

ОПТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И БАЗЫ ДАННЫХ ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

УДК 551.521.3, 551.583

Элементный состав почв и пылевого аэрозоля юго-центральной части Таджикистана

С.Ф. Абдуллаев, В.А. Маслов, Б.И. Назаров,
У. Мадвалиев, 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 29.04.2014 г.

Рассмотрена аэрозольная миграция тяжелых металлов. Анализ фонового загрязнения почвы тяжелыми металлами показал, что при вторжении пылевой мглы с юго-западной границы в частицах аэрозоля по сравнению с почвой зоны распространения пылевой мглы наблюдается повышенная концентрация элементов Sc, Zn, Ni, Cu, Ca, Sr и Ge. Обнаружена сильная миграция в атмосфере элементов Co, Zn, Rb, As и Sr. В пробе аэрозоля пылевой мглы выявлено малое количество K, Ti, Ni, V и Cr относительно кларка (среднего содержания элемента в земной коре), что свидетельствует о слабой миграции этих элементов в составе атмосферного воздуха. Еще более тревожным является накопление таких токсичных элементов, как Zn, Sb и As, содержание которых до 10 раз превышает кларк.

Ключевые слова: тяжелые металлы, почва, рентгено-флуоресцентный анализ почв, элементный состав, изотопы, кларк; heavy metals, soil, X-ray fluorescence analysis of soils, elemental composition, isotopes, Clarke.

Введение

В развитии экономики Таджикистана — одного из сельскохозяйственных регионов Центральной Азии, состояние почвы — очень важный фактор, так как почва является аккумулятором и депоном загрязнений. В последние годы среди наиболее опасных загрязнителей почвы все чаще оказываются тяжелые металлы. Техногенная причина загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами — это серьезная научная проблема. В литературе широко обсуждаются вопросы экологического нормирования содержания тяжелых металлов в различных компонентах экосистем и прежде всего в воде, воздухе, почвах и растениях. Их миграция и перераспределение в среде зависят от целого комплекса природных факторов, а также от интенсивности и характера техногенеза [1–22].

Формальные подходы к выделению этой группы химических элементов у разных авторов несколько различаются, но по существу противоречий нет. В классификации J.M. Wood [1] к очень токсичным тяжелым металлам отнесены: Be, Co, Ni, Cu, Zn, Sn, As, Se, Te, Rb, Ag, Cd, Hg, Pb, Sb и Pt. Приоритетными загрязнителями считаются Hg, Pb, Cd, Zn и As, так как их накопление в окружающей среде идет наиболее высокими темпами [2–7]. Повышенное вни-

мание экологов к техногенным источникам поступления тяжелых металлов в биосферу объясняется все возрастающими объемами промышленных выбросов и отходов. Установлено, что загрязнение тяжелыми металлами превышает природные поступления: по Pb — в 18,3; по Cd — 8,8; по Zn — в 7,2 раза [8, 9].

Основными источниками атмосферного загрязнения являются тепловые электростанции (27%), предприятия черной металлургии (24,3%), предприятия по добыче и переработке нефти (15,5%), транспорт (13,1%), предприятия цветной металлургии (10,5%), предприятия по добыче и изготовлению строительных материалов (8,1%) и химическая промышленность (1,3%) [2, 10].

Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах обусловлено их поступлением от природных (естественный фон) и техногенных источников. Тяжелые металлы техногенной природы попадают на поверхность почвы, и дальнейшая их судьба зависит от ее химических и физических свойств. Установлено, что загрязнение почв тяжелыми металлами практически вечно [11], так как они очень медленно удаляются из почвы при выщелачивании, эрозии, дефляции и усвоении растениями. Иногда под влиянием многолетнего загрязнения атмосферными выбросами верхний слой почвы представляет собой ее смесь с пылевыми частицами аэрозоля, золы и шлака [12].

Для понимания процессов миграции и аккумуляции тяжелых металлов важно выявить источники их поступления в окружающую среду. В самом общем плане выделяют естественные (природные) и техногенные источники тяжелых металлов [11, 13]. По литературным данным, большой ряд токсичности тя-

* Сабур Фузайлович Абдуллаев (sabur.f.abdullaev@gmail.com); Владимир Анатольевич Маслов (vamaslov@inbox.ru); Бахрон Исломович Назаров (systemavto@gambler.ru); Умархон Мадвалиев (umarkhon@mail.ru); Тавалло Давлатшоев (t_davlat@mail.ru).

железных металлов можно представить следующим образом: $Cd > Cu > Co = Ni > As = Cr > Zn > Mn = Fe > Pb$ [2].

В настоящей статье исследовано содержание тяжелых металлов в пробах аэрозоля и почв юго-центральной части Таджикистана. Подробное описание проб, экспериментальной установки и методики эксперимента приведено в [23–26]. Гамма-радиометрический анализ осуществлялся с помощью детектора производства фирмы «Canberra» (США) на основе сверхчистого германия GGX-1020, относительная эффективность 10%. Детектор обладает хорошим энергетическим разрешением 0,9 кэВ (полная ширина на половине высоты) для диапазона 12–42 кэВ и примерно 2 кэВ для энергии 1330 кэВ.

Измерения проводились в домике из свинца с толщиной стенок 5 см, облицованном с внутренней стороны слоем кадмия толщиной 2 мм. Внутренняя поверхность домика дезактивировалась перед каждым сеансом измерений. При измерениях образец помещался в сосуд Маринелли вместимостью 500 см³. Время измерения образцов и эталона составляло 6 ч, а время измерения фона (в начале и конце серии измерений) – 24 ч. Видно, что используемая система обладает необходимыми свойствами (эффективность, разрешение) для решения поставленной задачи. Точность определения удельной активности была проверена на 15 образцах по пяти гамма-линиям для изотопов уранового и по семи линиям ториевого рядов [23–26].

Отобранные образцы также были проанализированы методом рентгено-флуоресцентного анализа. В качестве анализатора применялась рентгено-флуоресцентная установка на основе кремниевого детектора высокого разрешения фирмы «Canberra», а для возбуждения рентгеновского излучения – трубка Eclipse II с регулируемым спектром возбуждения. Эти приборы позволили измерять концентрации элементов, начиная с калия, с чувствительностью не менее 0,1 ppm. Кювета с образцами размещалась над входным окном детектора. Толщина майлара, используемого в кювете, и толщина входного окна определяли нижний порог регистрируемого излучения. Установка позволяла надежно регистрировать характеристическое излучение элементов, начиная с калия, энергия излучения которого 3,3 кэВ.

Результаты показали, что установка с трубкой Eclipse II дает возможность получать чувствительность анализов не менее 10⁻⁵ г/г, или 0,1 ppm [23–26]. Предел обнаружения по предлагаемым методикам 0,1 ppm. Абсолютная погрешность измерения гамма-радиометрическим методом равна по торию 35%, для остальных элементов – не более 12%. Абсолютная погрешность рентгено-флуоресцентного метода составляет от 0,13% (для Fe) до 47% (для Se).

