

Изотопный состав атмосферного аэрозоля Таджикистана

С.Ф. Абдуллаев, В.А. Маслов, Б.И. Назаров, Х.И. Кодирова,
Р.А. Кариева, А.М. Джуроев, Т. Давлатшоев*

Физико-технический институт им. С.У. Умарова АН Республики Таджикистан
734063, г. Душанбе, Академгородок, ул. Айни, 299/1, Республика Таджикистан

Поступила в редакцию 19.05.2017 г.

Приведены результаты исследования распределения изотопов Tl-208, Pb-212, Ac-228, Pb-214, Bi-214, Th-234, Ra-226, Pb-210, Cs-137, Be-7 и K-40 в пробах атмосферного аэрозоля южной, центральной и северной частей Таджикистана. Обнаружены значимые корреляции между концентрациями изотопов Cs-137 и Th-234 (0,95), Cs-137 и Ra-226 (0,95), Ra-226 и Bi-214 (0,84), Ac-228 и Ra-226 (0,75), Pb-210 и Pb-214 (0,69), Ac-228 и Pb-214 (0,64), K-40 и Pb-212 (0,71), Cs-137 и Bi-214 (0,78), Th-234 и Pb-212 (0,67). Корреляции между концентрациями остальных изотопов незначимые или отрицательные. Статистические данные для пылевых вторжений свидетельствуют, что концентрации изотопов K-40, Cs-137 и Bi-214 превышают фоновый уровень загрязнения в сотни раз, а остальных изотопов – в десятки раз.

Ключевые слова: изотопы уранового и ториевого рядов, пылевой аэрозоль, почва, изотопный состав; isotopes of uranium and thorium series, dust aerosol, soil, isotope composition.

Республика Таджикистан расположена в глобальном пылевом поясе, поблизости от таких источников пыли, как высыхающее Аральское море, пустыни Такла-Макан, Аралкум, Кызылкум и Каракум, иранские пустыни Дашти Кабир и Дашти Лут, а также пустыня Сахара. Пыль, поднимаемая в этих пустынях, вторгается на территорию Таджикистана через его южную и западную границы в форме пылевой мглы (ПМ) или пылевой бури (ПБ). Эти пылевые вторжения часто называют «афганцы» [1–3].

Исследование аэрозольного загрязнения атмосферы актуально для понимания и решения проблем регионального и глобального трансграничного переноса пыли. В холодное время года воздух южных и центральных районов Таджикистана загрязняется выбросами автотранспорта, ТЭЦ, ЖКХ, частного сектора и цементного завода, а в теплое время атмосферу региона загрязняют пылевые вторжения с юга и запада [1–14]. На севере страны загрязнение атмосферы связано с выбросами автотранспорта, промышленных предприятий и переносом частиц аэрозоля с поверхности открытых хвостохранилищ данного региона [15–18].

В работе исследуется содержание (концентрация) изотопов уранового и ториевого рядов в пробах атмосферного аэрозоля Таджикистана. Пробы

аэрозоля готовились из пыли, осевшей на подложку. В южном и центральном Таджикистане сбор проб ежегодно проводился с апреля по ноябрь в период пылевых вторжений. В северном Таджикистане, где нет мощных пылевых эпизодов, пробы собирались эпизодически (26 проб). Всего было собрано 116 проб атмосферного аэрозоля в период с апреля 2007 г. по ноябрь 2016 г. Места отбора аэрозольных осадков изображены на рис. 1. Экспериментальная установка и методика эксперимента описаны в [11–14].

Точность определения удельной активности проб атмосферного аэрозоля была проверена на 15 образцах по пяти гамма-линиям для изотопов уранового и по семи линиям ториевого рядов [6–9].

Приведенные в табл. 1 статистические данные для проб аэрозоля свидетельствуют, что содержание изотопов K-40, Cs-137 и Bi-214 в сотни раз превышает фоновый уровень загрязнения, а содержание остальных изотопов – в десятки раз.

Из табл. 1 видно, что самые высокие концентрации изотопов Cs-137 и K-40 определены в пустыне Айвадж на юге страны, изотопов Ac-228, Bi-214, Ra-226, Pb-212, Pb-214, Tl-208 и Pb-210 – в г. Душанбе и Th-234 – в Зафарабадском р-не на севере страны (см. рис. 1). Наименьшее содержание изотопов Ac-228, Bi-214, Th-234, Ra-226, Cs-137 и K-40 зафиксировано в пустыне Айвадж, Pb-212 – в г. Душанбе, Pb-214, Tl-208 и Pb-210 – в Зафарабадском р-не.

