

УДК 631.416.9

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕННОМ И СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

Бакаева Е.А., Еремейшвили А.В.

ФГБУ ВПО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», Ярославль, e-mail: evgeniya-bakaeva@yandex.ru

В ходе настоящего исследования методом инверсионной вольтамперометрии определено содержание подвижных форм микроэлементов (селен, цинк, медь, свинец, кадмий) в фоновых почвах Европейского Севера России, а также содержание цинка, меди, свинца, кадмия в почвенном и снежном покрове г. Инты и п.г.т. Троицко-Печорск Республики Коми и п.г.т. Плесецк Архангельской области с целью выявления антропогенного загрязнения территории города. По значению концентрации подвижных соединений в почвах определяемые микроэлементы образуют ряд: цинк > свинец > медь > селен > кадмий. Выявлено пониженное по сравнению с литературными данными содержание подвижных соединений селена, меди и цинка в обследованных фоновых почвах. Максимальные концентрации меди выявлены в районах, расположенных в непосредственной близости от г. Инта, что свидетельствует об антропогенном загрязнении почв данным элементом.

Ключевые слова: микроэлементы, подвижные соединения селена, цинка, меди, свинца и кадмия, почвенный и снежный покров, антропогенное загрязнение.

SOME FEATURES OF CONTENT OF TRACE ELEMENTS IN SOILS AND SNOW OF NORTHERN EUROPEAN IN RUSSIA

Bakaeva E.A., Ereimeyshvili A.V.

P.G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, e-mail: evgeniya-bakaeva@yandex.ru

Content of mobile selenium, zinc, cooper, lead, cadmium in soils in some territory of northern European in Russia, and also content of zinc, cooper, lead, cadmium in soils and snow in the city Inta and town Troitsko-Petschorsk of the Komi Republik and in the town Plesetsk of Arkhangelsk region are analyzed with the use of the method of inversion voltammetry. According concentrations of mobile compounds in soils trace elements can be ranked into the following row: zinc > lead > cooper > selenium > cadmium. In comparison with literature data concentrations of mobile compounds of selenium, cooper and zinc in explored soils are low. The maximum concentration of cooper is revealed in close proximity to Inta. It indicates anthropogenic pollution of soils by this element.

Keywords: trace elements, mobile selenium, zinc, copper, lead and cadmium, soil and snow cover, anthropogenic pollution.

От химического состава окружающей среды зависит состояние здоровья человека [3]. Особую опасность представляет дисбаланс химических элементов в окружающей среде в условиях Крайнего Севера. К районам Крайнего Севера и приравненным к ним территориям относится около половины площади Российской Федерации. Биогеохимическая среда Севера России характеризуется низким содержанием некоторых эссенциальных элементов, в результате чего возможно развитие экологозависимых заболеваний населения [3]. Современный период экономического развития ряда северных регионов связан с интенсивным развитием предприятий топливно-энергетического комплекса, что приводит к поступлению тяжелых металлов в окружающую среду. Биогеоценозы Севера отличаются большой уязвимостью и низкой способностью к самоочищению, что приводит к аккумуляции загрязнителей в почве и воде [2]. Несмотря на большое количество работ, направленных на изучение биогеохимических характеристик Севера России, многие

территории до сих пор остаются неисследованными. В связи этим представляет большой интерес изучение биогеохимических особенностей северных территорий.

Цель данной работы состояла в определении фонового содержания подвижных форм пяти микроэлементов (селен, цинк, медь, свинец, кадмий), обладающих высокой токсичностью, в фоновых почвах ряда территорий Европейского Севера России, а также оценка антропогенного загрязнения почвенного и снежного покрова тяжелыми металлами (цинк, медь, свинец, кадмий).

Материал и методы исследования

Отбор и подготовка проб проводились в соответствии с государственными стандартами и методическими рекомендациями и указаниями [1, 5–7, 9]. Для исследования были выбраны следующие населенные пункты: г. Инта (район исследования № 1) и п.г.т. Троицко-Печорск (район № 2) Республики Коми, п.г.т. Плесецк Архангельской обл. (район № 3). Г. Инта находится на северо-востоке Республики Коми, в зоне лесотундры, в районе континентального климата. Основным видом промышленности Интинского района является добыча и обогащение угля, в последнее время развивается добыча природного газа. В отраслевой структуре промышленности п.г.т. Троицко-Печорск и Плесецк преобладают лесозаготовительная и лесоперерабатывающая промышленности.