Обсуждение результатов

В табл. 1 приведено распределение элементов в частицах пылевого аэрозоля и почвах зоны распространения пылевой мглы в юго-центральной части Таджикистана. Анализ данных свидетельствует о по-

вышенной концентрации тяжелых элементов в частицах пылевого аэрозоля по сравнению с почвой пустыни: Sc (в 2,93 раза), Zn (2,89), Ni (2,58), Cu (1,91), Ca (1,75), Sr (1,83) и Ge (1,59), обнаружены более высокие концентрации, чем в почве города, для Zn (в 3,24 раза), Ca (3,3), Sc (2,39), Sr (1,89) и Cu (1,64).

Таблица 1

Соотношения содержания элементов в пробах

Элемент	А/Д	А/Ш	Д/К	А/К	Ш/К
K	0,90	0,83	0,91	0,82	0,99
Ca	3,30	1,75	1,24	3,83	2,19
Fe	0,76	0,67	1,6	1,21	1,82
Sc	2,39	2,93	45,72	109,13	37,26
Ti	0,63	0,78	1,19	0,75	0,97
V	0,35	0,42	2,33	0,82	1,93
Cr	1,17	0,97	0,65	0,76	0,78
Mn	0,74	0,96	1,42	1,06	1,1
Co	0,79	0,64	10,63	8,41	13,16
Ni	0,53	2,58	0,28	0,15	0,06
Cu	1,64	1,91	0,51	0,84	0,44
Zn	3,24	2,89	1,09	3,52	1,22
Ga	0,84	0,73	1,81	1,53	2,08
Ge	0,73	1,59	7,13	5,2	3,27
As	0,08	0,14	17,89	1,44	10,44
Se	0,62	0,83	110	68	82
Br	0,79	1,10	6,04	4,8	4,36
Rb	0,72	0,64	2,67	1,91	2,98
Sr	1,89	1,83	19,56	37,01	20,17
Yb	0,73	0,86	2,19	1,61	1,86
Zr	0,72	1,10	2,28	1,63	1,48
Nb	0,74	0,77	1,99	1,48	1,91
Mo	0,70	0,80	17,2	12	15,07

Примечание. А – проба аэрозоля г. Душанбе; Д – проба почв г. Душанбе; Ш – проба почв пустыни Шаартуз; К – кларк элемента.

Превышение кларка (среднего содержания элемента в земной коре) этими элементами в частицах аэрозоля означает, что пылевая мгла обогащена ими в сопредельных государствах. Хотя коэффициент корреляции между частицами аэрозоля пылевой мглы и почв пустыни составляет 0,97, нельзя утверждать, что пылевая мгла образована из почв этой пустыни, так как по некоторым элементам, например As, V, Fe, Se, Nb, Mo, Rb и т.д., это соотношение находится в области 0,08–0,8.

В пробах аэрозоля обнаружено превышение кларка для Sc (в 109 раз), Se (68), Sr (37), Mo (12), Ge (5,2), Co (8,41), Ca (3,8), Zn (3,52), Rb (1,91) и As (1,44). Особенно тревожит накопление в атмосфере очень токсичных элементов – сильная миграция в атмосфере наблюдается для элементов Co, Zn, Rb, As и Sr. Как видно из табл. 1, в пробе пылевого аэрозоля содержится малое количество K, Ti, Ni, V и Sr по сравнению с кларком, что говорит о слабой миграции этих элементов в воздухе.

В табл. 2 даны координаты точек сбора проб, а в табл. 3 приведены статистические данные о содержании некоторых элементов в почве юго-центральной

Таблица 2

**Координаты точек сбора проб почв
юго-центральной части Таджикистана**

№ пробы (дата)	Место сбора проб почв	Долгота, град	Широта, град
1 (15.11.08)	Нижний Пяндж	37,1975	68,6097
2 (16.11.08)	Айвадж	36,9486	68,0005
3 (16.11.08)	Шаартуз	37,2513	68,1526
4 (17.11.08)	Джиликуль	37,5532	68,5271
5 (26.05.09)	Нижний Пяндж	37,1975	68,6097
6 (26.05.09)	Вахш	38,8051	69,8822
7 (27.05.09)	Кафирниган	38,4569	68,7364
8 (26.05.09)	Нижний Пяндж	37,1975	68,6097
9 (27.05.09)	Айвадж	36,9486	68,0005
10 (26.05.09)	Вахш	38,8051	69,8822
11 (27.05.09)	Вахш	38,8051	69,8822
12 (03.07.09)	Шаартуз	37,2513	68,1526
13 (03.07.09)	Джиликуль	37,5532	68,5271
14 (29.10.09)	Шаартуз	37,2513	68,1526
15 (29.10.09)	Джиликуль	37,5532	68,5271
16 (28.10.09)	Нижний Пяндж	37,1975	68,6097
17 (28.10.09)	Айвадж	36,9486	68,0005
18 (11.11.09)	Ширкент	37,2513	68,1526
19 (11.11.09)	Каратог	38,6833	68,3734
20 (11.11.09)	Хонако	38,6515	68,5768
21 (11.11.09)	Лучоб	38,5976	68,7663
22 (11.11.09)	Варзоб	38,5817	68,7752
23 (11.11.09)	Гиссар	38,5795	68,7746
24 (11.11.09)	Душанбе	38,5764	68,7544
25 (11.11.09)	Душанбе	38,5764	68,7544
26 (22.04.10)	Нижний Пяндж	37,1975	68,6097
27 (22.04.10)	Шаартуз	37,2513	68,1526
28 (22.04.10)	Джиликуль	37,5532	68,5271
29 (22.04.10)	Айвадж	36,9486	68,0005
30 (12.06.10)	Каратог	38,6833	68,3734
31 (12.06.10)	Хонако	38,6515	68,5768
32 (12.06.10)	Каратог	38,6833	68,3734
33 (12.06.10)	Хонако	38,6515	68,5768
34 (12.06.10)	Хонако	38,6515	68,5768
35 (31.10.10)	Нижний Пяндж	37,1975	68,6097
36 (01.11.10)	Айвадж	36,9486	68,0005
37 (01.11.10)	Шаартуз	37,2513	68,1526
38 (01.11.10)	Джиликуль	37,5532	68,5271

части Таджикистана. Сопоставление содержания элементов с кларком показывает, что в почве находится избыточное содержание Sb (в 10,17–21,5 раза), Au (25–125), Ba (2,03–5,81), As (2,05–5,68), Zn (0,75–4,55), La (1,47–4,33), Ca (1,91–4,32), Na (0,79–3,06), Ce (1,17–2,53), U (0,90–2,27) и Cs (0,76–1,65). Опасным является высокое содержание очень токсичных элементов, таких как Sb, Ba, As и Zn, до 10 раз превышающее кларк. В почвах юго-центральной части Таджикистана обнаружен существенный дефицит элементов Co и Lu, их содержание относительно кларка составляет 0,15–0,37 и 0,11–0,57 соответственно.