Далее приведены результаты исследования распределения изотопов Tl-208, Pb-212, Ac-228, Pb-214, Bi-214, Th-234, Ra-226, Pb-210, Cs-137, Be-7 и K-40 в пробах пылевого аэрозоля южной, центральной и северной частей Таджикистана.

* Сабур Фузайлович Абдуллаев (sabor.f.abdullaev@gmail.com); Владимир Анатольевич Маслов (vamaslov@inbox.ru); Бахрон Исмолович Назаров (bakhnazar5158@mail.ru); Хикоят Исмаилова Кодирова (kh.kodirova@gmail.com); Рафика Амоновна Кариева (rafika.karieva@mail.ru); Абдугани Мукимович Джуроев (abdugani@mail.ru); Тавалло Давлатшоев (tavallo@mail.ru).

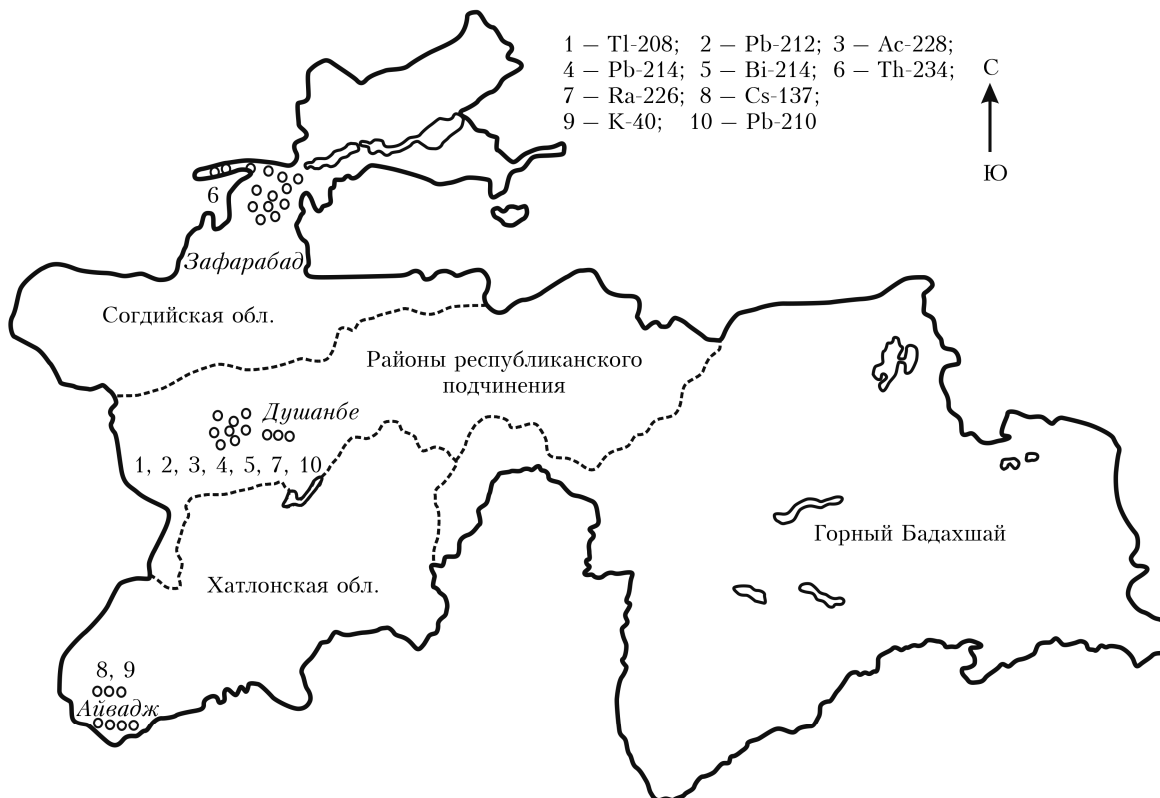


Рис. 1. Места отбора проб пылевого аэрозоля

Кривые среднемесячного содержания изотопов в частицах пылевых вторжений на юге Таджикистана (пустыня Айвадж) показывают (рис. 2), что наиболее высокое содержание изотопа Bi-214 — в октябре, Tl-208 — в сентябре, Ac-228 и K-40 — в апреле, Pb-214 и Pb-212 — в июне. Среднемесячный ход концентраций изотопов имеет значительные колебания, наиболее существенные в осеннее время.

