

## Содержание элементов в пробах почв и пылевого аэрозоля в Таджикистане

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.

Изучены геохимический и интегральный индексы загрязнения почв Таджикистана и проб пылевой мглы тяжелыми металлами. Обнаружено крайне высокое значение индексов загрязнения проб пылевого аэрозоля и почв Таджикистана тяжелыми металлами — висмутом, мышьяком и медью. Причиной обогащения почвы Таджикистана, особенно юго-центральной части, висмутом, мышьяком и медью является трансграничный перенос загрязнения пыльными бурями (пылевой мглой) из сопредельных государств. Изучение элементного состава поверхностного слоя почвы позволяет установить, что северная часть Таджикистана, по-видимому, подвергается мощному воздействию со стороны промышленных предприятий данного региона.

*Ключевые слова:* радиация, техногенный перенос, почва, радиационное загрязнение; radiation, technological transfer, soil, radioactive contamination.

Техногенное загрязнение негативно влияет на состояние окружающей среды и на здоровье людей. Основные источники загрязнения атмосферы — это 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%), химическая промышленность (1,3%) [1–6]. Большие выбросы твердых и газообразных загрязняющих веществ характерны для предприятий по производству цемента.

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 компонентах экосистем зависят как от целого комплекса природных факторов, так и от интенсивности и характера техногенеза [1–6].

Цель проведенных исследований — изучение состояния почвы как индикатора техногенной нагрузки в зоне влияния выбросов промышленных объектов. Решение этой задачи включало следующие этапы: сбор проб осадков и почвы в трансграничной зоне северных районов Таджикистана; анализ изменения химического состава почвы в зоне воздействия про-

мышленных объектов; разработку рекомендаций для проведения мероприятий по предотвращению выбросов и улучшению состояния окружающей среды. Для этого использовали метод сбора проб атмосферной пыли, осаждаемой в почве. Проводился сбор только самого поверхностного слоя почвы, точнее смеси почвы с осевшей пылью. Исследованы в основном пробы почв и осадков пылевой мглы Таджикистана. Подробное описание экспериментальной установки и методики измерений приведены в работах [7–9]. Характеристики точек сбора проб почв и пылевой мглы представлены в табл. 1 и 2, данные охватывают Юго-Центральный и Северный Таджикистан и сбор проб за период 2007–2013 гг.

В табл. 3 даны геохимические индексы загрязнения, вычисленные по формуле [10, 11]:

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

где  $C_i$  — концентрация элемента в почве, ppm;  $B_i$  — фоновое содержание элемента в почве, ppm. Нами использовано среднее значение кларка (число, выражающее среднее содержание химического элемента в земной коре), определенное в работах [12–17].

Значения  $I_{\text{гео}}$  для металлов в почвах Северного Таджикистана рассчитаны (см. табл. 3) согласно [18] для каждого металла. Почвы классифицируются следующим образом: незагрязненные ( $I_{\text{гео}} \leq 0$ ); от незагрязненных до умеренно загрязненных ( $0 < I_{\text{гео}} \leq 1$ ); умеренно загрязненные ( $1 < I_{\text{гео}} \leq 2$ ); 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 ( $I_{\text{гео}} \geq 5$ ).

\* Сабур Фузайлович Абдуллаев (sabor.f.abdullaev@gmail.com); Владимир Анатольевич Маслов (vamaslov@inbox.ru); Бахрон Исломович Назаров (systemavto@rambler.ru); Умархон Мадвалиев (umarkhon@mail.ru); Тавалло Давлатшоев (t\_davlat@mail.ru).