На рис. 1 представлено содержание элементов в пробах почвы (города и пустыни) и пылевого аэрозоля. Как видно из рис. 1, а, коэффициент корреляции очень высок – 0,99, что означает малое отличие содержания элементов в городской и пустынной почвах. При сравнении концентрации элементов в пробах пылевой мглы и в почвах пустыни (рис. 1, б) и города (рис. 1, в) установлено, что коэффициент корреляции в обоих случаях равен 0,97. В пробах аэрозоля пылевой мглы содержание элементов Ca, Sc, Sr, Zn, Cr, Cu, Y, Ga, Ni, Ge, Mn и Zr больше, эти элементы расположены над прямой линией. Элементы Fe, K, Ti, Co, Rb, V, Nb, Mo и As расположены под прямой, это означает что их меньше в пробах аэрозоля пылевой мглы, чем в пробах почвы. Следовательно обогащение почвы элементами Ca, Sc, Sr, Zn, Cr, Cu, Y, Ga, Ni, Ge, Mn и Zr из атмосферы происходит в период пыльных бурь (пылевой мглы).

В табл. 4 представлены геохимические индексы загрязнения, вычисленные по формуле [27–30]:

$$I_{\text{geo}} = \log_2 \left(\frac{C_i}{1,5B_i} \right),$$

где C_i – концентрация элемента в почве; B_i – фоновое содержание элемента в почве. Нами использовано среднее значение кларка, взятое из [31–36].

Согласно [27] для каждого металла рассчитывался параметр I_{geo} . Почвы классифицируются как незагрязненные ($I_{\text{geo}} \leq 0$); от незагрязненных до умеренно загрязненных ($0 < I_{\text{geo}} \leq 1$); умеренно загрязненные

Таблица 3

**Статистические характеристики содержания элементов
в почвах юго-центральной части Таджикистана**

Элемент	<C>	C_{\min}	C_{\max}	σ	V	<C>/K	C_{\max}/K
As	7,6	2,6	21	3,27	0,43	2,05	5,68
Au	0,01	0	0,05	0,01	0,67	25,00	125,00
Ba	529	100	1510	276,58	0,52	2,03	5,81
Ca, %	6,45	0,63	14,6	3,05	0,47	1,91	4,32
Ce	50,3	10,9	108,7	15,08	0,3	1,17	2,53
Co	9,5	5,6	13,8	2,37	0,25	0,26	0,37
Cr	48,7	25	74,5	13,18	0,27	0,26	0,39
Cs	4,1	1,5	8,9	1,55	0,38	0,76	1,65
Eu	1	0,62	1,39	0,18	0,18	1,01	1,40
Fe, %	2,27	0,28	3,83	0,79	0,35	0,48	0,81
Hf	5	2,5	8,1	1,37	0,27	1,59	2,58
La	29,9	14,6	88,2	11,93	0,4	1,47	4,33
Lu	0,29	0,1	0,54	0,67	2,3	0,31	0,57
Mn	556	350	993	143,73	0,26	0,65	1,17
Na, %	2,09	0,16	8,05	1,67	0,8	0,79	3,06

Элемент	$\langle C \rangle$	C_{\min}	C_{\max}	σ	V	$\langle C \rangle / K$	C_{\max} / K
Rb	81	5	120	26,27	0,32	0,28	0,41
Sb	1,22	0,1	2,58	1,2	0,98	10,17	21,50
Sc	9,5	5,5	14	1,96	0,21	0,97	1,43
Sm	4,2	2,3	6,2	0,96	0,23	0,61	0,90
Tb	0,55	0,26	1,08	0,18	0,33	0,32	0,63
Th	11,4	4,2	38	6,22	0,54	1,09	3,65
U	2,9	1,2	7,4	1,35	0,46	0,90	2,28
Yb	2,1	1	4,5	0,56	0,27	0,62	1,32
Zn	90	34	546	94,08	1,05	0,75	4,55

Примечание. $\langle C \rangle$ – среднее содержание элемента в почве, ppm; C_{\min} и C_{\max} – минимальное и максимальное содержание элемента в почве, ppm; σ – среднеквадратическое отклонение; V – коэффициент вариации элементов в почве; K – кларк элемента.

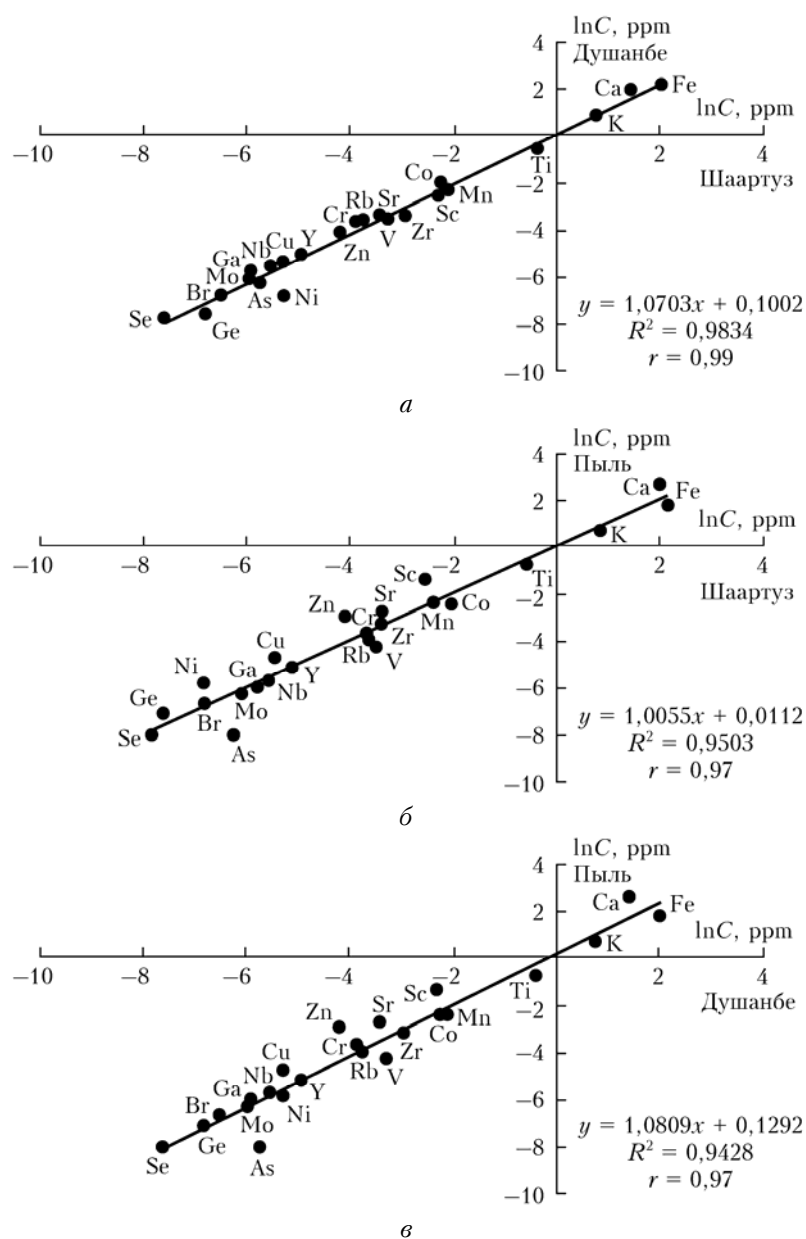


Рис. 1. Корреляция содержания элементов в пробах почв города и пустыни (а), пылевого аэрозоля и почвы пустыни (б), почвы города (в)