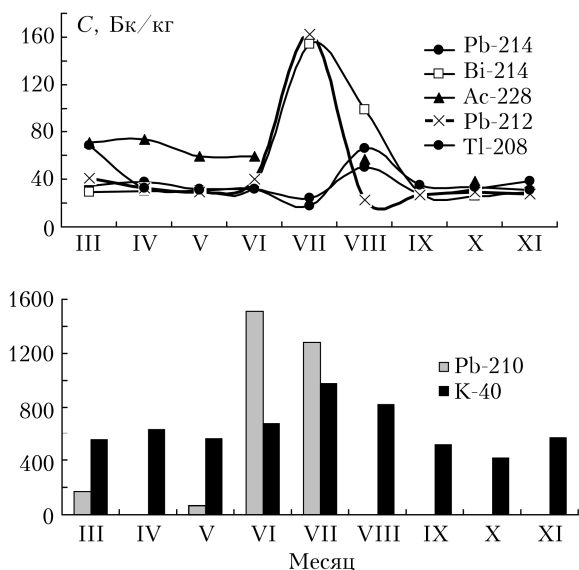


Рис. 2. Среднемесячное содержание изотопов уранового и ториевого рядов в пробах пылевого аэрозоля южной части Таджикистана (пустыня Айвадж, Шааргузский р-н)

Месячный ход содержания изотопов (рис. 3) в атмосферном аэрозоле северного Таджикистана (кишлак Яккабог Истравшанский р-н) показывает, что с апреля по октябрь межгодовой ход среднемесячного содержания некоторых изотопов имеет минимумы, что может быть связано с метеорологическими параметрами атмосферы и минимумом северных ветров. Рассчитаны коэффициенты корреляции среднемесячных концентраций изотопов в пробах атмосферного аэрозоля.

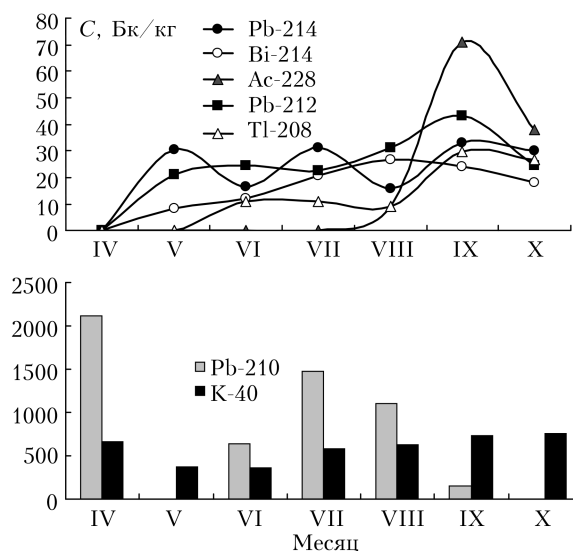


Рис. 3. Динамика среднемесячного содержания изотопов в атмосферном аэрозоле северной части Таджикистана

Статистические данные о пробах пылевого аэрозоля (всего 116 проб за 2007–2016 гг.)

Параметр	Pb-214	Bi-214	Ac-228	Pb-212	Tl-208	K-40	Th-234	Ra-226	Pb-210	Cs-137
N	97	102	45	97	88	110	7	34	97	24
$\langle C \rangle$	37,34	35,00	58,75	42,29	30,08	752,45	47,14	106,11	1054,15	15,16
C_{\max}	120,90	271,70	236,68	294,66	71,95	3097,79	79,36	185,10	3480,20	63,90
St_{\max}	Душанбе, 4.04.2010 г.	Душанбе, 16.07.2011 г.	Душанбе, 8.10.2010 г.	Душанбе, 16.07.2010 г.	Душанбе, 30.11.2007 г.	Айвадж, 16.01.2016 г.	Зафарабад, 10.08.2015 г.	Душанбе, 4.10.2010 г.	Душанбе, 4.04.2010 г.	Айвадж, 1.04.2016 г.
C_{\min}	2,70	2,33	14,46	5,30	1,00	3,41	26,65	48,43	67,41	0,17
St_{\min}	Зафарабад, 12.06.2014 г.	Айвадж, 10.06.2016 г.	Айвадж, 19.03.2010 г.	Душанбе, 8.08.2011 г.	Зафарабад, 12.06.2014 г.	Айвадж, 10.04.2016 г.	Айвадж, 8.06.2015 г.	Айвадж, 19.03.2010 г.	Зафарабад, 12.06.2014 г.	Айвадж, 8.06.2015 г.
σ	2,17	3,98	4,90	3,30	1,46	57,48	6,21	12,15	170,94	3,67
S_n	0,02	0,11	0,08	0,08	0,05	0,08	0,13	0,11	0,16	0,24
PI	13,83	15,02	4,06	7,98	30,08	220,66	1,77	2,19	15,64	89,18
I	3,20	3,32	1,44	2,41	4,33	7,20	0,24	0,55	3,38	5,89
D	44,78	116,61	16,37	55,60	71,95	908,44	2,98	3,82	51,63	375,88

