

УДК [502.057+581.5]:546.81

М. Г. Герменчук¹, А. И. Позднякова²¹канд. техн. наук, доц.,

директор Центра по ядерной и радиационной безопасности

Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь

²аспирант 3-го года обучения каф. экологического мониторинга

Международного государственного института имени А. Д. Сахарова

Белорусского государственного университета

e-mail: 1margermen@gmail.com; 2anastacia.pazdniakova@gmail.com**РЕЗУЛЬТАТЫ ФОНОВОГО МОНИТОРИНГА ПОЧВ
В ЗОНЕ НАБЛЮДЕНИЯ БЕЛОРУССКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

Основной экологической задачей перед пуском в эксплуатацию любого промышленного объекта является создание сети экологического мониторинга. Т. к. подобных радиационно-экологически опасных объектов в Республике Беларусь ранее не было, в зоне воздействия станции создана система комплексного мониторинга, которая позволяет наблюдать за изменениями экосистемы в динамике и оценивать негативную нагрузку на каждый компонент в системе в связи с другими. Как правило, при оценке экологической обстановки вокруг атомной электростанции основное внимание уделяется воздействию радиоактивных выбросов и сбросов радиационно опасного объекта. Однако атомная электростанция, как и любой промышленный объект, и во время строительства, и во время эксплуатации оказывает воздействие нерадиационного характера. Статья содержит результаты изучения и оценки такого воздействия на почвы в зоне наблюдения Белорусской АЭС на этапе ее строительства.

Введение

Строительство атомной станции было обусловлено такими ее достоинствами, как независимость от внешних источников топлива и относительная экологическая чистота. Тем не менее атомная станция станет серьезной нагрузкой и окажет воздействие на все компоненты окружающей среды: почвы, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, растительный и животный мир. Из них наиболее важным компонентом являются почвы, потому что именно почвы представляют собой своеобразный буфер для загрязнителей [1] как радиационной, так и нерадиационной природы и неизбежно оказываются составляющей в любой цепочке поступления загрязняющих веществ в организм человека.

Система комплексного мониторинга применяется для особо охраняемых природных территорий [2]. Однако для того чтобы оценивать такое воздействие, необходима отправная точка, которой в данном случае должен стать фоновый мониторинг. В работе представлены данные, полученные в результате исследований почв, донных отложений и растительности, отобранных в зоне наблюдения Белорусской АЭС.

Для Белорусской АЭС радиус зоны наблюдения составляет 12,9 км [3] от точки отсчета радиус-вектора (середина отрезка, соединяющего вентиляционные трубы двух энергоблоков АЭС). Именно эта зона была определена как зона воздействия, поэтому сеть комплексного мониторинга, которая состоит из 19 пунктов, размещается в ее пределах. Согласно ей и проводился отбор проб.

Материалы и методы

Методы отбора, подготовки и анализа. На содержание тяжелых металлов были отобраны 19 проб почв, 6 проб донных отложений, 31 проба водной растительности и 74 пробы лесной растительности. Отбор проб производился в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83 и ГОСТ 17.4.4.02-84. Отбор проб почв, растительности и донных отложений производился на репрезентативных площадках, характеризующих данную территорию.

Исследования проводились на базе государственного предприятия «Научно-практический центр гигиены». Пробоподготовка осуществлялась согласно Инструкции 4.1.10-14-5-2006 с помощью комплексов пробоподготовки многооперационных МКП 04. Пробоподготовка почв и донных отложений к определению содержания подвижных форм тяжелых металлов проводилась в соответствии с ч. 1 Временных методических рекомендаций по контролю загрязнения почв. Измерения осуществлялись в соответствии со следующими техническими нормативными правовыми актами:

1. МВИ.МН 3280-2009. Методика выполнения измерений концентраций тяжелых металлов в твердых матрицах методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии, утвержденная Главным государственным санитарным врачом Республики Беларусь 30.12.2009 (медь, цинк, свинец, кадмий, хром, никель, марганец).

2. СТБ ISO 11885-2011. Качество воды. Определение некоторых элементов методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (медь, цинк, свинец, кадмий, хром, никель, марганец, мышьяк).

3. ГОСТ 31870-2012. Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии (мышьяк).

4. ISO 12846-2012. Качество воды. Определение содержания ртути. Метод с применением спектроскопии атомной абсорбции (AAS) с обогащением и без него.

5. МВИ концентрации ртути методом ААС. Сборник методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении измерений в области охраны окружающей среды. Ч. 2. Минск, 2011, с. 265 (определение ртути).

