



Биолог. журн. Армении, 2 (66), 2014

## РЕАКЦИЯ МИКРОБИОТЫ ПОЧВЫ, ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К АРМЯНСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ, НА ВОЗДЕЙСТВИЕ АЭС

Г.Э. ХАЧАТРЯН<sup>1</sup>, Н.И. МКРТЧЯН<sup>1</sup>, Н.В. СИМОНЯН<sup>1</sup>,  
В.Б. АРАКЕЛЯН<sup>2</sup>, Շ.Մ. ԱՅԱԿՅԱՆ, К.И. ПЮСКЮЛЯН<sup>3</sup>, В.А. АТОЯН<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ереванский физический институт,

<sup>2</sup>Ереванский госуниверситет,

<sup>3</sup>АОЗТ “Армянская АЭС”, г. Мецмор  
garnik@mail.yerphi.am

На установках с применением NaI и чистого германия с соответствующими программными поддержками было исследовано содержание <sup>137</sup>Cs в почве в районе расположения Армянской АЭС вдоль преимущественного направления движения ветров. Показано, что на кривой распределения радионуклидов существует максимум с подветренной стороны, указывающий на вклад АЭС в удельное содержание <sup>137</sup>Cs приблизительно на 20-25% от фона, обусловленного глобальными выпадениями. Исследование общего количества бактерий, выполненное в образцах почвы традиционными методами микробиологии, показало, что с наветренной стороны от АЭС не зарегистрированы сколько-нибудь значительные вариации численности бактерий. С подветренной стороны от АЭС обнаружено статистически достоверное увеличение общей численности микроорганизмов, причем максимальная их численность выявлена в точке, соответствующей максимуму на кривой распределения радионуклидов.

*Армянская АЭС – содержание <sup>137</sup>Cs в почве – общая численность бактерий*

Օգտագործելով NaI և մաքուր գերմանիումից դետեկտորներ պարունակող և համապատասխան ծրագրային փաթեթներով ապահովված սարքեր հետազոտվել է <sup>137</sup>Cs պարունակությունը Հայաստանի ատոմային էլեկտրակայանին (ՅԱԷԿ) հարող տարածքներում հողմերի գերիշխող ուղղությամբ: Ցույց է տրված, որ ռադիոնուկլիդների բաշխումն արտացոլող կորի վրա հողմահակառակ տիրույթում գոյություն ունի մաքսիմում, որը կազմում է զլոբալ աղտոտումներով պայմանավորված ֆոնի 20-ից 25%-ը, ինչը, փաստորեն, ՅԱԷԿ-ի ազդեցության վկայությունն է: Հողի նմուշներում ավանդական մանրէաբանության մեթոդներով կատարված բակտերիաների ընդհանուր քանակի գնահատականը ցույց է տվել, որ հողմասկիզբ տիրույթում բակտերիաների քանակի որևէ նշանակալից տատանում չի ֆիքսվել, մինչդեռ հողմահակառակ տիրույթում առկա է վիճակագրականորեն ստույգ աճ, որի մաքսիմումը համընկնում է ռադիոնուկլիդի բախշման կորի մաքսիմումի հետ:

*Հայկական ԱԷԿ – <sup>137</sup>Cs պարունակությունը հողում – բակտերիաների ընդհանուր քանակություն*

The content of <sup>137</sup>Cs in soil in the region of Armenian Nuclear Power Plant (NPP) location along a primary direction of winds movement has been investigated by the use of detectors with NaI and pure germanium, supported with appropriate software. It is shown, that on the curve of <sup>137</sup>Cs distribution there is a maximum alee, specifying the contribution from NPP that makes up approxima-

tely 20-25 % of the background caused by global fallouts. Investigation of total amount of bacteria in samples of the soil, executed by traditional methods of microbiology, has shown that from the windward side of NPP considerable variations of number of bacteria were not recorded. Alee from the NPP a statistically authentic increase in total number of microorganisms was revealed, and their maximum number was revealed at the point which corresponds to maximum on the  $^{137}\text{Cs}$  distribution curve.