Примечание. N – количество исследованных проб; $\langle C \rangle$ – среднее содержание изотопа в пробе, Бк/кг; C_{\max} – максимальное содержание изотопа в пробе, Бк/кг; St_{\max} – место и дата отбора пробы с максимальной концентрацией; C_{\min} – минимальное содержание изотопа в пробе, Бк/кг; St_{\min} – место и дата отбора пробы с минимальной концентрацией; σ – среднеквадратичное отклонение; S_n – погрешность; PI – интегральный индекс загрязнения изотопом; I – геохимический индекс загрязнения изотопом; $D = C_{\max}/C_{\min}$ – отношение максимального значения к фоновому (в качестве фонового значения принято минимальное содержание изотопа).

В табл. 2. приведены коэффициенты корреляции изотопов в частицах пылевого аэрозоля. Обнаружена значимая корреляция между концентрациями изотопов Cs-137 и Th-234 (0,95), Cs-137 и Ra-226 (0,95), Ra-226 и Bi-214 (0,84), Cs-137 и Bi-214 (0,78), Ac-228 и Ra-226 (0,75), Pb-210 и Pb-214 (0,69), Ac-228 и Pb-214 (0,64) и между изотопами K-40 и Pb-212 (0,71), Th-234 и Ac-228 (0,68), Th-234 и Pb-212 (0,67). Остальные изотопы не имеют значимой корреляции или имеют отрицательную корреляцию. Возможно, это говорит о различных механизмах поступления изотопов в пробах аэрозоля.

На рис. 4 представлены концентрации изотопов в пылевом аэрозоле и в почве южной части страны. Концентрация изотопа Pb-210 в пылевом аэрозоле намного больше, чем в почве зоны распространения ПМ. Для других изотопов соотношение обратное.

Сравнение концентраций изотопов в почве и в пылевом аэрозоле центральной части страны (рис. 5) показывает, что концентрации всех изотопов в пылевом аэрозоле больше, чем в почве зон распространения ПБ, что свидетельствует о пылевых вторжениях (ПВ) из сопредельных государств.

Бериллий-7 (рис. 5) – единственный из исследованных радионуклидов, который имеет атмосферное происхождение. Изотоп Be-7 был обнаружен всего в трех пробах аэрозолей: из пустыни Айвадж (19.03.2010 г., 25 Бк/кг) и в г. Душанбе (16.09.2010 г., 28 Бк/кг и 8.10.2010 г., 26 Бк/кг).

Сравнение данных на рис. 6 доказывает, что в северной части страны содержание изотопов, за

исключением изотопа Pb-210, в почве больше, чем в пылевых осадках. Это говорит о высокой загрязненности почвы в этом регионе, связанной, очевидно, как с накопленным за много лет разработки урановых месторождений высоким фоновым уровнем радиоактивности, так и с наличием открытых хвостохранилищ и промышленных объектов.

Межгодовые вариации концентраций изотопов в частицах пылевого аэрозоля (рис. 7) свидетельствуют, что в 2009 г. были максимальные концентрации изотопов Th-234, Pb-212, Pb-214, Bi-214, в 2010 г. – Ac-228, в 2011 г. – Ra-226, Cs-137, в 2014 г. – Pb-210 и в 2016 г. – K-40. Это говорит о различных источниках генерации пылевого аэрозоля и, по-видимому, связано с его дальним переносом.