Для количественного определения содержания тяжелых металлов в различных объектах среды использовалось оборудование:

1) атомно-эмиссионный спектрометр Horiba JU 2000 фирмы Horiba Yobin Ivon (Япония, Франция);

2) атомно-абсорбционный спектрометр ContrAA 700 фирмы Analytik Jena (Германия);

3) атомно-абсорбционный спектрометр SpectrAA 240Z фирмы Agilent (США);

4) анализатор ртути «Юлия-5К» производства ООО НПО «Метрология» (Россия);

5) анализатор ртути «Юлия-2М» производства ООО НПО «Метрология» (Россия).

Подготовку приборов к работе проводили в соответствии с инструкциями по их эксплуатации.

Методы оценки результатов. Полученные результаты были статистически оценены по методике расчета неопределенности измерений при определении концентраций ионов тяжелых металлов в твердых матрицах (приложение МВИ.МН 3280-2009).

Оценка полученных результатов с использованием показателя биологического поглощения [4] производилась по формуле:

$$A_x = \frac{l_x}{n_x},$$

где l_x – содержание элемента в золе растений, n_x – содержание элемента в горной породе или почве, на которой произрастает данное растение, кларк литосферы.

Результаты и их обсуждение

В зоне наблюдения Белорусской АЭС отсутствуют пункты наблюдения, входящие в Национальную систему мониторинга окружающей среды, поэтому для оценки воздействия электростанции была сформирована сеть пунктов наблюдений и впервые на систематической основе получена информация о фоновом содержании тяжелых ме-

таллов (меди, цинка, свинца, кадмия, хрома, никеля, марганца, ртути, мышьяка) в почвах, объектах растительного мира и донных отложениях.

Все пробы в зоне воздействия БелАЭС были отобраны с учетом комплексности, т. е. с одной пробой почвы отбирались семь проб растительности. Это позволяет не только определить фоновое содержание тяжелых металлов в природных объектах, но и изучить способность их к миграции в растения и накоплению в лесной подстилке, почвах и других объектах.

В результате измерений тяжелых металлов в пробах почв установлено следующее:

1) в 40 % проб почв обнаружено превышение регионального кларка по цинку, свинцу, марганцу и никелю;

2) содержание мышьяка, ртути, меди, хрома в почвах не превышает региональных кларковых значений;

3) во всех пробах почв не обнаружено превышения нормативов по тяжелым металлам.

Результаты статистического анализа данных, полученных в 19 пробах почв, приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Содержание тяжелых металлов в почвах в зоне наблюдения Белорусской АЭС

	Min, мг/кг	Max, мг/кг	X, мг/кг	σ	m	Кларк, мг/кг	ПДК/ ОДК, мг/кг	Неопределенность измерения, мг/кг
As	< 0,063	0,92	0,26	0,297	0,063	1,5	2	0,07
Hg	< 0,015	0,08	0,02	0,015	0,004	0,05	2,1	0,002
Pb	4,76	12,77	2,13	2,35	0,54	12	32	1,43
Cd	< 0,17	0,29	0,18	0,027	0,006	0,05	0,5	0,20
Mn	27,96	1206,8	325,3	257,04	58,97	247	1 500	75,5
Cu	4,12	12,57	4,71	1,94	0,45	13	33	0,22
Zn	8,77	52,13	28,91	13,39	3,07	35	55	6,12
Cr	0,63	18,87	6,27	4,61	1,06	36	100	1,22
Ni	< 0,42	15,69	4,94	3,79	0,87	20	20	1,69
Co	< 8,33	12,57	8,55	0,97	0,22	3	20	0,72

Примечание – Min – минимальное значение элемент; Max – максимальное значение элемента; X – среднее значение; σ – стандартное отклонение; m – ошибка среднего; Кларк – данные по региональным кларкам [5]; ПДК/ОДК – предельно допустимые концентрации по ГН 2.1.7.11-12-5-2004; расширенная неопределенность измерений рассчитана при $k = 2$, $P = 95$ %.

Также на содержание тяжелых металлов были исследованы донные отложения. В результате измерений установлено следующее:

1) содержание кадмия в донных отложениях превышает ПДК в 2–5 раз;

2) результаты измерений кадмия во всех пробах донных отложений превосходят региональный кларк в 15–40 раз;

3) около 20 % проб донных отложений содержат количества марганца, цинка, никеля и свинца, превышающие региональный кларк.