Полевые исследования проведены в летний период 2012–2014 гг. Ключевые площадки для отбора фоновых почв закладывали в естественных ландшафтах на участках размером 100x100 м. На них методом «конверта» закладывали 5 площадок 1x1 м, на каждой отбирались образцы из поверхностного слоя 0–10 см, всего 25 проб с одной площадки. В черте населенных пунктов пробы почвенного и снежного покрова были отобраны на расстоянии 0–10 м (придорожная зона), 10–50 м, 50–100 м (жилая зона) от автомагистралей. Отобранные на ключевой площадке пробы почв перемешивали и отбирали методом «конверта» образец весом примерно 1 кг. Экстракцию подвижных форм микроэлементов проводили 1.0 н. азотной кислотой. Этот экстрагент взаимодействует почти со всеми компонентами почвы и переводит в раствор непрочно связанные соединения металлов и их оксиды техногенного происхождения, поступившие в почву, но не включившиеся в процесс трансформации [8]. В качестве метода анализа выбран метод инверсионной вольтамперометрии. Всего в ходе работы обработано 100 проб почвы и 54 пробы снега. Полученные данные сравнивались с предельно допустимым содержанием [10] подвижных форм определяемых микроэлементов.

Оценку уровня загрязнения почв и снега проводили по показателям: коэффициент концентрации химического вещества (K_c) и суммарный показатель загрязнения (Z_c) [6, 7]. K_c определяется отношением фактического содержания определяемого элемента в пробе к

фоновому содержанию. Z_c равен сумме коэффициентов концентраций химических элементов.

$$Z_c = \text{SUM} (K_{c1} + \dots + K_{cn}) - (n - 1),$$

где n – число определяемых суммируемых веществ.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакета программ Microsoft Office Excel 2007, Statistica 5.5. Значимость различий между средними значениями оценивали с помощью t -критерия Стьюдента и U -критерия Манна – Уитни (в зависимости от типа распределения в выборке). Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

При анализе полученных данных установлено, что концентрации подвижных соединений микроэлементов в исследованных почвах отличаются в различных районах исследования (табл. 1). По величине концентрации подвижных соединений исследуемые микроэлементы образуют следующий ряд: цинк > свинец > медь > селен > кадмий.

Таблица 1

**Содержание подвижных форм микроэлементов в фоновых почвах,
($M \pm m$, Min-Max), мг/кг**

Район	Цинк	Медь	Свинец	Кадмий	Селен
1 (n=20)	6,982±0,820 0,695-19,722	4,653±0,580* 1,165 -19,782	1,430±0,122* 0,165 -2,733	0,041±0,001 0,004- 0,095	0,149±0,011 0,022-0,346
2 (n=24)	3,785±0,724* 0,300-20,536	1,754±0,187 0,200-6,26	1,955±0,158* 0,054-0,424	0,047±0,001* 0,010-0,230	0,254±0,026* 0,036-0,681
3 (n=4)	6,228 ± 0,585 2,572- 9,194	1,630±0,188 0,645- 3,164	0,897±0,014 0,838- 1,038	0,058±0,004* 0,041- 0,087	0,162 ± 0,012 0,116- 0,252
	60,0 [10]	50,0 [10]	60,0 [10]	1,0 [10]	0,394 [4]

Примечание: M – среднее арифметическое; m – стандартная ошибка; Min – минимальное и Max – максимальное значение в выборке; * – статистически значимые отличия ($p < 0,05$).

Уровень подвижных соединений селена в обследованных фоновых почвах находится в диапазоне от 0,022 до 0,681 мг/кг. По сравнению с концентрацией данного микроэлемента в почвах нечерноземной зоны России [4] в поверхностном горизонте почв изучаемых территорий средняя концентрация подвижной формы селена несколько ниже. Полученные данные согласуются с данными о низком содержании селена, установленными предшествующими исследованиями для территории таежно-лесной нечерноземной биогеохимической зоны в целом [3].