Таблица 1

## Координаты точек сбора проб почвы

№ пробы	Место сбора проб почв	Широта	Долгота	Высота, м над ур. м.
1	Пустыня Айвадж	36°58'42"	68°01'11"	319
4	Пустыня Кабодиён, Белые Холмы (БХ)	37°39'44"	68°08'38"	507
5	Пустыня Кабодиён, Красные Холмы (КХ)	37°39'44"	68°08'38"	508
8	Душанбе, восточная часть, кишлак (к/к) Охтог	38°34'04"	68°51'24"	895
9	Памир Рушан, к/к Баджу	37°56'26"	71°33'38"	3000
14	Турсунзаде, Алюминиевый завод	38°30'30"	68°16'23"	700
16	Метеостанция Айвадж	36°58'37"	68°01'15"	403
17	Пустыня Шаартуз	37°18'32"	68°09'02"	364
18	Пустыня Кабодиён, БХ	37°8'14"	68°20'31"	513
19	Хуросон	37°51'20"	68°36'22"	398
29	Душанбе, восточная часть, пос. Мирзобек	38°32'36"	68°51'25"	801
30	Душанбе, северная часть, Цементный завод	38°36'41"	68°47'21"	898
31	Термез	37°13'01"	67°16'58"	300
37	Зафаробод	40°10'34"	68°46'31"	384
38	Ак-Архар, Памир	37°57'36"	73°43'15"	4365
81	Душанбе, северная часть	38°36'41"	68°47'21"	960
82	Дахана	38°38'65"	68°46'03"	962
83	Гушари	38°53'04"	68°49'27"	1353
84	Майхура	38°58'07"	68°45'32"	1754
85	Тоннель «Анзоб», северная часть	39°05'34"	68°41'13"	2713
86	Такфон	39°15'04"	68°39'28"	3029
87	Габеруд	39°11'18"	68°34'35"	1723
88	Сарвода	39°13'06"	68°31'55"	1640
90	Хишекат	39°25'01"	68°31'18"	1399
91	Тоннель «Истиклол», южная часть (район Шахристан)	39°31'15"	68°33'25"	2815
92	Тоннель «Истиклол», северная часть (район Шахристан)	39°33'62"	68°35'66"	2350
93	Охтанги	39°33'68"	68°35'91"	1244
94	Водохранилище «Шестой» (район Истаравшан)	39°44'65"	68°47'15"	1230
95	Водохранилище «Шестой» (район Истаравшан), БХ	39°44'65"	68°47'15"	1230
96	Яккабог	39°54'13"	69°01'01"	1023
97	Лакат	39°38'39"	69°01'51"	853
98	Уяс	40°02'14"	69°04'33"	727
98	Даштикон	40°05'29"	69°09'49"	632
100	Гулистон, с. Куланбош	42°10'95"	69°71'18"	330
101	Дехмой, юго-западная часть	40°11'95"	69°30'38"	360
102	Дехмой, центральная часть	40°11'19"	69°30'28"	360
103	Дехмой, центральная часть	40°12'29"	69°30'39"	369
104	Дехмой, северо-восточная часть	40°12'29"	69°30'39"	375
105	Куркат	40°12'28"	69°14'31"	318
106	Зафаробод, Логин	40°12'35"	69°13'11"	330
107	Зафаробод, СМУ-26	40°12'27"	68°52'05"	369
108	Зафаробод, СМУ-24	40°13'03"	68°57'00"	374
109	Зафаробод, Мирзообод	40°11'08"	68°51'15"	374
110	Куланбош	40°31'32"	69°19'50"	322
111	Бустон, Комсомольская площадь	40°31'32"	69°19'50"	322
112	Бустон, с. Мадрушкат	40°31'34"	69°20'18"	326
115	Чоряккорон, Душанбе	40°13'96"	69°33'29"	866
116	Гиссар	38°33'70"	68°28'78"	860
117	Турсунзаде, ТАЛКО, восточная часть	38°32'33"	68°14'28"	754
118	Турсунзаде, ТАЛКО, западная часть	38°32'33"	68°14'28"	754
119	Турсунзаде, граница	38°31'55"	68°12'57"	736