Результаты статистического анализа полученных в 19 пробах почв данных приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Содержание тяжелых металлов в донных отложениях в зоне наблюдения Белорусской АЭС

	Min, мг/кг	Max, мг/кг	X, мг/кг	σ	m	Кларк, мг/кг	ПДК/ ОДК, мг/кг	Неопределенность измерения, мг/кг
As	0,16	0,46	0,26	0,1	0,05	1,5	2	0,08
Pb	1,07	8,39	4,0	2,73	1,12	12	32	0,41
Cd	0,33	2,50	1,60	0,68	0,28	0,05	0,5	1,16
Cr	1,25	6,96	3,16	2,13	0,87	36	100	0,73
Ni	2,35	6,49	4,78	1,48	0,60	20	20	1,56
Mn	63,16	1 019,55	355,03	337,37	137,73	247	1 500	77,7
Co	1,03	2,52	1,78	0,54	0,22	6	20	0,51
Zn	6,63	27,92	17,50	7,59	3,10	35	55	3,98
Cu	0,92	4,19	2,69	1,27	0,52	13	33	0,18

Примечание – Min – минимальное значение элемента, Max – максимальное значение элемента; X – среднее значение; σ – стандартное отклонение; m – ошибка среднего; Кларк – данные по региональным кларкам [5], ПДК/ОДК – предельно-допустимые концентрации по ГН 2.1.7.11-12-5-2004; расширенная неопределенность измерений рассчитана при $k = 2$, $P = 95\%$.

Растения способны регулировать поступление тяжелых металлов через корневую систему при их фоновых концентрациях в почвах. Однако при повышенных концентрациях защитные и регулирующие механизмы растений уже не могут препятствовать поступлению тяжелых металлов в вегетативные органы.

Следовательно, при большом накоплении тяжелых металлов в почвах будет происходить рост их содержания в растениях. С целью определения фонового уровня содержания тяжелых металлов был проведен анализ лесной подстилки и образцов растений. В результате проведенных испытаний установлено следующее:

1. Содержание тяжелых металлов в объектах лесного растительного мира варьируется в широком диапазоне, максимальное содержание тяжелых металлов может превышать минимальное в 2–40 раз.

2. Большая часть объектов лесной растительности (84 % проб) характеризуются высоким содержанием марганца – от 100,5 до 3 372,7 мг/кг. Максимальное содержание элементов в лесной растительности таково: свинец – 27,4 мг/кг, кадмий – 0,6 мг/кг в образцах лесной подстилки; мышьяк – 1,8 мг/кг, хром – 18,7 мг/кг в образцах коры, древесины, ветвей, хвои (сосны, ели); никель – 11,5 мг/кг в пробах мха, лишайников; цинк – 86,2 мг/кг, медь – 22,3 мг/кг в образцах лесной подстилки; марганец – 3 372,7 мг/кг в пробах лесных растений, в том числе лекарственных.

3. По валовому содержанию в объектах растительного мира тяжелые металлы можно разделить на несколько групп: элементы повышенной концентрации – марганец и цинк; средней концентрации – медь, никель, свинец и хром; низкой – кадмий и мышьяк; очень низкой – ртуть.

Тяжелые металлы могут находиться в почвах в связанном или обменном состоянии, доступном для корней растений. Чаще всего в дерново-подзолистых и серых лесных почвах тяжелые металлы мигрируют в форме нитратов, хлоридов, сульфатов, карбонатов, бикарбонатов [6]. В связи с этим помимо валовых были определены подвижные формы содержания тяжелых металлов.

Сейчас доступными к определению являются водорастворимые, кислоторастворимые и подвижные формы, однако подвижные считаются наиболее опасными, поскольку могут как попадать с промывными водами в подземные воды, так и усваивать-

ся корнями растений. Растения потом идут в пищу, а следовательно, попадают в организм человека. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3. – Соотношение содержания подвижных форм тяжелых металлов в почвах и донных отложениях к валовым, %

Химический элемент	Лесные почвы	Донные отложения
As	н.о.	40
Hg	н.о.	н.о.
Pb	18	40
Cd	н.о.	н.о.
Mn	12	49
Cu	н.о.	н.о.
Zn	19	17
Cr	н.о.	н.о.

Примечание – н.о. – содержания подвижных форм элемента не обнаружено.

Некоторые химические элементы избирательно поглощаются и накапливаются в объектах растительности. Интенсивность поглощения характеризуется отношением количества элемента в золе растений к его количеству в почве или горной породе. Этот показатель, предложенный Б. Б. Полюновым, А. И. Перельман [4] назвал коэффициентом биологического поглощения A_x . В зависимости от величины A_x химические элементы разделены следующим образом: элементы биологического накопления ($A_x > 1$) и биологического захвата ($A_x < 1$).

Анализ полученных данных с помощью формулы коэффициента биологического поглощения приведен в таблице 4.

Таблица 4. – Значения A_x для тяжелых металлов в подстилке и образцах растительности

Химический элемент	Горизонт A0L (свежий опад)	Горизонт A0(F+H) (лесная подстилка)	Мох	Травянисто-кустарничковый комплекс
As	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Hg	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Pb	0,37	3,82	0,44	0,12
Cd	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Cr	0,94	1,06	0,08	0,05
Ni	1,33	1,61	0,66	0,41
Mn	16,55	7,66	3,48	6,04
Co	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Cu	2,14	3,06	1,90	2,34
Zn	4,06	1,93	1,71	1,43

Примечание – н.о. – КБП не удалось определить из-за незначительного содержания элемента.