Таким образом, установлено, что содержание изотопов уранового и ториевого рядов в пробах пылевого аэрозоля, собранного после пылевого вторжения, превышает в десятки раз их содержание в почвах зоны распространения ПБ, что указывает на обогащение частиц ПБ в сопредельных государствах (Афганистан, Пакистан, Иран, Китай, Индия, Сирия, Ирак). Высокое содержание радиоактивных изотопов уранового и ториевого рядов, обнаруженное в почвах северной части Таджикистана, свидетельствует о влиянии открытых хвостохранилищ и о накопившемся фоновом воздействии от промышленных предприятий данного региона. В целом наибольшее содержание изотопов Pb-214, Bi-214, Ac-228, Pb-212, Tl-208, Ra-226 и Pb-210 зафиксировано в центре (г. Душанбе), изотопа

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между содержанием изотопов в пробах пылевого аэрозоля (116 проб, 2007–2016 гг.)

Изотоп	Bi-214	Pb-212	Tl-208	K-40	Th-234	Ra-226	Pb-210	Cs-137	Ac-228
Pb-214	0,35	0,51	0,10	0,41	-0,17	0,74	0,69	0,63	0,64
Bi-214		0,01	0,19	0,18	0,34	0,84	0,04	0,78	0,44
Pb-212			0,19	0,71	0,67	0,45	0,63	0,27	0,41
Tl-208				0,24	0,40	0,24	0,25	0,87	0,07
K-40					0,39	0,44	-0,41	0,40	0,41
Th-234						0,55	0,48	0,95	0,68
Ra-226							-0,63	0,95	0,75
Pb-210								0,54	0,63
Cs-137									0,27

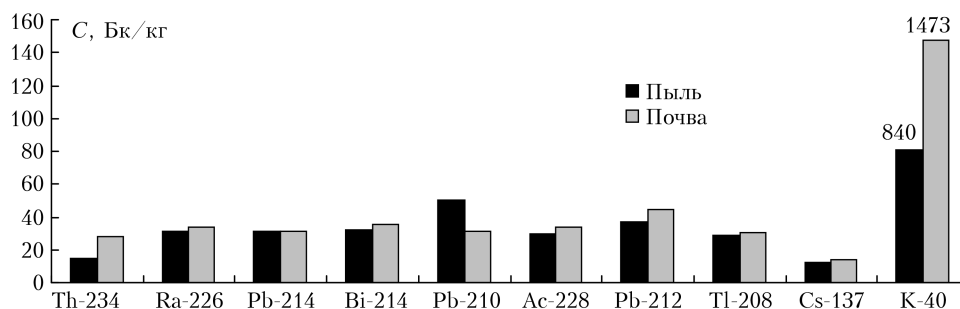


Рис. 4. Концентрация изотопов уранового и ториевого рядов в пробах пылевого аэрозоля и почвы южной части Таджикистана

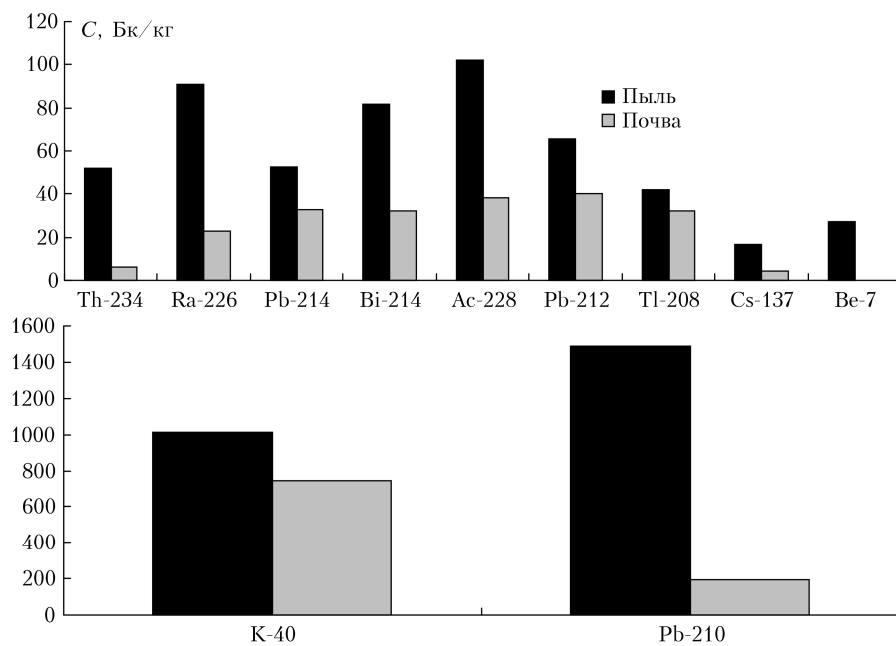


Рис. 5. Концентрация изотопов уранового и ториевого рядов в пробах пылевого аэрозоля и почвы центральной части Таджикистана