Геохимические индексы загрязнения почв юго-центральной части Таджикистана

№ пробы	As	Au	Ba	Ca	Ce	Co	Cr	Cs
1	0,45	1,55	-1,96	0,62	-0,36	-2,33	-2,01	-0,40
2	0,51	—	0,85	0,34	-0,32	-2,01	-2,47	-0,84
3	-0,15	2,17	0,81	0,31	-0,15	-2,37	-2,42	-0,63
4	0,21	1,64	0,17	0,80	-0,86	-2,23	-2,26	-1,88
5	1,11	-0,43	-0,16	-3,01	-0,41	-2,25	-2,24	-0,98
6	1,92	-0,95	0,37	-2,74	-0,17	-2,35	-2,43	-0,39
7	0,99	-1,53	0,11	-2,84	-0,10	-2,31	-2,27	-0,76
8	0,97	—	0,24	1,53	-0,58	-2,13	-2,21	-1,02
9	0,33	1,37	—	1,10	-0,69	-2,63	-2,77	-1,35
10	1,33	—	—	0,92	-0,14	-2,39	-2,44	-0,90
11	0,83	2,05	—	0,93	-0,44	-2,43	-2,29	-0,61
12	0,26	-0,18	0,12	0,74	-0,42	-3,26	-3,27	-1,03
13	-0,10	—	0,18	1,17	-0,79	-3,22	-2,85	-2,39
14	-0,15	1,24	0,64	0,11	-0,28	-3,09	-3,17	-1,53
15	-0,50	0,98	-0,30	0,56	-1,21	-3,25	-3,12	-2,14
16	0,40	—	0,28	0,35	-0,79	-2,79	-2,72	-1,57
17	0,00	—	0,03	0,46	-0,56	-3,02	-2,80	-1,34
18	-0,18	—	0,53	-0,06	-0,04	-2,25	-2,65	-0,76
19	0,17	-0,77	0,98	-0,27	-0,22	-2,54	-2,27	-1,05
20	0,69	1,37	0,70	0,31	-0,19	-2,70	-2,55	-0,81
21	0,32	1,55	0,48	-0,01	-0,03	-2,23	-2,27	-0,38
22	0,76	2,11	0,49	0,28	-0,06	-2,19	-2,06	-0,66
23	0,53	3,02	0,98	-0,37	0,13	-2,04	-1,94	0,14
24	0,62	0,19	0,69	0,12	-2,56	-2,44	-2,44	-0,34
25	0,55	0,10	0,48	0,22	0,02	-2,32	-2,18	-0,85
26	0,39	0,27	-1,08	0,68	-0,71	-2,71	-2,78	-1,50
27	-0,90	1,17	0,42	0,03	-0,43	-3,31	-3,51	-1,74
28	-0,11	1,47	1,67	1,14	-1,07	-3,16	-3,15	-2,35
29	-0,04	0,65	-0,47	0,57	-0,73	-3,19	-3,03	-1,98
30	0,65	1,37	-1,42	-0,84	-0,21	-2,42	-2,42	-0,84
31	0,35	1,05	1,26	0,06	-0,80	-3,02	-3,21	-1,54
32	0,04	0,84	-0,56	-0,78	-0,17	-2,68	-2,71	-1,13
33	0,93	0,93	-0,09	0,63	-0,16	-2,14	-2,04	-0,77
34	0,13	1,05	0,02	0,62	-0,36	-2,57	-2,87	-0,91
37	0,67	0,68	0,18	0,45	-0,43	-2,33	-2,24	-0,86
38	-1,07	1,03	1,95	-2,22	0,75	-2,53	-3,51	-0,37
№ пробы	Eu	Fe	Hf	La	Lu	Mn	Na	Rb
1	-0,36	-1,23	0,03	0,13	-3,83	-1,31	-1,49	-2,21
2	-0,19	-1,38	0,30	0,08	-1,40	-1,20	-1,21	-2,08
3	-0,31	-1,44	0,49	0,26	-1,87	-1,32	-1,72	-2,09
4	-0,88	-1,44	-0,35	-0,55	-2,30	-1,19	-0,66	-3,24
5	-0,73	-4,67	-0,11	-0,38	-2,61	—	-3,23	-2,67
6	-0,63	-4,62	0,13	-0,13	-2,41	—	-4,23	-6,58
7	-0,55	-4,64	0,25	-0,05	-2,41	—	-4,62	-2,47
8	-0,27	-1,37	-0,14	-0,18	-2,57	-0,93	0,10	-2,85
9	—	-1,74	-0,13	-0,35	-3,83	-1,14	-0,78	-2,12
10	-0,62	-1,42	-0,01	0,20	-2,07	-1,01	-1,28	-2,28
11	-0,44	-1,42	-0,19	-0,13	-1,83	-0,92	-1,27	-2,82
12	-0,60	-2,00	0,64	-0,07	-3,15	-1,56	-1,28	-2,05
13	-0,84	-1,91	-0,24	-0,41	-2,11	-1,44	0,26	-3,08
14	-0,42	-2,02	0,64	-0,20	—	-1,81	-1,33	-2,17
15	-1,26	-2,17	-0,76	-1,06	—	-1,77	0,85	-3,96
16	-1,05	-1,82	-0,91	-0,65	—	-1,00	1,03	-2,78
17	-0,81	-1,90	-0,30	-0,53	—	-1,87	-0,94	-2,05
18	-0,40	-1,36	0,08	0,00	—	-1,20	-1,94	-2,01
19	-0,46	-1,44	0,55	-0,23	—	-1,57	-1,82	-2,33
20	-0,38	-1,65	0,47	-0,04	—	-1,41	-1,78	-2,24
21	-0,36	-1,26	0,02	0,04	—	-1,43	-1,90	-2,13
22	-0,46	-1,13	0,09	-0,03	—	-0,46	-1,28	-1,89

