

УДК 53.087- 577.391–621.039 614.8.086.52

А.Г. Жумалина<sup>1</sup>, Е.К. Самбаев<sup>1</sup>, А. Сакагучи<sup>2</sup>, С. Эндо<sup>3</sup>, К. Танака<sup>3</sup>,  
Т. Каджимото<sup>3</sup>, Н. Кавано<sup>3</sup>, К.Ш. Жумадилов<sup>1,4</sup>, М. Хоши<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан;

<sup>2</sup>Университет Цукубы, Япония;

<sup>3</sup>Университет Хиросимы, Япония;

<sup>4</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия  
(E-mail: aidana\_555@mail.ru)

## Измерение концентрации <sup>210</sup>Pb в воздухе города Астаны

В статье предложены результаты измерения радиоактивности свинца в воздухе города Астаны за октябрь 2016 г. Описана методика отбора проб аэрозолей в различных фракциях, и даны результаты анализа полученных данных. Совместно с учёными из Университета Хиросимы (Япония) и Университета Цукубы (Япония) был произведён мониторинг состава аэрозолей в воздухе города Астаны. Проект является пилотным. Цель проекта — разработка методики отбора проб аэрозолей в различных фракциях и проведение измерений на постоянной основе. Исследования были проведены при помощи высокообъемного пробоотборника воздуха и каскада импакторов, которые измеряют распределение размера и пригодную для дыхания массовую долю воздушных частиц окружающей среды. Также были использованы фильтры из стекловолокна, которые являются часто используемым материалом для сбора образцов. Данные, полученные при исследовании образцов аэрозолей, с использованием каскада импакторов, позволяющего отобрать аэрозоли размерами до 0,49 мкм, показали содержание в воздухе атмосферы города изотопов свинца. Чем меньше пропускающий зазор, тем больше частиц улавливалось. В среднем аэрозоли отбирались с более чем 200 тысяч кубических метров воздуха.

*Ключевые слова:* свинец, аэрозоли, Астана, воздух, радиоактивность, фильтры из стекловолокна, разработка методики отбора аэрозолей.

### Введение

Измерение радиоактивности в воздухе является актуальной темой. С атмосферным воздухом поступает в организм незначительное количество свинца — всего 1–2 %, но при этом большая часть абсорбируется. Свинец влияет на нервную систему человека, что приводит к снижению интеллекта, вызывает изменение физической активности, нарушение координации слуха, воздействует на сердечно-сосудистую систему, приводя к заболеваниям сердца. Это оказывает негативное влияние на состояние здоровья населения, в первую очередь, детей, которые наиболее восприимчивы к свинцовым отравлениям. Свинец и его соединения токсичны. Особенно ядовиты водорастворимые (например, ацетат свинца) и летучие (например, тетраэтилсвинец) соединения. При остром отравлении наступают боли в животе, в суставах, судороги, обмороки. Свинец может накапливаться в костях, вызывая их постепенное разрушение, концентрируется в печени и почках. Особенно опасно воздействие свинца на детей: при длительном воздействии он вызывает умственную отсталость и хронические заболевания мозга [1].

Целью данной работы является получение информации о концентрации <sup>210</sup>Pb в атмосфере города Астаны за октябрь месяц 2016 г. Для осуществления измерений по определению концентрации изотопов свинца был использован многоступенчатый каскад импакторов, устройство для отбора проб, в

котором накапливаются частицы, отбираемые из аэрозолей, на серии накопительных пластин, где используется принцип осаждения аэрозолей на подложках из микро-стекловолокна и целлюлозной бумаги [2]. Исследования образцов подложек с осажденными аэрозолями показали, что концентрация свинца варьируется в диапазоне от 0,82 Бк до 27,31 Бк. Размер пылевой фракции с наибольшим содержанием свинца меньше, чем 1,4 мкм. Оценка сезонной концентрации изотопов свинца в атмосфере города Астаны позволит выявить зависимость прохождения изотопов в нижние слои атмосферы от климатических условий региона [3].

#### *Материалы и методы*

Данный эксперимент был проведен при помощи высокообъемного пробоотборника воздуха, который измеряет распределение размера и пригодную для дыхания массовую долю воздушных частиц окружающей среды внутри и снаружи помещений. Осуществление отбора проб аэрозолей в атмосфере города Астаны происходит посредством автоматизированной станции отбора проб, включающей в себя каскад импакторов с многоступенчатым фракционированием частиц. Пробоотборник воздуха был установлен на крыше учебно-лабораторного корпуса Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилёва, на высоте около 30 метров от земли [4].