*Armenian NPP – content of  $^{137}\text{Cs}$  in the soil – total amount of bacteria*

Известно, что вклад атомных электростанций (АЭС) в мировое производство электроэнергии значителен и растет год от года. Например, доля Армянской АЭС (ААЭС) в энергообеспечении страны составляет почти 40%. Правомерен вопрос о возможном воздействии АЭС на биообъекты окружающей среды, куда может попасть цезий – основной компонент выбросов. Кроме АЭС, существуют и другие источники выбросов цезия в окружающую среду, например, в первую очередь, предприятия по изготовлению и переработке ядерного топлива. Это осложняет проблему выявления непосредственного воздействия АЭС на окружающую среду на фоне глобальных выпадений.

Величина радиоактивных выбросов в окружающую среду зависит как от технологических особенностей предприятий, задействованных в ядерной энергетике, так и от систем очистки. Следует, однако, отметить, что вклад выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду от данной АЭС в радиационное загрязнение окружающей среды, прилегающей к АЭС, существенно ниже, чем от глобальных выпадений [8]. По этой причине оценка влияния АЭС на радиационное загрязнение окружающей среды на фоне глобальных выпадений представляет довольно трудную задачу. Для ее решения нами был разработан подход, позволяющий оценить вклад радиоактивных выпадений от АЭС на фоне глобальных выпадений.

Суть этого подхода заключается в следующем.

Поскольку радиоактивные загрязнения от глобальных выпадений носят случайный характер, при оценке радиационной обстановки на территории, прилегающей к атомной станции, с одинаковыми метеорологическими условиями и близкими почвенными характеристиками должно наблюдаться примерно одинаковое распределение радионуклидов по исследуемой площади. Наличие любого отклонения, например, вдоль направления розы ветров, будет свидетельствовать о наличии выбросов атомной станцией. Известно, что возможное воздействие АЭС на окружающую среду сказывается на расстоянии до 10 км [1]. Основываясь на сказанном, мы выбрали территорию вокруг Армянской АЭС радиусом до 17 км, определили для нее розу ветров [2], т.е. господствующее направление ветров, выбрали районы отбора проб. Таким образом, на этой территории единственным фактором, который может повлиять на неравномерность распределения радионуклидов, выбрасываемых Армянской АЭС (ААЭС), будет роза ветров. Следовательно, задача оценки вклада ААЭС в радиационное загрязнение окружающей среды на фоне глобальных выпадений сводилась к двум подзадачам:

- выявлению корреляции в динамике изменения концентрации цезия в почве от расстояния до АЭС вдоль господствующего направления ветра;
- выявлению такой же корреляции для соответствующего биологического объекта.

Вторая подзадача сводилась, прежде всего, к выбору подходящего биообъекта окружающей среды и обнаружению его реакции на повышенную концент-

рацию загрязняющего фактора, явившегося следствием выбросов радиоактивных аэрозолей. И этот биообъект должен быть достаточно чувствительным к низким дозам радиации. Таким объектом может служить сообщество почвенных микроорганизмов, поскольку известно, что малые дозы радиации могут оказывать стимулирующее действие на биологические объекты [2, 4, 12], а микроорганизмы являются хорошими модельными объектами.

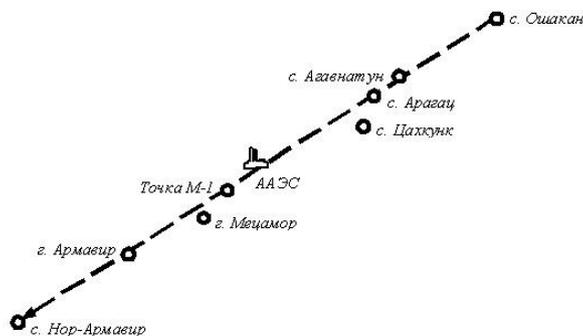
**Материал и методика.** Оценка концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в почве. Измерения концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в почве проводились на низкофоновой гамма спектрометрической установке с детектором NaI в геометрии маринелли с программным обеспечением "PROGRESS.300". Кроме того, использовалась установка с детектором из чистого германия и программной поддержкой GENIE (производство фирмы CANBERRA). Пробы отбирались в соответствии с рекомендациями, изложенными в работе [6, 7].

