0,006 | 0,012 | 0,002  | 0,003  | 0,07                        | 0,064 | 0,035 | 0,062 | 0,048 | 0,047 |
| Широкая Салма      | 0,03                       | 0,006 | 0,007 | 0,009 | 0,0056 | 0,0086 | 0,06                        | 0,056 | 0,04  | 0,049 | 0,051 | 0,042 |
| р. Пиренга         | 0,045                      | 0,006 | 0,006 | 0,007 | 0,002  | 0,0041 | 0,06                        | 0,055 | 0,036 | 0,066 | 0,045 | 0,052 |

Из данных таблицы видно, что, начиная с 2000 г., в воде водоемов отмечено снижение содержания цезия-137. Эта же тенденция прослеживается и для стронция и кобальта. За это же время, по данным ЛООС, произошло снижение уровня глобального радиоактивного загрязнения в окружающей среде, в связи с этим были внесены изменения в методики отбора и подготовки проб, возможно, показанное в таблице снижение связано с этим понижением. Из общей картины выделяется губа Молочная – здесь такого снижения не выявлено: более высокие значения содержания радионуклидов и общей бета-активности губы Молочной, объясняются тем, что она является отводящим каналом сбросных вод КАЭС.

НРБ-99 определяют допустимые значения по общей (суммарной)  $\beta$ -активности в 1,5-2,0 Бк/л, по  $^{137}\text{Cs}$  – в 11-12 Бк/л. Таким образом, видно, что превышения по этим показателям не наблюдается. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в воде озера Имандра определяется глобальными радиоактивными выпадениями, на фоне которых вклад Кольской АЭС мал.

Результаты исследования родниковой воды представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты исследования родниковой воды

| Местоположение родника                | Содержание <sup>3</sup> H, Бк/л | Содержание <sup>14</sup> C, Бк/л | Общая бета-активность, Бк/л |
|---------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| г. Мурманск, ул. Контейнерная         | ---                             | 34,8                             | 0,069                       |
| г. Мурманск, Ленинградское шоссе      | ---                             | 35                               | 0,035                       |
| п. Мурмаши                            | ---                             | 40,6                             | 0,057                       |
| г. Полярные Зори (лесная зона)        | ---                             | 41                               | 0,097                       |
| Лысая гора                            | ---                             | 30,4                             |                             |
| г. Полярные Зори, Ленинградское шоссе |                                 |                                  | 0,062                       |

--- – ниже порога регистрации аппаратуры.

Стоит отметить, что вода родников содержит трития ниже порога регистрации аппаратурой. Содержание углерода <sup>14</sup>C находится ниже нормы и не представляет опасности для здоровья человека. Также видно, что вода из родника в городе Полярные Зори в целом по уровню содержания углерода-14 не отличается от воды других родников, что говорит о стабильности работы КАЭС в области охраны окружающей среды. "Чистота" родников в плане накопления радионуклидов позволяет судить и о "качестве" подземных вод. Из данных таблицы видно, что общая бета-активность намного ниже установленного допустимого уровня (1 Бк/л для питьевой воды), что еще раз позволяет говорить о чистоте родниковой воды в плане содержания радионуклидов.

Проведенный гамма-спектрометрический анализ позволил зафиксировать из всех возможных нуклидов присутствие в родниковой воде только <sup>40</sup>K. Возможно, отсутствие других радионуклидов можно объяснить недостаточным для их анализа объемом воды, например, для определения цезия-137 требуется как минимум 100 литров воды (использованный нами прибор дает возможность использовать для анализа только 1 л).

Результаты измерения трития и углерода-14, проведенного на установке Tri-Carb для воды, взятой из рек Узкая и Широкая Салма, Чун-озера и р. Пиренга, представлены в табл. 4.

Таблица 4. Содержание трития и углерода-14 в воде природных водоемов

| Источник природной воды | Содержание <sup>3</sup> H, Бк/л | Содержание <sup>14</sup> C, Бк/л |
|-------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| р. Узкая Салма          | 3,4                             | 29,4                             |
| р. Широкая Салма        | 5,4                             | 31,6                             |
| Чун-озеро               | 8,6                             | 24,8                             |
| р. Пиренга              | ---                             | 34,6                             |

Среднегодовая удельная активность хвои сосны и ели за 2004 год представлена в табл. 5. Таблица показывает, что содержание цезия-137 в хвое ели и сосны не отличается в широких пределах и составляет в среднем по <sup>137</sup>Cs 9,6 Бк/кг, а по общей бета-активности – 89 Бк/кг. Но в целом значительных различий с показателями предыдущих лет нет, что свидетельствует о стабильности работы КАЭС.

Таблица 5. Среднегодовая удельная активность хвои ели и сосны

| Район отбора проб | Общая бета-активность, Бк/кг | Cs-137, Бк/кг |
|-------------------|------------------------------|---------------|
| Ель               |                              |               |
| СЗЗ*              | 93,57                        | 12,8          |
| ЗН (гора Лысая)*  | 90,85                        | 9,2           |
| п. Зеленоборский  | 125,24                       | 6,91          |
| Сосна             |                              |               |
| СЗЗ               | 81,0                         | 7,7           |
| ЗН (г. Лысая)     | 88,0                         | 19,8          |
| п. Зеленоборский  | 57,1                         | 1,33          |

СЗЗ – санитарно-защитная зона, ЗН – зона наблюдения.