№ пробы	Eu	Fe	Hf	La	Lu	Mn	Na	Rb
23	-0,30	-0,99	-0,18	0,11	—	-1,62	-2,01	-1,86
24	-0,42	-1,31	0,09	0,95	—	-1,36	-1,78	-2,15
25	-0,33	-1,32	0,31	0,07	—	-1,17	-1,71	-2,06
26	-0,90	-1,72	-0,75	-0,53	-2,57	-1,48	-0,41	-3,12
27	-1,22	-2,15	0,39	-0,07	-2,63	-1,82	-1,48	-2,20
28	-1,17	-2,12	-0,78	-0,85	-2,45	-1,04	-0,34	-4,16
29	-0,86	-2,00	-0,22	-0,41	-2,63	-1,13	-0,75	-2,62
30	-0,63	-1,50	-0,27	-0,03	-1,95	-1,44	-1,86	-2,47
31	-0,68	-1,88	0,42	-0,55	-2,20	-0,86	-1,65	-2,50
32	-0,76	-1,65	0,46	-0,01	-1,80	-1,33	-1,91	-2,48
33	-0,48	-1,20	-0,11	0,09	-1,70	-0,68	-1,78	-2,32
34	-0,46	-1,59	-0,12	-0,12	-1,98	-1,15	-1,90	-2,28
37	-0,74	-1,26	0,00	0,02	-2,63	-0,90	0,25	-2,46
38	-0,10	-0,88	0,79	1,53	-2,26	-0,36	-0,72	-1,94
№ пробы	Sb	Sc	Sm	Tb	Th	U	Yb	Zn
1	-0,85	-0,54	-1,17	-2,23	-0,51	-0,85	-2,35	-1,23
2	2,74	-0,69	-1,17	-2,01	-0,39	-0,96	-1,15	-1,30
3	3,40	-0,74	-1,17	-2,23	-0,15	-0,96	-1,03	-0,97
4	-0,85	-0,60	-1,65	-2,55	-1,20	-0,52	-1,42	-1,34
5	2,28	-0,50	-1,23	-1,58	-0,98	-0,96	-1,31	-1,57
6	3,28	-0,42	-1,05	-1,44	-0,61	-0,85	-1,21	-1,47
7	2,67	-0,45	-0,88	-1,25	-0,59	0,13	-1,09	-1,46
8	—	-0,57	-1,14	-2,31	-0,46	-0,64	-1,45	-1,36
9	3,57	-0,83	-1,25	-2,73	-0,60	-0,70	-1,71	-1,76
10	3,24	-0,54	-0,81	-2,52	-0,23	0,60	-1,12	-1,43
11	2,74	-0,62	-1,02	-1,78	0,10	-1,10	-1,12	-1,21
12	1,96	-1,22	-1,03	-2,49	0,18	-0,31	-1,26	-1,88
13	—	-0,80	-1,53	-2,97	-0,91	-1,15	-1,43	-1,51
14	3,09	-1,02	-1,36	-2,23	-0,35	-0,04	-1,42	-2,00
15	1,94	-1,03	-2,17	-3,01	-1,72	-0,84	-2,03	-2,26
16	1,44	-0,81	-1,86	-2,84	-1,33	-1,47	-1,61	-1,67
17	2,98	-0,93	-1,64	-2,59	-1,07	-0,95	-1,66	-1,68
18	2,54	-0,43	-1,27	-2,08	0,59	-1,10	-1,10	-1,43
19	3,13	-0,30	-1,17	-2,13	-0,91	-1,43	-1,06	-1,47
20	3,62	-0,64	-1,18	-1,97	0,03	-0,81	-1,34	1,60
21	3,25	-0,26	-1,12	-1,93	-0,41	-0,67	-1,31	-0,60
22	3,77	-0,28	-1,12	-1,93	-0,49	-1,64	-1,27	-0,54
23	3,84	-0,07	-1,12	-1,86	-1,17	0,36	-1,24	1,12
24	3,13	-0,39	-1,00	-2,01	0,01	-0,52	-1,23	-0,39
25	3,42	-0,33	-1,10	-1,93	-0,49	-1,06	-1,07	-0,38
26	—	-0,93	-1,80	-3,31	-1,40	-1,97	-1,73	-1,47
27	2,31	-1,42	-1,69	-2,93	-0,62	-1,33	-1,68	-2,07
28	1,35	-1,17	-2,17	-3,11	-1,90	-0,45	-1,88	-1,94
29	0,83	-1,18	-1,78	-2,93	-1,25	-1,58	-1,77	-1,73
30	—	-0,53	-1,46	-2,49	-1,17	-1,22	-1,10	-1,49
31	3,01	-1,02	-1,92	-3,15	-1,34	-1,21	-1,39	-1,67
32	3,07	-0,87	-1,37	-2,52	-0,66	-0,94	-0,94	-2,41
33	—	-0,34	-1,17	-2,08	-0,75	-0,96	-0,99	-1,24
34	0,35	-0,73	-1,36	-2,37	-0,84	-1,35	-0,18	-1,59
37	2,54	-0,41	-1,46	-2,15	-0,53	-0,87	-1,38	-1,44
38	2,42	-0,83	-0,74	-1,88	1,28	0,24	-1,10	-1,75

($1 < I_{\text{гео}} \leq 2$); от умеренно до сильно загрязненных ($2 < I_{\text{гео}} \leq 3$); сильно загрязненные ($3 < I_{\text{гео}} \leq 4$); экстремально сильно загрязненные ($4 < I_{\text{гео}} \leq 5$); крайне сильно загрязненные ($I_{\text{гео}} \geq 5$).

Как видно из табл. 4, по этой классификации почва сильно загрязнена элементами Sb ($I_{\text{гео}} = 3,84$)

и Au ($I_{\text{гео}} = 3,02$), а остальными умеренно ($1 < I_{\text{гео}} \leq 2$) или до этого уровня ($0 < I_{\text{гео}} \leq 1$).

Для дальнейшей оценки уровня загрязнения металлами почвы Таджикистана рассчитывался интегрированный индекс загрязнения металлами (ИПИ), который определялся как среднее значение индекса

загрязнения элемента. В нашем исследовании IPI каждого элемента вычисляется как отношение концентрации металла в почве к фоновой концентрации по соотношению [27–30]:

$$IPI = C_i/B_i.$$

Здесь фоновое значение концентрации каждого металла B_i определяется как среднее от приводимых в литературе значений кларка [31–36].

Параметр IPI классифицируется следующим образом: $IPI \leq 1$ – низкий уровень загрязнения;

$1 < IPI \leq 2$ – умеренный; $2 < IPI \leq 5$ – высокий; $IPI > 5$ – крайне высокий [27–30].

Значения IPI для металлов в почвах юго-центральной части Таджикистана представлены в табл. 5. Видно, что по этой классификации почва имеет крайне высокий уровень загрязнения по элементам: Sb ($0,83 < IPI < 21,5$ при среднем 10,46), Au ($0,52 < IPI < 12,18$ при среднем 3,45), As ($0,71 < IPI < 5,68$ при среднем 2,08) и Ba ($0,38 < IPI < 5,81$ при среднем 2,05); высокий уровень загрязнения Ca ($0,19 < IPI < 4,32$ при среднем 1,89),

Таблица 5

Интегрированные индексы загрязнения металлами почв юго-центральной части Таджикистана