Таблица 2

## Координаты точек и время сбора проб пылевой мглы

№ пробы	Место сбора, время	Широта	Долгота	Высота, м над ур. м.
13	Душанбе, 15.08.2008	38°33'11,0"	68°51'28"	821
14	Айвадж, 16.09.2009	36°58'45,5"	68°01'24"	311
21	Айвадж, 17.03.2010	36°58'45,5"	68°01'24"	311
22	Айвадж, 19.03.2010	36°58'45,5"	68°01'24"	311
23	Душанбе, 13–21.11.2007	38°33'11,0"	68°51'28"	821
24	Душанбе, 23.11.2007	38°33'11,0"	68°51'28"	821
25	Душанбе, 04–15.08.2008	38°33'11,0"	68°51'28"	821
26	Айвадж, 26.05–28.05.2009	36°58'42,0"	68°01'24"	319
27	Айвадж, 25–30.08.2009	36°58'42,0"	68°01'24"	319
33	Айвадж, 31.05–14.06.2010	36°58'42,0"	68°01'24"	319
39	Айвадж, 23.08–25.08.2010	36°58'42,0"	68°01'24"	319
41	Айвадж, 16.09.2010	36°58'42,0"	68°01'24"	319
42	Айвадж, 08.10.2010	36°58'42,0"	68°01'24"	319
120	Душанбе, осадки, 22.09.2013	38°33'11,0"	68°51'28"	821
123	Айвадж, 23.06.2013	36°58'45,5"	68°01'24"	311

Таблица 3

## Геохимические индексы загрязнения почвы Таджикистана

№ пробы	Sr	As	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	V	Tl	Bi
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,94	2,74	-1,10	3,38	-2,68	-1,62	-1,21	-0,78	-1,49	0,10	-
4	1,12	2,99	-0,46	3,45	-2,60	-1,40	-1,13	-0,65	-1,43	0,23	-
5	0,94	2,74	-1,10	3,38	-2,68	-1,62	-1,21	-0,78	-1,49	0,10	-
8	-0,08	5,54	0,95	3,49	-1,81	0,14	-0,40	2,27	-0,39	0,92	8,42
9	0,27	5,58	<b>1,13</b>	3,56	<b>-1,77</b>	<b>0,21</b>	<b>-0,36</b>	<b>2,28</b>	-0,37	<b>1,00</b>	8,45
14	0,71	<b>5,66</b>	0,77	3,46	-2,01	-0,99	-0,81	0,99	-0,20	0,66	7,47
16	0,43	4,33	-1,66	3,39	-3,73	-2,79	-1,65	-3,67	-2,63	-1,04	-
17	0,67	4,78	0,02	3,49	-2,64	-1,99	-1,09	0,04	-2,22	0,50	7,65
18	0,89	4,57	-0,45	3,45	-3,29	-3,21	-1,31	-3,67	-1,03	-0,07	-
19	<b>3,02</b>	2,70	-0,25	3,42	-2,57	-1,55	-1,18	-1,49	-2,10	-0,06	-
29	1,39	3,64	-0,02	3,42	-2,46	-0,79	-1,04	-0,10	-1,19	0,37	-
30	0,49	3,36	-0,07	3,43	-2,57	-1,21	-1,15	-0,88	-2,07	0,17	-
31	0,46	-1,47	-0,40	3,45	-3,11	-2,33	-1,29	-2,26	-2,54	-0,28	-
37	0,53	5,16	0,20	3,54	-2,91	-1,71	-0,90	0,59	-0,70	0,50	-
38	0,13	5,40	-0,27	3,56	-4,64	-1,27	-1,29	-2,29	-1,67	0,22	8,36
39	0,70	3,79	0,73	<b>3,67</b>	-3,35	-1,79	-1,12	-0,72	-1,78	0,26	-
40	0,45	3,66	0,49	3,61	-3,49	-2,09	-1,20	-0,86	-1,88	0,13	-
77	0,50	0,33	-0,24	3,29	-2,17	-1,21	-1,11	-0,05	-6,13	0,19	-
81	0,75	4,76	0,14	3,37	-2,11	-1,04	-1,03	0,03	-6,13	0,31	2,30
82	0,50	4,69	-0,24	3,29	-2,17	-1,21	-1,11	-0,05	-6,13	0,19	-
83	0,16	4,93	0,73	3,56	-2,60	-0,99	-0,65	1,65	-0,97	0,44	7,05
84	-0,22	4,87	0,49	3,49	-2,68	-1,15	-0,71	1,62	-1,01	0,33	7,00
85	-0,92	5,29	0,54	3,50	-2,39	-1,62	-0,71	1,28	-0,50	-5,38	<b>9,50</b>