Концентрация подвижных соединений цинка изменяется в диапазоне от 0,300 до 20,536 мг/кг, что находится ниже предельно допустимого содержания [10] подвижных соединений этого элемента. Согласно литературным данным, в почвах таежно-лесной нечерноземной биогеохимической зоны, а также в почвах ряда северных территорий, отмечается пониженное содержание цинка, что связано с низким содержанием цинка в почвообразующих породах исследуемой территории [3].

Содержание подвижных соединений меди не превышает предельно допустимого содержания [10] подвижной формы данного элемента. Выявлено статистически значимое более высокое содержание меди ($4,653 \pm 0,580$ мг/кг) в фоновых почвах района исследования № 1 ($p < 0,05$). Полученные нами результаты о низком уровне подвижных соединений меди в почвах обследованных северных территорий соотносятся с литературными данными [2, 3], согласно которым подзолистые почвы мало обеспечены данным микроэлементом, что может быть связано с недостаточным содержанием меди в почвообразующей породе и с выносом меди из почвенного профиля.

Уровень подвижных соединений свинца находится в диапазоне от 0,054 до 2,733 мг/кг. Полученные данные не выходят за границы предельно допустимой концентрации подвижной формы свинца [10]. Кадмий в обследованных пробах почвы найден в невысоких концентрациях (Min=0,004 и Max=0,023 мг/кг). Содержание подвижных соединений кадмия лежит в диапазоне от 0,004 до 0,095 мг/кг, что не превышает предельно допустимое содержание подвижной формы данного элемента [10].

Уровень загрязнения почв, отобранных на обследованных территориях Европейского Севера России, представлен в табл. 2. Более загрязненными цинком, исходя из значения коэффициента концентрации, являются пробы, отобранные в жилой зоне на ул. Мира г. Инта ($K_c=34,5$). Необходимо подчеркнуть, что на этой станции отмечено превышение предельно допустимого содержания цинка в почве жилой зоны. Наибольшие значения коэффициента концентрации меди в жилой зоне выявлены в г. Инта на ул. Воркутинская ($K_c=22,7$). Более загрязненными подвижными соединениями свинца являются пробы почвы, отобранные на ул. Садовая ($K_c=13,9$). Наиболее высокие значения коэффициента концентрации подвижных соединений кадмия обнаружены в пробах почвы в г. Инта на ул. Мира ($K_c=10,4$). В целом уровень загрязнения исследованных почв находится на уровне от среднего до высокого [6, 7]. Необходимо подчеркнуть, что почвы городов с развитой промышленностью обогащены органическим веществом, а также магнетитом, выделяющимся в результате функционирования предприятий. Цинк, медь, свинец и кадмий способны связываться с данными веществами [8]. Повышенное содержание подвижных соединений тяжелых металлов в пробах, отобранных на территории г. Инта, может быть

связано с близким расположением от города источников выбросов данных микроэлементов – предприятий по добыче угля, и присутствием в почве лигандов, с которыми способны связываться данные металлы.

Таблица 2

Уровень загрязнения почв жилой зоны тяжелыми металлами

Районы исследования	Станция отбора проб	K _c				Z _c	Уровень загрязнения [7]
		Цинк	Медь	Свинец	Кадмий		
г. Инта	ул. Куратова	24,1	2,8	12,0	6,1	42,0	Высокий
	ул. Мира	34,5	3,8	4,9	10,4	50,5	Высокий
	ул. Воркутинская	23,6	22,7	6,3	8,6	58,2	Высокий
п.г.т. Троицко-Печорск	ул. Зеленая	14,5	2,2	6,2	10,1	30,0	Средний
	ул. Ленина	12,8	2,5	4,7	9,1	26,1	Средний
	ул. Советская	10,3	1,4	3,3	6,6	18,6	Средний
п.г.т. Плесецк	ул. Мира	5,8	6,7	7,2	2,6	19,3	Средний
	ул. Садовая	10,4	5,7	13,9	3,9	30,9	Средний

Примечание: K_c – коэффициент концентрации химического элемента, Z_c – суммарный показатель загрязнения.