Прямым измерением пробоотборника является «эквивалентный аэродинамический диаметр», определенный как размер сферической частицы массовой плотности  $1 \text{ г/см}^3$ , у которого есть та же самая предельная скорость урегулирования, как у отобранной частицы. Аэродинамический размер — самое важное в частице, потому что он определяет проникновение частиц в легкое человека, эффективность сбора частицы в оборудовании для контроля за состоянием окружающей среды и транспорта и распространения частиц в атмосферном воздухе [5–7].

Фильтр из стекловолокна — наиболее часто используемый материал для сбора образцов. Смещение частиц в сетчатку стекловолокна улучшает задержание частицы и уменьшает возможный вторичный унос. Фильтрующий материал на основе целлюлозы и металлическая фольга могут также использоваться в качестве материала для подложек. Подложки — тонкие плоские листы с 10 просверленными отверстиями, устанавливают отверстия на каждой насадке. Частицы, проходящие через отверстия насадки на стадиях отбора образца, влияют на сборку подложек, и таким образом они осаждаются или собираются. Сбор субстрата также действует как вакуумное уплотнение между пластинами пробоотборника. Сбор субстрата представляется наиболее удобным методом для сбора частицы, в отличие от использования тяжелых пластин для сбора субстрата, и значительно уменьшает стоимость отбора методом взаимной нагрузки, избавляя от необходимости покупки дополнительного набора пластин. Сбор субстрата также дает возможность более легкого хранения и последующего химического анализа [2, 5, 8–10].

Смена фильтров производилась каждые две недели. Активность свинца была измерена в лаборатории Университета Хиросимы.

#### *Результаты и обсуждение*

Нами были проведены измерения в период с 1.10.2016 по 30.10.2016 г. За первую декаду октября уровень радиоактивности составил: для фильтра размера  $>10,2 \text{ мкм}$  —  $0,82 \pm 0,24 \text{ Бк}$ ;  $4,2\text{--}10,2 \text{ мкм}$  —  $0,97 \pm 0,24 \text{ Бк}$ ;  $2,1\text{--}4,2 \text{ мкм}$  —  $0,16 \pm 0,24 \text{ Бк}$ ;  $1,4\text{--}2,1 \text{ мкм}$  —  $4,01 \pm 0,33 \text{ Бк}$ ;  $<1,4 \text{ мкм}$  —  $5,81 \pm 0,18 \text{ Бк}$  (рис. 1). Концентрация  $^{210}\text{Pb}$  выше в фильтре  $<1,4 \text{ мкм}$ , значит, основная активность  $^{210}\text{Pb}$  в мелких фракциях аэрозолей.

За вторую декаду уровень радиоактивности составил: для фильтра размера  $>10,2 \text{ мкм}$  —  $0,83 \pm 0,26 \text{ Бк}$ ;  $4,2\text{--}10,2 \text{ мкм}$  —  $0,97 \pm 0,28 \text{ Бк}$ ;  $2,1\text{--}4,2 \text{ мкм}$  —  $0,77 \pm 0,27 \text{ Бк}$ ;  $1,4\text{--}2,1 \text{ мкм}$  —  $4,89 \pm 0,44 \text{ Бк}$ ;  $<1,4 \text{ мкм}$  —  $27,31 \pm 0,40 \text{ Бк}$  (рис. 2). За вторую декаду октября также концентрация  $^{210}\text{Pb}$  выше в фильтре  $<1,4 \text{ мкм}$ , значит, основная активность  $^{210}\text{Pb}$  в мелких фракциях аэрозолей.

Как мы видим по графикам, во второй декаде уровень радиоактивности для фильтра размера  $<1,4 \text{ мкм}$  увеличился. Разница концентрации свинца может быть связана с ухудшением погоды, а именно с увеличением скорости ветра. Также в начале октября были осадки в виде снега, который забивал фильтр. В связи с этим отбор проб в начале проводился при более худших погодных условиях. Информация по погодным условиям показана в таблице.