Масса каждой пробы почвы составляла от 1200 до 1400 г, в зависимости от типа почвы и степени ее увлажнения. Величина минимальной детектируемой активности установки равна 2 Бк/кг. Удельное содержание  $^{137}\text{Cs}$  в каждой пробе почвы определялось серией трехкратных измерений. Гамма спектрометрический анализ проб показал, что почва содержит естественные радионуклиды  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$ , а также  $^{137}\text{Cs}$ . Следует отметить, что  $^{137}\text{Cs}$  является основным дозообразующим фактором в выбросах АЭС, т.к. период его полураспада 30,17 лет и, как уже указывалось, он хорошо аккумулируется в объектах окружающей среды [8].

Поступление  $^{137}\text{Cs}$  в окружающую среду обусловлено двумя факторами:

- техногенным – глобальные выпадения и выбросы АЭС;
- естественным – результат деления природного U-238 и U-235, вклад которого, однако, на 3-4 порядка меньше техногенного.

В качестве точек для отбора проб почвы были использованы точки наблюдения, расположенные вдоль розы ветров от ААЭС и на различных расстояниях от станции: от 800 м до 17 км. Наряду с этими точками, были выбраны фоновые точки контроля. Пробы почв были отобраны из девяти пунктов, расположенных примерно на одной линии, проходящей по розе ветров через пункт, где расположена ААЭС (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема размещения основных точек мониторинга почвы. Стрелкой указано преимущественное (юго-западное) направление ветров на промплощадке АЭС.

Отбор проб почв для физических измерений производился с помощью специальной стальной рамки размерами 10 на 15 см и высотой 5 см. Каждая проба состояла из пяти рамок почвы, отобранных методом конверта. Выбирались почвы, лишенные растительности и, по возможности, одинаковые по типу. В основном это были бурые полупустынные. Перед измерением пробы почв в соответствии с принятыми методиками высушивались, размельчались, затем взвешивались. В измерительную камеру помещалась подготовленная проба почвы массой от 700 до 750 г, время измерения составляло 3-5 ч.

*Оценка численности бактериального населения почвы в точках наблюдения.* Наряду с пробами для физических измерений, брались пробы и для микробиологических исследований. В этих случаях отбор проб (также методом конверта) производили с помощью специальной стальной трубки диаметром 10 см и высотой 5 см. При этом отбиралось около 300 г почвы с каждой точки (1500 г с пункта наблюдения), что вполне удовлетворяло микробиологическим требованиям.

Численность бактерий оценивали, основываясь на способности бактериальных клеток, перешедших из почвы в почвенную вытяжку, образовывать колонии, видимые невооруженным глазом.

Для этого прежде всего необходимо было получить почвенную вытяжку и обеспечить в достаточной степени десорбцию микробных клеток с поверхности микрочастиц почвы. Образцы почвы из каждого пункта наблюдения тщательно размельчались, перемешивались, а затем смешанный образец просеивали через сито с размером отверстий 0,6 мм. Определяли влажность образца, для чего определенную почвенную массу прогревали в течение нескольких часов в сушильном шкафу при температуре 105<sup>0</sup>С до достижения постоянного веса. После этого навеску анализируемой почвы, эквивалентную 1 г сухой почвы, растирали в течение 5 мин в стерильной фаянсовой чашке до достижения однородной пастообразной массы, увлажнив предварительно образец стерильной водопроводной водой. Полученную массу постепенным добавлением воды ресуспендировали в однородную суспензию конечным объемом 100 мл и тщательно встряхивали в течение пяти минут. После этого полученную взвесь оставляли на 30 сек для оседания крупных частиц и из надосадочной жидкости отбирали 0,1 мл взвеси. Из полученной взвеси – почвенной вытяжки, фактически являющейся исходной клеточной суспензией, стандартным путем получали различные клеточные разведения, из которых в дальнейшем, после посева на чашки Петри, выбирались разведения, удобные для визуального анализа – подсчета числа образовавшихся колоний.