№ пробы	As	Au	Ba	Ca	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Fe	Hf	La
1	2,05	4,40	0,38	2,31	1,17	0,30	0,37	1,13	1,17	0,64	1,53	1,64
2	2,14	–	2,70	1,89	1,20	0,37	0,27	0,84	1,31	0,57	1,85	1,59
3	1,35	6,74	2,64	1,86	1,35	0,29	0,28	0,97	1,21	0,55	2,10	1,79
4	1,73	4,66	1,68	2,60	0,83	0,32	0,31	0,41	0,82	0,55	1,18	1,03
5	3,24	1,11	1,34	0,19	1,13	0,32	0,32	0,76	0,90	0,06	1,39	1,15
6	5,68	0,78	1,94	0,22	1,33	0,29	0,28	1,14	0,97	0,06	1,64	1,38
7	2,97	0,52	1,61	0,21	1,39	0,30	0,31	0,88	1,03	0,06	1,78	1,44
8	2,95	–	1,78	4,32	1,00	0,34	0,32	0,74	1,24	0,58	1,36	1,33
9	1,89	3,89	–	3,22	0,93	0,24	0,22	0,59	–	0,45	1,37	1,18
10	3,78	–	–	2,84	1,36	0,29	0,28	0,80	0,98	0,56	1,49	1,72
11	2,66	6,22	–	2,85	1,11	0,28	0,31	0,98	1,11	0,56	1,32	1,38
12	1,79	1,32	1,63	2,50	1,12	0,16	0,16	0,73	0,99	0,37	2,33	1,42
13	1,40	–	1,70	3,37	0,87	0,16	0,21	0,29	0,84	0,40	1,27	1,13
14	1,35	3,55	2,33	1,62	1,23	0,18	0,17	0,52	1,12	0,37	2,33	1,30
15	1,06	2,95	1,22	2,22	0,65	0,16	0,17	0,34	0,63	0,33	0,89	0,72
16	1,98	–	1,82	1,91	0,87	0,22	0,23	0,51	0,73	0,43	0,80	0,96
17	1,50	–	1,53	2,06	1,01	0,19	0,22	0,59	0,86	0,40	1,22	1,04
18	1,32	–	2,17	1,44	1,46	0,32	0,24	0,88	1,14	0,58	1,59	1,50
19	1,69	0,88	2,97	1,25	1,28	0,26	0,31	0,72	1,09	0,55	2,20	1,28
20	2,43	3,89	2,43	1,86	1,31	0,23	0,26	0,86	1,15	0,48	2,07	1,46
21	1,87	4,40	2,09	1,49	1,47	0,32	0,31	1,15	1,17	0,63	1,52	1,54
22	2,54	6,48	2,10	1,82	1,43	0,33	0,36	0,95	1,09	0,69	1,60	1,47
23	2,16	12,18	2,95	1,16	1,64	0,36	0,39	1,65	1,22	0,75	1,33	1,62
24	2,31	1,71	2,42	1,63	0,25	0,28	0,28	1,19	1,12	0,60	1,60	2,90
25	2,19	1,61	2,10	1,75	1,52	0,30	0,33	0,83	1,19	0,60	1,86	1,58
26	1,96	1,81	0,71	2,41	0,91	0,23	0,22	0,53	0,81	0,46	0,89	1,04
27	0,81	3,37	2,00	1,53	1,12	0,15	0,13	0,45	0,65	0,34	1,96	1,42
28	1,39	4,15	4,77	3,31	0,71	0,17	0,17	0,29	0,67	0,34	0,87	0,83
29	1,45	2,36	1,08	2,23	0,90	0,16	0,18	0,38	0,83	0,37	1,29	1,13
30	2,36	3,89	0,56	0,84	1,30	0,28	0,28	0,84	0,97	0,53	1,24	1,47
31	1,91	3,11	3,60	1,57	0,86	0,18	0,16	0,52	0,94	0,41	2,00	1,03
32	1,54	2,69	1,02	0,88	1,33	0,23	0,23	0,69	0,89	0,48	2,06	1,49
33	2,86	2,85	1,41	2,32	1,35	0,34	0,36	0,88	1,08	0,65	1,39	1,60
34	1,64	3,11	1,52	2,30	1,17	0,25	0,21	0,80	1,09	0,50	1,38	1,38
37	2,38	2,41	1,70	2,05	1,11	0,30	0,32	0,83	0,90	0,63	1,50	1,52
38	0,71	3,06	5,81	0,32	2,53	0,26	0,13	1,16	1,40	0,81	2,59	4,33
№ пробы	Lu	Mn	Na	Rb	Sb	Sc	Sm	Tb	Th	U	Yb	Zn
1	0,11	0,61	0,53	0,32	0,83	1,03	0,67	0,32	1,06	0,83	0,29	0,64
2	0,57	0,65	0,65	0,36	10,00	0,93	0,67	0,37	1,14	0,77	0,68	0,61
3	0,41	0,60	0,46	0,35	15,83	0,90	0,67	0,32	1,35	0,77	0,74	0,77
4	0,31	0,66	0,95	0,16	0,83	0,99	0,48	0,26	0,65	1,05	0,56	0,59
5	0,25	–	0,16	0,24	7,29	1,06	0,64	0,50	0,76	0,77	0,60	0,51
6	0,28	–	0,08	0,02	14,57	1,12	0,73	0,55	0,98	0,83	0,65	0,54
7	0,28	–	0,06	0,27	9,55	1,10	0,81	0,63	1,00	1,64	0,71	0,55

№ пробы	Lu	Mn	Na	Rb	Sb	Sc	Sm	Tb	Th	U	Yb	Zn
8	0,25	0,79	1,60	0,21	—	1,01	0,68	0,30	1,09	0,96	0,55	0,58
9	0,11	0,68	0,87	0,34	17,83	0,84	0,63	0,23	0,99	0,93	0,46	0,44
10	0,36	0,74	0,62	0,31	14,17	1,03	0,85	0,26	1,28	2,27	0,69	0,56
11	0,42	0,79	0,62	0,21	10,00	0,97	0,74	0,44	1,60	0,70	0,69	0,65
12	0,17	0,51	0,62	0,36	5,83	0,64	0,74	0,27	1,70	1,21	0,63	0,41
13	0,35	0,55	1,79	0,18	—	0,86	0,52	0,19	0,80	0,68	0,56	0,53
14	—	0,43	0,60	0,33	12,75	0,74	0,58	0,32	1,18	1,46	0,56	0,38
15	—	0,44	2,70	0,10	5,75	0,73	0,33	0,19	0,45	0,84	0,37	0,31
16	—	0,75	3,06	0,22	4,08	0,85	0,41	0,21	0,60	0,54	0,49	0,47
17	—	0,41	0,78	0,36	11,83	0,78	0,48	0,25	0,71	0,77	0,47	0,47
18	—	0,65	0,39	0,37	8,75	1,11	0,62	0,35	2,26	0,70	0,70	0,56
19	—	0,51	0,43	0,30	13,17	1,21	0,67	0,34	0,80	0,56	0,72	0,54
20	—	0,56	0,44	0,32	18,42	0,96	0,66	0,38	1,54	0,85	0,59	4,55
21	—	0,56	0,40	0,34	14,25	1,26	0,69	0,39	1,13	0,94	0,60	0,99
22	—	1,09	0,62	0,40	20,50	1,23	0,69	0,39	1,07	0,48	0,62	1,03
23	—	0,49	0,37	0,41	21,50	1,43	0,69	0,41	0,67	1,92	0,64	3,25
24	—	0,59	0,44	0,34	13,17	1,14	0,75	0,37	1,51	1,04	0,64	1,14
25	—	0,67	0,46	0,36	16,08	1,19	0,70	0,39	1,07	0,72	0,71	1,15
26	0,25	0,54	1,13	0,17	—	0,78	0,43	0,15	0,57	0,38	0,45	0,54
27	0,24	0,42	0,54	0,33	7,42	0,56	0,46	0,20	0,98	0,60	0,47	0,36
28	0,27	0,73	1,18	0,08	3,83	0,67	0,33	0,17	0,40	1,10	0,41	0,39
29	0,24	0,69	0,89	0,24	2,67	0,66	0,44	0,20	0,63	0,50	0,44	0,45
30	0,39	0,55	0,41	0,27	—	1,04	0,54	0,27	0,67	0,64	0,70	0,54
31	0,33	0,83	0,48	0,27	12,08	0,74	0,40	0,17	0,59	0,65	0,57	0,47
32	0,43	0,60	0,40	0,27	12,58	0,82	0,58	0,26	0,95	0,78	0,78	0,28
33	0,46	0,94	0,44	0,30	—	1,18	0,67	0,35	0,89	0,77	0,75	0,64
34	0,38	0,68	0,40	0,31	1,92	0,90	0,58	0,29	0,84	0,59	1,33	0,50
37	0,24	0,80	1,79	0,27	8,75	1,13	0,55	0,34	1,04	0,82	0,58	0,55
38	0,28	0,59	0,87	0,33	8,00	0,84	0,90	0,41	3,65	1,77	0,70	0,45