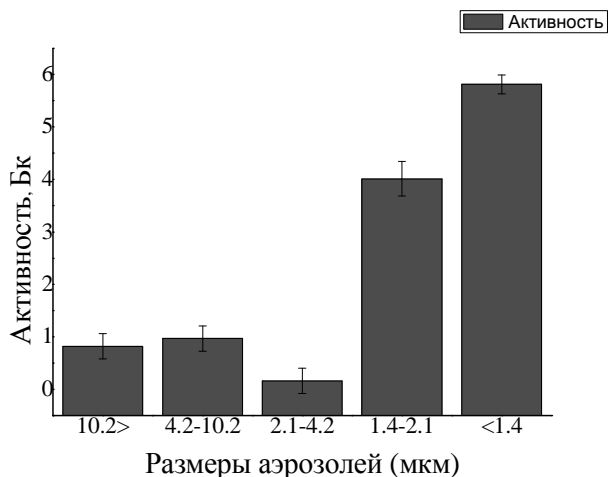


Рисунок 1. Уровень радиоактивности свинца за первую декаду октября

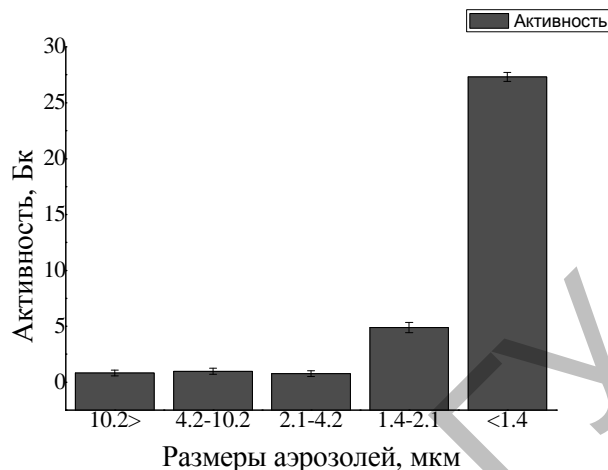


Рисунок 2. Уровень радиоактивности свинца за вторую декаду октября

Т а б л и ц а

Показатель погоды с 01.10 по 31.10.2016 г.

Дата	10:00 (температура)	15:00 (температура)	22:00 (температура)	Скорость ветра, м/сек	Осадки
01.10.16 г.	11	15	6	5	Дождь в 5.00
02.10.16 г.	12	12	6	6	Дождь в 5.00
03.10.16 г.	13	14	7	6	Дождь в 16.00
04.10.16 г.	13	13	6	6	Дождь в 11.00
05.10.16 г.	12	15	5	2	
06.10.16 г.	16	17	8	7	
07.10.16 г.	5	8	3	5	
08.10.16 г.	6	8	-1	1	Дождь в 11.00
09.10.16 г.	4	5	2	9	Дождь в 1.00
10.10.16 г.	3	6	2	3	
11.10.16 г.	0	0	1	1	Снег весь день
12.10.16 г.	-2	4	1	7	
13.10.16 г.	-2	3	-1	2	Снег утром
14.10.16 г.	-1	2	1	7	Дождь весь день
15.10.16 г.	-1	2	0	6	Снег весь день
16.10.16 г.	-3	1	0	5	
17.10.16 г.	0	2	-2	5	
18.10.16 г.	-1	2	-4	8	
19.10.16 г.	-1	0	-5	7	
20.10.16 г.	0	0	-4	7	
21.10.16 г.	-1	-2	-4	4	Дождь весь день
22.10.16 г.	-2	-1	-4	6	
23.10.16 г.	-2	0	-6	5	Дождь весь день
24.10.16 г.	-4	-4	-8	5	
25.10.16 г.	2	5	-5	8	Дождь весь день
26.10.16 г.	-2	2	-7	9	
27.10.16 г.	-3	0	-7	8	
28.10.16 г.	0	1	-8	8	
29.10.16 г.	2	2	-4	4	
30.10.16 г.	5	4	-3	7	
31.10.16 г.	4	6	-3	8	

Нами был проведен сравнительный анализ двух измерений по программе GraphPad. Мы получили результат, где для фильтров от 10,2 до 1,4 мкм сравнение измерений показало, что в начале

и в конце месяца изменений нет. Анализ t-test показал, что значение  $P$  равно 0,7866. По условным критериям это различие не считается статистически значимым.

### Вывод

В ходе проведенных измерений нами были зарегистрированы активности  $^{210}\text{Pb}$  в различных фракциях аэрозолей воздуха. Измерения показали, что основная активность  $^{210}\text{Pb}$  в мелких фракциях аэрозолей, так как концентрация свинца выше именно в фильтре размером  $<1,4$  мкм. Также выявили, что изменение концентраций свинца может быть связано с погодными условиями. Из-за осадков в виде снега отбор проб в определенный период проводился хуже. Это было замечено как в начале, так и в конце октября.