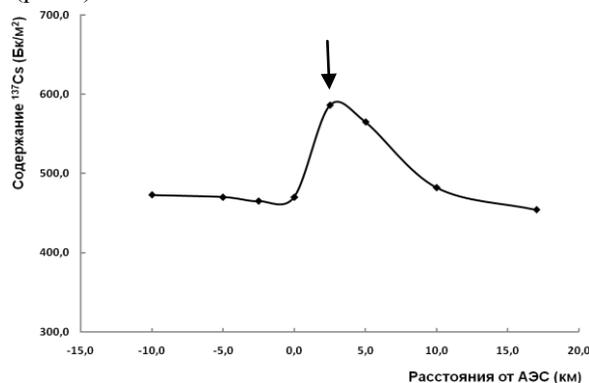
Известно, что определить таким способом абсолютное количество жизнеспособных клеток микроорганизмов на единицу веса или площади почвы невозможно по многим причинам [5]. Однако, поскольку необходимые нам данные сводились фактически к сравнению относительных величин, мы посчитали этот путь удовлетворительным.

Для обеспечения большей достоверности получаемых результатов проводили параллельные высевы на чашки Петри из исходных пробирок с выбранными разведениями клеточных суспензий, а также повторяли эксперименты на каждой почвенной пробе не менее трех раз. Для удобства визуального анализа посев почвенных вытяжек определенных разведений производили на полноценные питательные среды, с последующей инкубацией в термостате при температурах от 25<sup>0</sup>С до 28<sup>0</sup>С. В качестве таких сред использовали мясо-пептонный агар (МПА), сусло агар, смесь сусло агара и МПА в соотношении 1:1, что позволило провести визуальную идентификацию доминирующих групп микробного населения почв.

***Результаты и обсуждение.*** Известно, что при рассеянии радиоактивных аэрозолей, выброшенных в вентиляционную трубу, их концентрация на уровне земли минимальна, и увеличивается по мере удаления от трубы, достигая максимума на определенном расстоянии, зависящем от метеорологических условий и состояния газо-аэрозольной смеси (точка М-1 на рис.1), и далее опять уменьшается [11]. В точке М-1 ожидается максимальное содержание <sup>137</sup>Cs в выпадениях, а, следовательно, и его содержание в почве, поскольку в этой точке на глобальные выпадения, равномерно распределяемые по всей зоне наблюдения, накладывалось максимальное воздействие выбросов с атомной станции.

Нами с учетом реальных метеорологических условий [8], рельефа местности в районе размещения ААЭС и технологических характеристик выбрасываемой газо-аэрозольной смеси было рассчитано расстояние от вентиляционной трубы до точки максимума выпадения радионуклидов (точка М-1 на рис.1). Расчеты проводились по методике, указанной в работе [9, 11].

На рис. 2 представлены значения концентраций  $^{137}\text{Cs}$  в пробах почвы в точках наблюдения (рис.1).



**Рис. 2.** Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в верхнем пятисантиметровом слое почвы в районе расположения Армянской АЭС [Бк/м<sup>2</sup>]. Стрелкой указана точка М. Опущена точка, соответствующая населенному пункту Ошакан (первая в ряду слева), с аномально высоким содержанием  $^{137}\text{Cs}$  в почве.

Как видно из рис.2, действительно, в точке М-1 концентрация  $^{137}\text{Cs}$  максимальна и, далее, по мере удаления от станции, она убывает. Показателен сам характер графика, фактически подтверждающий правомерность предположения о влиянии розы ветров – резкий подъем и плавный спад. В частности, на расстоянии 10 км от АЭС с наветренной стороны (село Агавнатун, рис. 1) удельное содержание  $^{137}\text{Cs}$  в почве практически соответствует его содержанию непосредственно в районе промплощадки с наветренной стороны, и приблизительно в 1,2 раза меньше, чем в точке М-1. Содержание цезия в почве на этом участке обусловлено только глобальными выпадениями, т. к. он расположен с наветренной стороны и на достаточном удалении от АЭС, и по своей величине близко к фоновым значениям. Следовательно, разница между величинами концентраций цезия в этих точках обусловлена воздействием выбросов АЭС. Далее, по мере удаления от АЭС, с подветренной стороны концентрация цезия уменьшается, приближаясь к фоновому значению.