Ce ($0,25 < \text{IPI} < 2,53$ при среднем 1,18), La ($0,72 < \text{IPI} < 4,33$ при среднем 1,46), Hf ($0,8 < \text{IPI} < 2,59$ при среднем 1,6), Th ($0,4 < \text{IPI} < 3,65$ при среднем 1,07), U ($0,38 < \text{IPI} < 2,27$ при среднем 0,91), Zn ($0,28 < \text{IPI} < 4,55$ при среднем 0,28). Остальные элементы в почве находятся на уровне $\text{IPI} \leq 1$ — низкий уровень загрязнения или $1 < \text{IPI} \leq 2$ — умеренный уровень загрязнения.

Содержание некоторых элементов в почвах юго-центральной части Таджикистана изменяется по направлению от центра страны на юг и запад. Особенно тревожным является крайне высокий уровень загрязнения почв всех районов региона сурьмой, мышьяком и цинком, так как их считают наиболее опасными загрязнителями окружающей среды.

Сурьма

Кларк сурьмы составляет 0,12 ppm. Из осадочных пород наиболее высокие концентрации сурьмы отмечаются в глинистых сланцах (1,2 ppm), бокситах и фосфоритах (2 г/т) и самые низкие в известняках и песчаниках (0,3 ppm). Повышенное количество сурьмы находят в золе углей. С такими металлами, как медь, мышьяк и палладий, сурьма может образовать интерметаллические соединения [26].

Коэффициент корреляции сурьмы и мышьяка в изученных нами почвах составляет в среднем 0,32. Среднее содержание сурьмы в образцах почв юго-

центральной части Таджикистана — 1,22 ppm, максимальное и минимальное значения равны 2,58 и 1,02 ppm соответственно (см. табл. 3). Минимальное среднее содержание сурьмы обнаружено в почве сельской местности Джиликуль (на юге), а максимум в г. Душанбе, в пос. Каратаг и пос. Хонак в центральной части страны (см. табл. 3).

Мышьяк

Мышьяк — рассеянный элемент. Его содержание в земной коре 3,7 ppm по массе. Мышьяк и все его соединения ядовиты. В местностях, где в почве и воде содержится избыток мышьяка, наблюдается накопление его в щитовидной железе у людей, что вызывает эндемический зоб [26].

Среднее содержание мышьяка в образцах почв юго-центральной части Таджикистана составляет 7,6 ppm, максимальное и минимальное значения равны 21 и 0,71 ppm соответственно (см. табл. 3). Минимальное среднее значение мышьяка обнаружено в почве Джиликульского район (на юге), а максимальное — в районе Вахш (на юге), в г. Душанбе и пос. Ханак — в центральной части страны (см. табл. 3).

Максимальное значение Zn, As, Co, Sb и Rb установлено в почве г. Душанбе, что, возможно, связано с наличием тепловых электростанций, предприятий черной и цветной металлургии, транспорта, а также предприятий по добыче и изготовлению строительных материалов.

Цинк

Кларк цинка в земной коре равен 120 ppm и занимает 24-е место по распространенности среди элементов. Почвы содержат 5–770 ppm цинка (при среднем – 64 ppm), морская вода – только 30 ppm, и в атмосфере его содержится 0,1–4 мкг/м³. Этот элемент обычно встречается в рудах в ассоциациях с основными металлами, такими как медь и свинец [26].

Содержание цинка в почвах юго-центральной части Таджикистана лежит в диапазоне от 34 до 546 мг/кг почвы, что по верхнему пределу в 4,55 раза превышает кларк (см. табл. 4). Это свидетельствует о высоком уровне загрязнения почв Таджикистана цинком. Среднее содержание цинка в почвах юго-центральной части Таджикистана составило 90 мг/кг (см. табл. 3), что в 2,25 раза выше кларка. Наблюдается четкое увеличение содержания цинка при движении с юга к центру страны. Это указывает на загрязнение почвенного покрова юга Таджикистана цинком, причем загрязнение это аэрогенное, т.е. атмосферное. Минимальное среднее значение цинка наблюдается в почве пустыни Шаартуз (на юге), а максимум в г. Душанбе и пос. Ханака в центральной части страны. Различия между содержанием цинка в различных почвенных районах связано главным образом с интенсивностью загрязнения. Известно, что накопление цинка и свинца происходит в зонах интенсивного движения автотранспорта, вдоль автострад и в промышленных центрах. Почвы в сельской местности содержат в 10–20 раз меньше цинка, чем почвы города.

Заключение

При вторжении пылевой мглы (естественной) с юго-западной границы страны обнаружена повышенная концентрация следующих элементов в пробах аэрозоля пылевой мглы по сравнению с пробами почв зон распространения пылевой мглы: Sc, Zn, Ni, Cu, Ca, Sr и Ge. Для очень токсичных элементов Co, Zn, Rb, As и Sr наблюдается сильная миграция в атмосфере. В пробе аэрозоля пылевой мглы обнаружено малое относительно кларка количество K, Ti, Ni, V и Cr, что свидетельствует о слабой миграции этих элементов в составе атмосферного воздуха. Тревожным является высокое содержание токсичных элементов Zn, As и Sb, до 10 раз превышающее кларк.

Статья выполнена при финансовой поддержке МНТЦ (проект Т-2076).

1. Wood J.M. Biological cycles for toxic elements in the environment // Science. 1974. V. 183, N 15. P. 1049–1059.
2. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва–растение. Новосибирск: Наука, 1999. 151 с.
3. Алексеев Ю.Г. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.
4. Алексеев В.А. Геохимия ландшафта и окружающая среда. М.: Недра, 1990. 142 с.
5. Lantry R.S., Mackensie F.T. Atmosphere trace metals, global, cycles and assessment of man's impact // Geochim. Cosmochim. Acta. 1979. V. 43, N 4. P. 511–525.