### Благодарность

Авторы статьи выражают искреннюю благодарность за финансовую поддержку из средств Министерства образования и науки Республики Казахстан (на 2018–2020 гг. по грантовому финансированию субъектов научной и/или научно-технической деятельности по проекту ИРН AP05135470). «Работа выполнена при поддержке Программы повышения конкурентоспособности НИЯУ МИФИ».

### Список литературы

- 1 Токсические эффекты свинца на организм человека // Национальный центр экспертизы. — 2017.
- 2 Tisch Environmental, Inc., Series 230 High volume cascade impactors multistage particulate size fractionators, Operations Manual. — 2004. — Rev. 1.8. — P. 1–19.
- 3 Zhumalina A. Research of radionuclide composition in the atmosphere of Astana / A. Zhumalina, E. Sambayev, A. Sakaguchi, S. Endo, K. Tanaka, T. Kajimoto et al. // ACRR-2017, 4<sup>th</sup> Asian Congress of Radiation Research. — 2017. — P. 149–150.
- 4 Самбаев Е. Исследование загрязнения воздуха в атмосфере города Астаны / Е. Самбаев, А. Жумалина, А. Сакагучи, С. Эндо, М. Хоши, К.Ш. Жумадилов // Вестн. КазНТУ. — 2017. — № 5. — С. 110–116.
- 5 Жумалина А. Методика проведения измерений при помощи высокообъемного пробоотборника / А. Жумалина, Е. Самбаев, А. Сакагучи, С. Эндо, М. Хоши, К.Ш. Жумадилов // Вестн. Евразийск. нац. ун-та. — 2017. — Т. 2, № 4. — С. 86–92.
- 6 Hirose K. Fukushima Dai-ichi Nuclear Plant accident: Atmospheric and oceanic impacts over the five years // Journal of Environmental Radioactivity. — 2016. — Vol. 157. — P. 113–130.
- 7 Oura Y. Determination of atmospheric radiocesium on filter tapes used at automated SPM monitoring stations for estimation of transport pathways of radionuclides from Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant / Y. Oura // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. — 2015. — Vol. 303. — P. 1555–1559.
- 8 Yamamoto M. Seasonal and spatial variation of atmospheric  $^{210}\text{Pb}$  and  $^7\text{Be}$  deposition: features of the Japan Sea side of Japan / M. Yamamoto // Journal of Environmental Radioactivity. — 2006. — Vol. 86. — P. 110–131.
- 9 Marple V.A. Characteristics of Laminar Jet Impactors / V.A. Marple, B.Y.H. Liu // Environmental Science and Technology. — 1974. — Vol. 8. — P. 648–654.
- 10 Willeke K. Performance of the Slotted Impactor / K. Willeke // AINAJ. — 1975. — P. 683–691.

А.Г. Жумалина, Е.К. Самбаев, А. Сакагучи, С. Эндо, К. Танака,  
Т. Каджимото, Н. Кавано, К.Ш. Жумадилов, М. Хоши

### Астана қаласы ауасындағы $^{210}\text{Pb}$ концентрациясын өлшеу

Мақалада 2017 жылдың қазан айындағы Астана қаласы ауасындағы қорғасын радиоактивтілігінің өлшеу нәтижелері көрсетілген. Ауа сынамасының жоғары көлемді сынама алғыштың көмегімен іріктеу тәсілдері сипатталған. Аэрозоль үлгілерін жинауды, үлгілердің құрамын анықтау жөнінде Жапонияның және Қазақстанның жоғары оқу орындарының бірлескен жұмысы сипатталады. Бұл жоба — пилоттық. Жобаның мақсаты әртүрлі фракциялардағы аэрозольді үлгілеу әдістемесін әзірлеу және үнемі өлшеуді жүзеге асыру болып табылады. Зерттеулер жоғары көлемді ауа үлгілерін жинаушы және арнайы каскадтардың көмегімен жүргізілді. Сондай-ақ ауа үлгілерін жинау үшін жиі қолданылатын шыныдан жасалған сүзгілер де пайдаланылды. 0,49 мкм дейін аэрозольді таңдауға мүмкіндік беретін аэрозольдік үлгілерді зерттеу кезінде алынатын соққыларының каскадтарын пайдалана отырып, қаланың ауасындағы қорғасын изотопының мазмұнын көрсетті. Өткізетін тесіктің кішіреюі неғұрлым аз болса, соғұрлым көп бөлшектер қапқан. Орташа алғанда, аэрозольдар 200 000 текше метрден астам ауадан жиналды.