Согласно данным, полученным при анализе проб почв, отобранных в точках наблюдения, расположенных на расстоянии более чем 10 км от АЭС (т. е. точках, где воздействие станции не должно ощущаться), фоновое содержание  $^{137}\text{Cs}$  равно примерно 496 Бк/м<sup>2</sup>.

Исходя из всего вышеизложенного, следует, что в зоне радиусом 10 км в направлении максимальной повторяемости ветров в точке наблюдения М-1 зафиксирован вклад АЭС в удельное содержание  $^{137}\text{Cs}$  в почве, равный примерно 124-155 Бк/м<sup>2</sup>, что составляет приблизительно 20-25% от фона, обусловленного глобальными выпадениями.

Таким образом, мы вправе полагать, что первая подзадача решена, и вышеупомянутый подход в принципе оправдал себя. Следующий шаг предполагал исследование аналогичной корреляции по биоиндикации. Реализация этой подзадачи заключалась в подсчете общего количества микроорганизмов, выделенных из точек наблюдения. Поскольку в окультуренных почвах баланс микроорганизмов в микробном сообществе всегда нарушается, образцы почвы для исследования брались с целинных земель.

Для обеспечения статистической достоверности получаемых данных из каждого района пробы брались трижды.

Было определено общее количество бактерий в образцах почвы, взятых с точек наблюдения, расположенных вдоль направлений на северо-восток (наветренная сторона) и юго-запад (подветренная сторона) от Армянской АЭС. Исследования показали, что с наветренной стороны от АЭС не зарегистрированы сколько-нибудь значительные вариации интегральных характеристик численности бактерий. С подветренной же стороны от АЭС обнаружено статистически достоверное увеличение численности микроорганизмов, причем их максимальная численность выявлена в точках с максимальными концентрациями  $^{137}\text{Cs}$  (точки 6 и 7), что может служить подтверждением предположения о стимуляции численности микробного населения малыми дозами. Эти данные представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Данные по количественному содержанию микроорганизмов в 1 г сухой почвы по направлению действия розы ветров (точность метода 5-10%).

№ образца	Название района взятия пробы	Расстояние от АЭС (км)	Кол-во микроорганизмов в 1 г сухой почвы, ( $\times 10^7$ )
1	Ошакан	17	1,34
2	Агавнатун	10	2,30
3	Арагац	5	2,29
4	Цахкунк	2,5	2,39
5	Непосредственно у АЭС	0	2,39
6	Точка М-1	2,5	2,63
7	Мецамор	5	2,71
8	Мргашат	10	2,51
9	Нор-Армавир	17	2,33

Из табл.1 видно, что с подветренной от АЭС стороны в образцах почвы наблюдается увеличение общей численности бактерий в участках, удаленных от АЭС на расстояние 2,5 и 5 км. Далее, с удалением от АЭС, численность бактерий уменьшается, и на расстоянии 17 км приближается к уровню численности бактерий непосредственно около АЭС с наветренной стороны. Из сопоставления результатов табл.1 и рис. 2 видно, что вблизи точки М-1 наблюдается максимальное увеличение количества микроорганизмов в почве. Для полной визуализации выявленной картины было проведено определение общего количества бактерий также на участках, выбранных нами в качестве контрольных. При этом исходили из следующего: с одной стороны участки должны быть достаточно удалены от АЭС, с другой – как можно меньше отличаться от участков мониторинга в 30-километровой зоне вокруг АЭС по таким параметрам как тип почвы, ее целинность или окультуренность, рельеф, характеристика растительного покрова и т.д. Контрольные пробы брались из двух участков, расположенных на расстоянии 6 и 7 км от г. Веди по направлению вдоль русла реки Веди между селами Даштакар и Урцадзор. Указанные точки располагаются на расстоянии примерно 57 км от АЭС и в стороне от направления розы ветров. Ниже приведена табл.2 с данными по количественному содержанию микроорганизмов в 1 г сухой почвы контрольных участков.