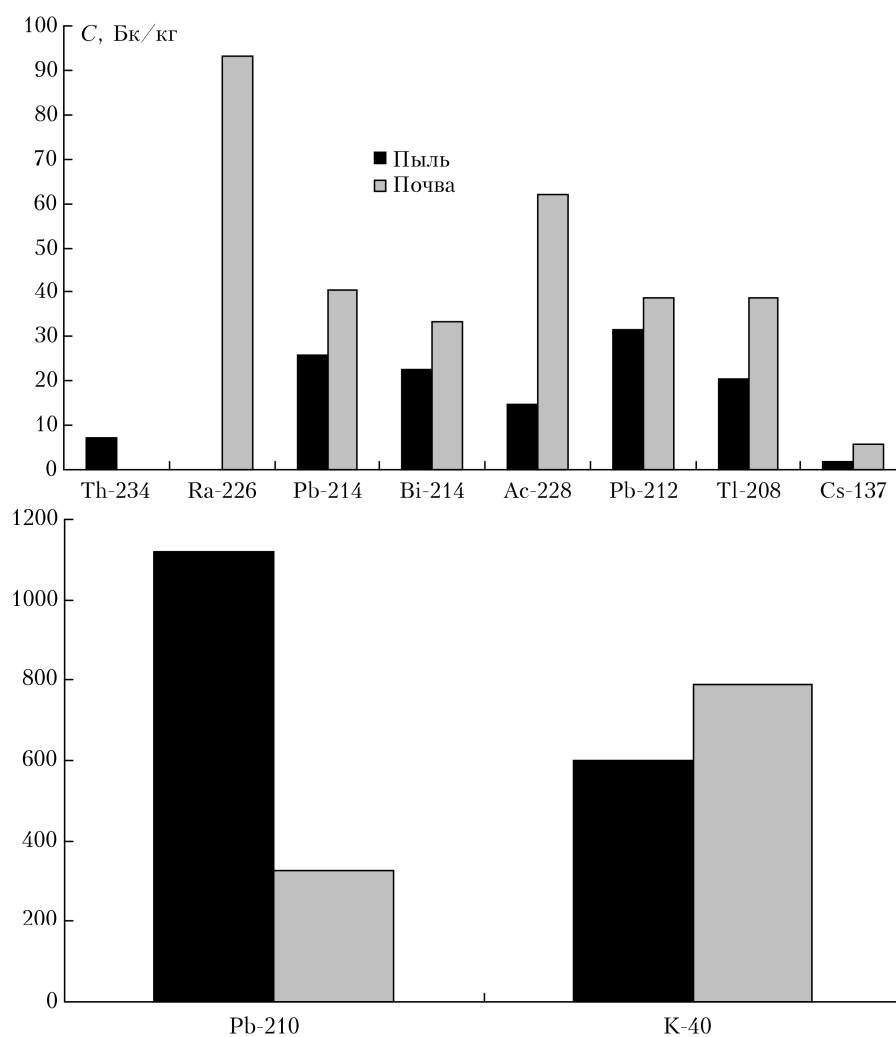


Рис. 6. Концентрация изотопов уранового и ториевого рядов в пробах пылевого аэрозоля и почвы северной части Таджикистана