Помимо этого, летом 2004 г. были отобраны листья березы в 3-х точках и осины – в 2-х точках: на г. Лысой, в поселке Нивском и в г. Полярные Зори. Результаты измерения общей бета-активности листьев осины и березы в 2004 г. представлены в табл. 6.

Таким образом, видно, что листья и осины, и березы накапливают в себе радионуклиды примерно одинаково. Заметно также, что, например, в п. Нивском наблюдается превышение общей β-активности в листьях по сравнению с г. Полярные Зори. Но этот факт не имеет какого-либо конкретного объяснения, т.к. по литературным данным известно, что поступление радионуклидов в растения происходит несколькими путями. Возможно также, что имеет место процесс поступления радионуклидов с осадками. В целом же общая бета-активность колеблется в пределах от 115,15 до 144,84 Бк/кг, причем эти значения несколько превышают показатели у хвойных деревьев.

Таблица 6. Общая бета-активность листьев

| Место и дата отбора пробы    | Масса пробы, кг | Общая β-активность, Бк/кг |
|------------------------------|-----------------|---------------------------|
| Береза                       |                 |                           |
| 15.07.2004, Лысяя гора       | 0,5             | 115,15                    |
| 16.07.2004, п. Нивский       | 0,96            | 144,84                    |
| 25.07.2004, г. Полярные Зори | 0,51            | 126,86                    |
| Осина                        |                 |                           |
| 16.07.2004, п. Нивский       | 0,9             | 136,47                    |
| 26.07.2004, г. Полярные Зори | 0,5             | 118,5                     |

Как уже было отмечено выше, ягель является показательным биоиндикатором состояния среды в плане накопления радионуклидов. В табл. 7 приведены результаты бета- и гамма-спектрометрических анализов ягеля.

Таблица 7. Результаты бета- и гамма-спектрометрических анализов ягеля из р-на р. Пиренга

| Дата отбора проб | Масса пробы, кг | Суммарная бета-активность, Бк/кг | Cs-137, Бк/кг | Cs-134, Бк/кг | Sr-90, Бк/кг |
|------------------|-----------------|----------------------------------|---------------|---------------|--------------|
| 1999             | 1,0             | 309                              | 84,2          | ---           | 5,7          |
| 2000             | 1,0             | 158                              | 26            | ---           | 3,1          |
| 2001             | 1,0             | 180                              | ---           | ---           | ---          |
| 14.06.2002       | 1,470           | 200,0                            | 65,3          | 0,27          | ---          |
| 26.09.2002       | 1,100           | 132,3                            | 66,7          | ---           | ---          |
| 08.06.2003       | 1,0             | 128,96                           | 90,0          | ---           | 2,0          |
| 27.10.2003       | 1,16            | 90,08                            | 34,5          | ---           | 0,86         |
| 19.05.2004       | 1,0             | 110,32                           | 34,0          | ---           | ---          |
| 19.10.2004       | 1,0             | 61,42                            |               |               |              |

--- – ниже порога регистрации аппаратуры (или нет данных)

По данным таблицы видно, что ягель накапливает в себе такие радионуклиды как цезий-137, цезий-134, стронций-90. Причем, исходя также из литературных данных, больше всего происходит накопление именно цезия-137, т.к. именно этот радионуклид обладает большой способностью к аккумуляции и накоплению в объектах окружающей среды. Содержание же других радионуклидов сведено к минимуму: цезия-134 в пробах практически не обнаруживается (кроме 2002 г.), содержание стронция-90 колеблется в пределах от 0,86 до 5,7 за весь период. Наибольшие значения по содержанию радионуклидов обычно наблюдаются в весенний период, что, вероятнее всего, связано с процессами таяния снега и выпадения осадков.

#### 4. Заключение

Таким образом, видно, что содержание радионуклидов (цезия-137 и стронция-90) в таких объектах окружающей среды, как вода природных водоемов и родников, хвое сосны и ели, листьях березы и осины, ягелю не выходит за рамки существующих нормативов.

В целом говорить о какой-либо неблагоприятной радиоэкологической обстановке в районе расположения КАЭС не приходится, что свидетельствует о стабильности работы станции в области охраны окружающей среды. Но вместе с тем, необходимо постоянно осуществлять радиоэкологический мониторинг объектов окружающей природной среды, помня о том, что атомные станции – потенциальные источники радиационной опасности и что от работы АЭС зависит как состояние окружающей среды, так и здоровье человека.

#### Литература

- Miettinen J.K.** Radioactive food chains in arctic regions. In: *Proceedings of the Third United Nations Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy. Geneva, v.14, p.122, 1964.*
- Нормы радиационной безопасности НРБ-99. *Госкомсанэпиднадзор*, 116 с., 1999.
- Охрана окружающей среды при эксплуатации АЭС. Под ред. В.В. Бадаева, Ю.А. Егорова, С.В. Казакова. М., *Энергоатомиздат*, 224 с., 1990.