Таким образом свинец и хром активно накапливаются в лесной подстилке. Также к элементам накопления следует отнести никель, марганец, цинк и медь. Прослеживается относительная равномерность накопления марганца, меди и цинка как в подстилке, так и в растениях.

Анализ водной растительности и донных отложений с помощью коэффициента биологического поглощения A_x представлен в таблице 5.

Таблица 5. – Значения A_x для тяжелых металлов в образцах водной растительности

Химический элемент	Дернина	Растения (травостой)
As	2,47	1,44
Hg	н.о.	н.о.
Pb	0,13	0,45
Cd	0,03	0,08
Cr	5,87	0,18
Ni	2,07	0,54
Mn	3,27	4,08
Co	н.о.	н.о.
Cu	2,49	1,40
Zn	3,47	2,08

Примечание – н.о. – КБП не удалось определить из-за незначительного содержания элемента.

В данном случае следует отметить большое накопление в дернине почти всех тяжелых металлов, кроме кобальта, кадмия и свинца. Практически те же металлы накапливаются и в травостое, за исключением хрома и никеля.

По способности к накоплению металлы можно расположить в следующей последовательности: в дернине – $Cr > Zn > Mn > Cu > As > Ni > Pb > Cd$, в травостое – $Mn > Zn > As > Cu > Ni > Pb > Cr > Cd$.

Заключение

1. Впервые на системной основе были получены данные о фоновом содержании тяжелых металлов (медь, цинк, свинец, кадмий, хром, никель, марганец, ртуть, а также мышьяк) в почвах, объектах растительного мира и донных отложениях в зоне наблюдения Белорусской АЭС на этапе строительства.

2. В верхнем (0–10 см) слое почвы, растительности и донных отложениях установлены некоторые особенности распределения тяжелых металлов, характерные для зоны наблюдения Белорусской АЭС.

3. В отобранных образцах почвы был проведен анализ содержания подвижных форм тяжелых металлов. Установлено, что она составляет 12–19 % от валового содержания для лесных почв и 17–49 % для донных отложений.

4. Для зоны наблюдения Белорусской АЭС характерен следующий порядок тяжелых металлов по способности к накоплению в растениях и лесной подстилке: $Mn > Cu > Zn > Ni > Pb > Cr$. Для водной растительности и дернины порядок немного иной: $Mn > Cr > Zn > As > Cu > Ni > Pb > Cd$.

5. Данные результаты являются основой для оценки состояния почв в части содержания тяжелых металлов на этапе строительства Белорусской АЭС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М. : Мир, 1989. – 439 с.

2. Об особо охраняемых природных территориях [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь, 15 нояб. 2018 г. № 150-З : с изм. и доп. : текст по состоянию на 4 фев. 2019 г. – Режим доступа: https://kodeksy-by.com/zakon_rb_ob_osobo_ohranyaemyh_prirodnih_territoriyah.htm.

3. Николаенко, Е. В. Радиационно-гигиенический мониторинг для оценки «нулевого» фона вокруг Белорусской АЭС / Е. В. Николаенко, В. В. Кляус // Здоровье и ок-

ружающая среда : сб. науч. тр. / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Науч.-практ. центр гигиены ; гл. ред. С. И. Сычик. – Минск : РНМБ, 2017. – Вып. 27. – С. 49–50.

4. Перельман, А. Геохимия ландшафта / А. Перельман, Н. Касимов. – М., 1999. – 610 с.

5. Петухова, Н. Н. К кларкам микроэлементов в почвенном покрове Беларуси / Н. Н. Петухова, В. А. Кузнецов // Докл. АН Беларуси. – 1992. – Т. 36, № 5. – С. 461–465.

6. Раскатов, А. В. Агрэкалагічныя аспекты транслокацыі цяжкіх металоў у почве і раслінках: на прымере дернаво-падзолістых почв Івановскай вобласці : авто-реф. дис. ... канд. сельхоз. наук : 06.01.15 / А. В. Раскатов. – М., 2000. – 22 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 04.03.2019

Germenchuk M. G., Pozdniakova A. I. Results of Soils Background Monitoring in the Observation Zone of Belarusian Nuclear Power Plant

Creation the environmental monitoring network is the main ecological objective before commissioning of any industrial facility. Republic of Belarus had not such radiation and ecologically dangerous objects earlier, so in an influence zone of the station has been created the system of complex monitoring which allows to watch ecosystem changes in dynamics and to estimate negative load of each component in the system in connection with others. This article contains results of studying and assessment of the impact on soils in the observation zone of Belarusian nuclear power plant at the construction stage.