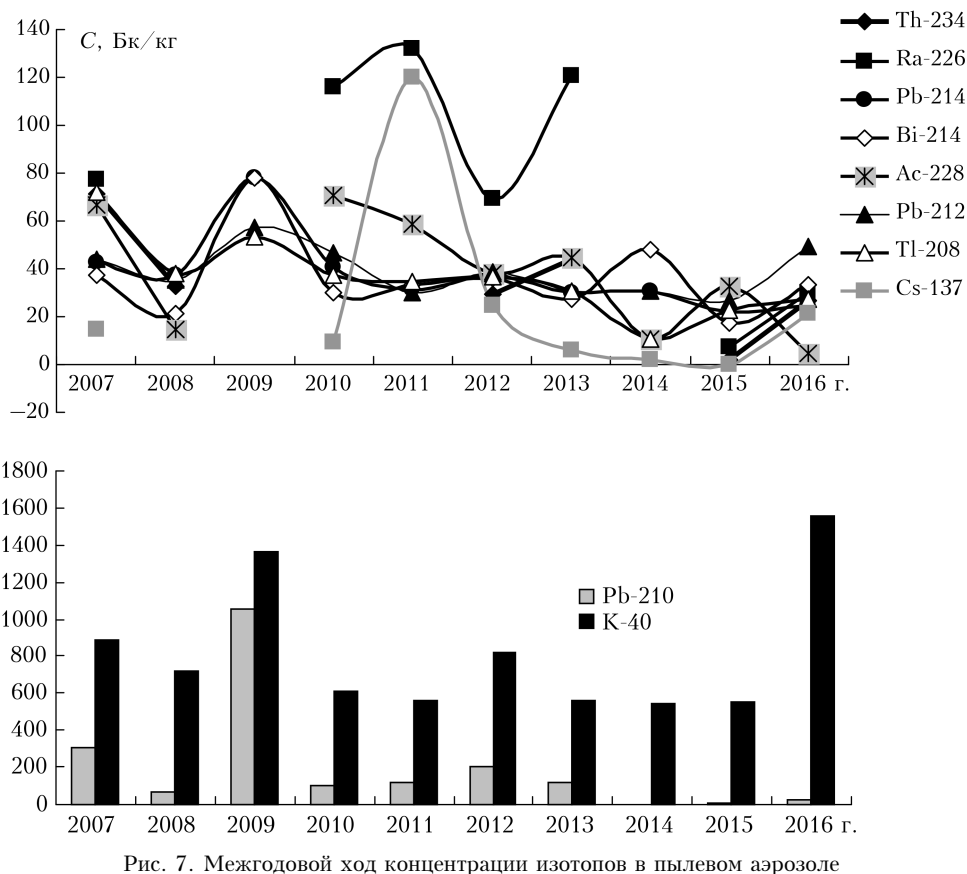


Рис. 7. Межгодовой ход концентрации изотопов в пылевом аэрозоле

Th-234 — в северных районах страны, изотопов K-40 и Cs-137 — в южных районах. Можно предположить, что значительная часть радионуклидов в центр Таджикистана перенесена аэрозолем из южной и западной частей.

1. Советско-американский эксперимент по изучению аридного аэрозоля / под. ред. Г.С. Голицына СПб.: НПО Тайфун, 1992. 208 с.
2. Белан Б.Д., Зуев В.Е., Панченко М.В. Основные результаты самолетного зондирования аэрозоля в ИОА СО РАН (1981–1991) // Оптика атмосф. и океана. 1995. Т. 8, № 1–2. С. 131–156.
3. Panchenko M.V., Terpugova S.A., Bodhaine B.A., Isakov A.A., Sviridenkov M.A., Sokolik I.N., Romashova E.V., Nazarov B.I., Shukurov A.K., Chistyakova E.I., Johnson T.C. Optical investigation of dust storms during U.S.S.R.–U.S. Experiments in Tadjikistan, 1989 // Atmos. Environ. Part A. 1993. V. 27, N 16. P. 2503–2508.
4. Gillette D.A., Dobrowolski J.P. Soil crust formation by dust deposition at Shaartuz, Tadjik, S.S.R // Atmos. Environ. Part A. 1993. V. 27, N 16. P. 2519–2525.
5. Gillette D.A., Bodhaine B.A., Mackinnon D. Transport and deposition of desert dust in the Kafirnigan river valley (Tadjikistan) from Shaartuz to Esanbay: Measurements and a simple model // Atmos. Environ. Part A. 1993. V. 27, N 16, P. 2545–2552.
6. Golitsyn G., Gillette D.A. Introduction: A joint Soviet-American experiment for the study of Asian desert dust and its impact on local meteorological conditions and climate // Atmos. Environ. Part A. 1993. V. 27, N 16. P. 2467–2470.