Наиболее высокий коэффициент концентрации цинка (K_c=2,2) в снежном покрове жилой зоны установлен в п.г.т. Троицко-Печорск Республики Коми на ул. Ленина (табл. 3). Максимальная концентрация меди в снежном покрове выявлена в п.г.т. Плесецк, где значение K_c =10,6. Более загрязненным свинцом в жилой зоне является снег на ул. Садовая п.г.т. Плесецк (K_c=14,1). Концентрация кадмия в пробах снежного покрова в целом невелика и мало отличается от фонового уровня, за исключением ул. Зелена п.г.т. Троицко-Печорск (K_c=2,6). Уровень загрязнения снежного покрова жилой зоны всех выбранных для исследования населенных пунктов низкий [7].

Таблица 3

Уровень загрязнения снежного покрова жилой зоны тяжелыми металлами

Районы исследования	Станция отбора проб	K _c				Z _c	Уровень загрязнения [7]
		Цинк	Медь	Свинец	Кадмий		
г. Инта	ул. Куратова	1,0*	1,5	9,5	1,0*	8,9	Низкий
	ул. Мира	1,0*	1,0*	6,2	1,0*	5,2	Низкий
п.г.т. Троицко-Печорск	ул. Зеленая	1,0*	1,0*	1,3	2,6	1,3	Низкий
	ул. Ленина	2,2	3,3	3,5	0	6,0	Низкий
	ул. Советская	1,0*	1,8	2,5	0	2,2	Низкий
п.г.т. Плесецк	ул. Мира	1,0*	10,6	7,3	1,0*	15,7	Низкий
	ул. Садовая	1,2	7,9	14,1	1,0*	20,7	Низкий

Примечание: K_c – коэффициент концентрации химического элемента, Z_c – суммарный показатель загрязнения.

Заключение

В результате наших исследований установлены различные уровни тяжелых металлов и селена в почвах Европейского Севера России. Превышений предельно допустимого содержания подвижных соединений микроэлементов в фоновых почвах не выявлено. При обследовании образцов почвенного и снежного покрова, отобранных на территории населенных пунктов, выявлены территории с различным уровнем загрязнения тяжелыми металлами. Уровень загрязнения почвенного покрова населенных пунктов лежит в диапазоне от среднего до высокого.

Список литературы

1. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
2. Добровольский В. В. Основы биогеохимии: учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 400 с.
3. Ковальский В. В. Геохимическая экология. – М.: Наука, 1974.
4. Краснощекова Т.А., Перепёлкина Л.И. Экологические аспекты содержания селена в почвах Амурской области // Дальневосточный аграрный вестник. – 2008; 2 (6): 81-84.
5. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве № 5174-90. Утв. МЗ СССР 15.05.1990.
6. Методические указания № 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Утв. МЗ России 7.02.1999.
7. Методические указания. Полевое обследование и картографирование уровня загрязненности почвенного покрова техногенными выбросами через атмосферу. Утв. Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 28.04.1980.
8. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г. Состав соединений тяжелых металлов в почвах. – Ростов: Эверест, 2009.
9. ПНД Ф 16.1:2:2:2,3.47-07. Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм тяжелых металлов и токсичных элементов (Cd, Pb, Cu, Zn, Bi, Tl, Ag, Fe, Se, Co, Ni, As, Sb, Hg, Mn) в почвах, грунтах, донных отложениях и осадках сточных вод методом инверсионной вольтамперометрии.
10. Чуджиян Х., Кирвета. С., Фацек З. Тяжелые металлы в почвах и растениях // Экологическая кооперация. Вып. 1. – Братислава, 1988.

Рецензенты:

Семерной В.П., д.б.н., профессор кафедры зоологии и экологии, ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», г. Ярославль;

Мышкин И.Ю., д.б.н., профессор, заведующий кафедрой физиологии человека и животных, ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», г. Ярославль.