**Таблица 2.** Содержание бактерий в почвах контрольных участков. Состав анализируемого образца смешанный

№ образца	Название района взятия пробы	Содержание $^{137}\text{Cs}$ в верхнем пяти сантиметровом слое почвы ( $\text{Бк}/\text{м}^2$ )	Кол-во бактерий в 1 г сухой почвы, ( $\times 10^7$ )	Среднее кол-во бактерий в 1 г сухой почвы по участкам 1 и 2 ( $\times 10^7$ )
1	6 км от г. Веди	490	2,39	2,37
2	7 км от г. Веди	502	2,36	

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы: проведен мониторинг содержания  $^{137}\text{Cs}$  в почве в районе расположения Армянской АЭС вдоль преимущественного направления действия ветров. Показано, что на кривой распределения  $^{137}\text{Cs}$  существует максимум на расстоянии 2,5 км от АЭС с подветренной стороны. Вклад АЭС в удельное содержание  $^{137}\text{Cs}$  в почве равен 124-155 Бк/м<sup>2</sup>, что составляет приблизительно 20-25% от фона, обусловленного глобальными выпадениями.

Было определено общее количество бактерий в образцах почвы, взятых в районе расположения Армянской АЭС вдоль преимущественного направления действия ветров. Исследования показали, что с наветренной от АЭС стороны не зарегистрированы сколько-нибудь значительные вариации интегральных характеристик численности бактерий. С подветренной стороны от АЭС обнаружено статистически достоверное увеличение общей численности микроорганизмов, причем максимальная их численность выявлена в точке на расстоянии 2,5 км от АЭС, которая соответствует максимальной концентрации  $^{137}\text{Cs}$ , что может служить подтверждением предположения о стимуляции численности микробного населения малыми дозами.

*Работа выполнена в рамках Проекта МНТЦ А-773. Авторы выражают свою благодарность руководству Центра.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ильин Л.А., Павловский О.А. Ожидаемые значения дозовых нагрузок на население СССР при реализации планов развития атомной энергетики СССР. Обеспечение радиационной безопасности при эксплуатации АЭС. М., Энергоатомиздат. Книга 1-я. с. 69-79. 1983.
2. Кудряшов Ю.Б. Радиационная биофизика. М., МГУ, с. 33, 2004.
3. Кузин А.М. Роль природного радиоактивного фона и вторичного биогенного излучения в явлении жизни. М., Наука, 80 с. 2002.
4. Кузин А.М. Особенности механизма действия атомной радиации на биоту в малых, благоприятных для нее дозах. Препринт НЦБИ АН СССР. Пушино. с.19-23, 1989.
5. Мейнелл Дж., Мейнелл Э. Экспериментальная микробиология. М., Мир. с. 12-13, 27-30. 1967.
6. Методические рекомендации по санитарному надзору за содержанием радиоактивных веществ в объектах окружающей среды. М., МЗ СССР, с. 336. 1980.
7. Методы почвенной микробиологии и биохимии. Под ред. Д.Г.Звягинцева. М., МГУ, с. 7-176, 1991.
8. Моисеев А.А. Цезий-<sup>137</sup>, окружающая среда, человек. М., Энергоатомиздат. 144 с. 1990.
9. Нетков Т.Н., Златанова Р.И. Радиационная характеристика окружающей среды вокруг Козлодуйской АЭС, обусловленная цезием-<sup>137</sup> и стронцием-<sup>90</sup>. Обеспечение радиационной безопасности при эксплуатации АЭС. М.: Энергоатомиздат. Книга 5. с. 90-96, 1984.
10. Отчет Армянской АЭС "Характеристики района расположения Армянской АЭС". Мецамор. 45 с., 2002.
11. Теверовский Е.Н., Артемова Н.Е., Бондарев А.А. и др. Допустимые выбросы радиоактивных и химических веществ в атмосферу. М., Энергоатомиздат. с. 240, 1985.
12. Luckey T.D. Radiation Hormesis. Boca Raton: CRC Press. p. 22-41, 1991.

*Поступила 10.01.2014*