*Кілт сөздер:* қорғасын, аэрозольдер, Астана, ауа, радиоактивтілік, шыныдан жасалған сүзгілер, аэрозольді үлгілеу әдістемесін әзірлеу.

A.G. Zhumalina, E.K. Sambayev, A. Sakaguchi, S. Endo, K. Tanaka,  
T. Kajimoto, N. Kawano, K.Sh. Zhumadilov, M. Hoshi

### Measurements of $^{210}\text{Pb}$ concentrations in air in Astana city

The article is devoted the results of measuring the radioactivity of  $^{210}\text{Pb}$  in the air of the Astana city for October 2017 and describes the air sampling method using a high volume sampler. Together with scientists from Hiroshima University (Hiroshima, Japan) and Tsukuba University (Tsukuba, Japan), the composition of aerosols in the air in Astana was monitored. The project is a pilot project. The aim of the project is to develop a methodology for sampling aerosols in various fractions and making measurements on an ongoing basis. The studies were carried out using a high-volume air sampler and a cascade of impactors that measure the size distribution and breathable mass fraction of airborne particles. Filters made of fiberglass were also used, which are often used for collection of samples. The data obtained in the study of aerosol samples, using a cascade of impactors allowing to select aerosols up to  $0.49\ \mu\text{m}$ , showed the content of lead isotope in the air of the city. The smaller the transmission gap, the more particles are trapped. On average, aerosols were collected from more than 200,000 cubic meters of air.

*Keywords:* lead, aerosols, Astana, air, radioactivity.

### References

- 1 Toksicheskie efekty svintsa na orhanizm cheloveka [Toxic effects of lead on the human body]. (2017). *Natsionalnyi tsentr ekspertizy — National Center of Expertise* [in Russian].
- 2 Tisch Environmental, Inc., Series 230 High volume cascade impactors multistage particulate size fractionators, Operations Manual. (2004). Rev. 1.8.
- 3 Zhumalina, A., Sambayev, E., Sakaguchi, A., Endo, S., Tanaka, K., & Kajimoto, T., et al. (2017). Research of radionuclide composition in the atmosphere of Astana. *ACRR-2017, 4<sup>th</sup> Asian Congress of Radiation Research* (pp. 149, 150).
- 4 Sambayev, E., Zhumalina, A., Sakaguchi, A., Endo, S., Hoshi, M., & Zhumadilov, K. (2017). Issledovanie zahriazneniia vozdukhа v atmosfere horoda Astany [Research of air pollution in the atmosphere of Astana city]. *Vestnik KazNTU — Bulletin of KazNTU*, 5, 110–116 [in Russian].
- 5 Zhumalina, A., Sambayev, E., Sakaguchi, A., Endo, S., Hoshi, M., & Zhumadilov, K. (2017). Metodika provedeniia izmerenii pri pomoshchi vysokoobemnoho probotoornika [Method of measurement using a high volume air samplers]. *Vestnik Evraziiskoho natsionalnogo universiteta — Herald of Eurasian National University*, 2, 4, 86–92 [in Russian].
- 6 Hirose, K. (2016). Fukushima Dai-ichi Nuclear Plant accident: Atmospheric and oceanic impacts over the five years. *Journal of Environmental Radioactivity*, 157, 113–130.
- 7 Oura, Y. (2015). Determination of atmospheric radiocesium on filter tapes used at automated SPM monitoring stations for estimation of transport pathways of radionuclides from Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 303, 1555–1559.
- 8 Yamamoto, M. (2006). Seasonal and spatial variation of atmospheric  $^{210}\text{Pb}$  and  $^7\text{Be}$  deposition: features of the Japan Sea side of Japan. *Journal of Environmental Radioactivity*, 86, 110–131.
- 9 Marple, V.A., & Liu, B.Y.H. (1974). Characteristics of Laminar Jet Impactors, *Environmental Science and Technology*, 8, 648–654.
- 10 Willeke, K. (1975). Performance of the Slotted Impactor, *AIHAJ*, 683–691.