6. Lisk D.J. Trace metals in soils, plant and animals // Adv. Agron. 1972. V. 24, N 1. P. 267–325.
7. Valerio F., Brescianini C., Lastraioli S. Airborne metals in urban areas // Int. J. Environ. Anal. Chem. 1989. V. 35, N 2. P. 101–110.
8. Альтушлер И.И., Ермаков Ю.П. Загрязнение атмосферы Земли // Актуальные проблемы природной среды за рубежом. М.: Изд-во МГУ, 1976. С. 19–42.
9. Назаров А.Г. Современная миграция тяжелых металлов в биосфере. М.: ВНИЦентр, 1980. 188 с.
10. Курпатовский И.П. Охрана природы: Справочник. М.: Химия, 1974. 376 с.
11. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
12. Нукифорова Е.М. Загрязнение природной среды свинцом от выхлопных газов автотранспорта // Вестн. МГУ. Сер. геогр. 1975. № 3. С. 28–36.
13. Bheemalingeswara K. Geochemical exploration data: Utility in environmental studies // Rapp. och medd. 1991. V. 69, N 1. P. 123–125.
14. Виноградова А.А., Шевченко В.П. Роль атмосферных аэрозолей в загрязнении Северного Ледовитого океана и его морей // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18, № 5–6. С. 387–392.
15. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Виноградова А.А., Смирнов В.В., Штайн Р. Аэрозоли Арктики и их влияние на окружающую среду // Аэрозоли Сибири / Отв. ред. д.ф.-м.н. К.П. Куценкогий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 548 с.
16. Виноградова А.А., Пономарева Т.Я. Источники и стоки антропогенных микроэлементов в атмосфере Арктики: тенденции изменения с 1981 по 2005 г. // Оптика атмосф. и океана. 2007. Т. 20, № 6. С. 471–480.
17. Обзор загрязнения природной среды в Российской Федерации за 2006 г. СПб.: Гидрометеоздат, 2007. 162 с.
18. Виноградова А.А., Максименков Л.О., Погарский Ф.А. Промышленные комплексы Заполярья – источники антропогенных тяжелых металлов в окружающей среде Российской Арктики // Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы. Т. 3, ч. 2. Природные процессы в полярных областях Земли / Отв. ред. В.М. Котляков. М.: ИГ РАН, ИФЗ РАН, 2008. С. 193–203.
19. Голубева Н.И., Бурицева Л.В., Гинзбург В.А. Тяжелые металлы в атмосферных осадках на побережье Баренцева моря // Метеорол. и гидрол. 2010. № 5. С. 60–70.
20. Виноградова А.А. Микроэлементы в составе арктического аэрозоля (обзор) // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 1993. Т. 29, № 4. С. 437–456.
21. Berg T., Hjelbrette A.-G., Skjelmoen J.E. Heavy metals and POPs within the ECE region. EMEP/CCC – Report 8/96. O-95038. NILU. Norway, 1996. 187 p.
22. Виноградова А.А., Иванова Ю.А. Антропогенное загрязнение природных сред в районе Костомукшского заповедника (Карелия) при дальнем переносе аэрозольных примесей в атмосфере // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 6. С. 493–501.
23. Абдуллаев С.Ф., Назаров Б.И., Маслов В.А. Распределение природной и техногенной радиоактивности на образцах почвы и пылевой мглы юга Таджикистана // 17-й Междунар. симпозиум. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 2011. С. 49–52.
24. Абдуллаев С.Ф., Назаров Б.И., Маслов В.А., Джурев А.А. Распределение природной и техногенной радиоактивности в образцах почвы и пылевой мглы юга Таджикистана // Оптика атмосф. и океана. 2013. Т. 26, № 3. С. 187–193.
25. Абдуллаев С.Ф., Абдурасулова Н.А., Назаров Б.И., Маслов В.А., Джурев А.А., Джурев А.А., Мадвалиев У., Давлатиоев Т. Распределение природной

- и техногенной радиоактивности на образцах пыльной мглы юга Таджикистана // Докл. АН РТ. 2011. Т. 54, № 9. С. 746–753.
26. *Материалы* семинара, посвященного 70-летию А.А. Джуроева. Душанбе: ООО «Эр-граф», 2012. 142 с.
 27. *Muller G.* Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River // *Geo J.* 1969. V. 2, N 3. P. 108–118.
 28. *Ji Y., Feng Y., Wu J., Zhu T., Bai Z., Duan C.* Using geo-accumulation index to study source profiles of soil dust in China // *J. Environ. Sci.* 2008. V. 20. P. 571–578.
 29. *Wei B., Jiang F., Li X., Mu S.* Spatial distribution and contamination assessment of heavy metals in urban road dusts from Urumqi // NW China, *Microchemical Journal.* 2009. V. 93. P. 147–152.
 30. *Chen T., Zheng Y., Lei M., Huang Z., Wu H., Chen H., Fan K., Yu K., Wu X., Tian Q.* Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China // *Chemosphere.* 2005. V. 60. P. 542–551.
 31. *Clarke F.W., Washington H.S.* The Composition of the Earth's Crust // U.S. Dep. Interior, Geol. Surv. 1924. V. 770. P. 518.
 32. *Ферсман А.Е.* Геохимия. Т. I–IV. Природа и техника. ОНТИ, 1933, 1934, 1937 и 1939.
 33. *Goldschmidt V.M.* Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente, IX. Die Mengenverhältnisse der Elemente und Atomarten // *Skrifter Norske Videnskaps-Akad. Oslo, I. Mat.-naturw.* 1938. V. 1, N 4. P. 1–148.
 34. *Виноградов А.П.* Закономерности распределения химических элементов в земной коре // *Геохимия.* 1956. № 1. С. 6–52.
 35. *Виноградов А.П.* Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // *Геохимия.* 1962. № 7. С. 555–571.
 36. *Taylor S.R.* Abundance of chemical elements in the continental crust; A new table // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1964. V. 28, N 8. P. 1273–1285.

S.F. Abdullaev, V.A. Maslov, B.I. Nazarov, U. Madvaliev, T. Davlatshoev. **The elemental composition of soil and dust aerosol in south-central part of Tajikistan.**

The migration of heavy metals, the most dangerous contaminants of soil, are analyzed. The analysis of background contamination of soil with heavy metals showed that the invasion of dust haze from the south-western boundary results in increased concentration of Sc, Zn, Ni, Cu, Ca, Sr and Ge in aerosol particles in the dust haze, as compared with the soils of the zone of dust haze. In samples of dust haze aerosol, it was found a small quantity of K, Ti, Ni, V, and Cr, relative to Clarke, indicating a weak migration of these elements in the atmosphere. A strong migration of Co, Zn, Rb, As, and Sr elements in the atmosphere was found. Even more alarming is the accumulation of toxic elements such as Zn, Sb, and As, the content of which is up to ten times higher than Clarke.