7. Sokolik I., Golitsyn G. Investigation of optical and radiative properties of atmospheric dust aerosols // Atmos. Environ. Part A. 1993. V. 27, N 16. P. 2509–2517.
8. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Щелканов Н.Н. Суточная изменчивость аэрозольного ослабления оптического излучения в дымках аридной зоны // Оптика атмосф. и океана. 1996. Т. 9, № 7. С. 945–951.
9. Павлов В.Е., Шестухин А.С. Аэрозольные оптические толщи и яркость неба в ИК-области спектра в аридных зонах земного шара // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 8, № 3. С. 252–255.
10. Althausen D., Heinold B., Abdullaev S.F. Central Asian Dust Experiment (CADEX) DUST-2014 // International Conference on Atmospheric Dust, 1–6 June, 2014. Castellaneta Marina, Italy. P. 34–38.
11. Абдуллаев С.Ф., Назаров Б.И., Маслов В.А., Джураев А.А. Распределение природной и техногенной радиоактивности в образцах почвы и пылевой мглы Таджикистана // Оптика атмосф. и океана. 2013. Т. 26, № 3. С. 187–193; Abdullaev S.F., Nazarov B.I., Maslov V.A., Djuraev A.A. Distribution of natural and anthropogenic radioactivity in samples of soil and dust haze in the south of Tajikistan // Atmos. Ocean. Opt. 2013. V. 26, N 5. P. 396–403.
12. Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А., Назаров Б.И., Мадвалиев У., Джураев А.А., Давлатиоев Т. Динамика распределения тяжелых металлов и радиоактивных изотопов в образцах почвы и пылевого аэрозоля юга Таджикистана // Оптика атмосф. и океана 2014. Т. 27, № 3. С. 207–214.
13. Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А., Назаров Б.И., Мадвалиев У., Давлатиоев Т. Содержание элементов в пробах почв и пылевого аэрозоля в Таджикистане // Оптика атмосф. и океана. 2015. Т. 28, № 2. С. 143–152.

14. *Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А., Назаров Б.И., Мадвалиев У., Давлатшоев Т.* Элементный состав почв и пылевого аэрозоля юго-центральной части Таджикистана // *Оптика атмосф. и океана*. 2015. Т. 28, № 3. С. 246–255; *Abdullaev S.F., Maslov V.A., Nazarov B.I., Madvaliev U., Davlatshoev T.* The elemental composition of soils and dust aerosol in the south-central part of Tajikistan // *Atmos. Ocean. Opt.* 2015. V. 28, N 4. P. 347–358.
15. *Назаров Х.М., Саломов Дж.А., Хакимов Н., Саломов Ф.Дж., Рахматов Н.Н.* Радиационный мониторинг хвостохранилища «Дигмай» // *Изв. АН РТ. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук*. 2015. № 2 (159). С. 78–82.
16. *Бобоев Б.Д., Назаров Х.М., Саломов Дж.А., Эрматов Э.А., Миряхяев В.М.* Рекомендации по уменьшению концентрации радона в воде родников и скважин Джаббор Расуловского района // *Изв. АН РТ. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук*. 2015. № 2 (159). С. 83–86.
17. *Назаров Х.М., Саломов Дж.А., Хакимов Н., Рахматов Н.Н., Эрматов Э.А.* Экологические аспекты реабилитации урановых хвостохранилищ г. Истиклола Республики Таджикистан // *Изв. АН РТ. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук*. 2015. № 2 (159). С. 87–92.
18. *Nazarov Kh.M., Mirsaidov I.* Physico-chemical basics for production of uranium concentrate from wastes of hydrometallurgical plants and technical waters // *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues*, 23–27 June, 2014. Vienna, Austria. P. 163.

S.A. Abdullaev, V.A. Maslov, B.I. Nazarov, H.I. Kodirova, R.A. Karieva, A.M. Djuraev, T. Davlatshoev. **Isotope composition of atmospheric aerosol of Tajikistan.**

The results of the study of distribution of Tl-208, Pb-212, Ac-228, Pb-214, Bi-214, Th-234, Ra-226, Pb-210, Cs-137, Be-7, and K-40 isotopes in samples of atmospheric aerosol from the southern, central, and northern parts of Tajikistan are represented. Significant correlations are found between the concentrations of isotopes Cs-137 and Th-234 (0.95), Cs-137 and Ra-226 (0.95), Ra-226 and Bi-214 (0.84), Ac-228 and Ra-226 (0.75), Pb-210 and Pb-214 (0.69), Ac-228 and Pb-214 (0.64), K-40 and Pb-212 (0.71), Cs-137 and Bi-214 (0.78), and Th-234 and Pb-212 (0.67). Concentrations between the concentrations of other isotopes are insignificant or inverse. The statistics for dust intrusions indicates that the concentrations of isotopes K-40, Cs-137, and Bi-214 are hundreds of times higher than the background pollution level, and of the remaining isotopes, up to tens of times.