86	-2,10	3,41	-1,49	3,33	-2,91	-3,79	-1,42	-4,17	-3,71	-0,23	-
87	-1,01	3,57	-0,70	3,41	-2,81	-2,99	-1,32	-3,82	-3,47	-0,06	-
88	0,30	4,88	0,06	3,48	-2,77	-0,33	-0,91	0,31	-1,76	0,59	7,50
90	-0,31	5,49	0,83	3,51	-2,09	-0,44	-0,55	1,70	<b>-0,01</b>	0,68	6,88
91	-1,07	4,17	0,51	3,38	-1,96	-0,62	-0,71	1,40	-2,04	0,87	8,36
92	-2,22	4,07	0,22	3,31	-2,01	-0,75	-0,77	1,37	-2,13	0,78	8,34
93	-2,22	4,07	0,22	3,31	-2,01	-0,75	-0,77	1,37	-2,13	0,78	8,34
94	-2,22	4,07	0,22	3,31	-2,01	-0,75	-0,77	1,37	-2,13	0,78	8,34
95	-2,22	4,07	0,22	3,31	-2,01	-0,75	-0,77	1,37	-2,13	0,78	8,34
98	0,46	5,00	0,07	3,46	-2,57	-0,94	-1,00	0,16	-1,34	0,27	-
100	0,75	3,59	-0,35	3,49	-3,11	-1,21	-1,23	-2,37	-0,93	-0,06	5,10
101	0,50	3,43	-0,94	3,42	-3,23	-1,40	-1,32	-2,86	-0,99	-0,23	4,88
102	0,67	4,45	-0,53	3,39	-2,53	-1,55	-1,24	-1,11	-1,27	-0,20	-
103	0,89	4,53	-0,07	3,46	-2,46	-1,33	-1,15	-0,95	-1,22	-0,04	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
104	0,35	0,70	0,13	3,43	-2,68	-2,21	-1,18	-0,65	-1,08	-0,09	-
105	0,35	0,70	0,13	3,43	-2,68	-2,21	-1,18	-0,65	-1,08	-0,09	-
107	0,62	1,53	0,44	3,50	-2,60	-1,89	-1,10	-0,53	-1,04	0,06	-
108	1,34	0,85	-0,61	3,43	-2,73	-1,71	-1,30	-0,50	-4,71	-0,39	-
109	0,81	4,72	0,17	3,41	-2,11	-0,99	-0,94	0,49	-0,60	0,31	-
110	0,58	4,65	-0,22	3,33	-2,17	-1,21	-1,01	0,43	-0,63	0,18	-
111	0,58	4,65	-0,22	3,33	-2,17	-1,21	-1,01	0,43	-0,63	0,18	-
112	0,99	4,36	-0,10	3,42	-2,29	-0,89	-1,13	-0,73	-5,13	0,00	-
115	0,44	4,54	0,30	3,45	-2,26	-0,89	-0,88	0,79	-0,68	-5,55	-
116	-0,39	3,95	-0,14	3,31	-2,03	-0,58	-0,94	0,72	-0,63	0,20	-
117	0,03	4,07	0,22	3,39	-1,98	-0,47	-0,87	0,77	-0,60	0,33	-
118	-0,39	3,95	-0,14	3,31	-2,03	-0,58	-0,94	0,72	-0,63	0,20	-
119	0,34	3,41	0,33	3,39	-1,86	-0,94	-0,80	1,07	-0,04	-4,91	-
120	0,14	4,30	0,96	3,66	-2,17	-1,79	-0,92	0,50	-2,29	0,21	-

Примечание. Жирным шрифтом выделены максимальные значения.

По этой классификации почва всех районов за исключением Душанбе ( $I_{\text{geo}} = 2,3$ ) и юго-западной части Дехмоя ( $I_{\text{geo}} = 4,88$ ) крайне сильно загрязнена висмутом ( $I_{\text{geo}} > 5$ ), а к/к Баджу (Памир) сильно загрязнен марганцем ( $I_{\text{geo}} = 2,28$ ) и умеренно таллием ( $I_{\text{geo}} = 1,0$ ). Почва Турсунзаде в зоне алюминиевого завода крайне загрязнена мышьяком ( $I_{\text{geo}} = 5,66$ ), почти все районы также находятся на уровне экстремально сильного загрязнения мышьяком. Почва Хурсона сильно загрязнена стронцием ( $I_{\text{geo}} = 3,02$ ), Зафаробод сильно загрязнен медью ( $I_{\text{geo}} = 3,67$ ), остальные северные районы Таджикистана также находятся в зоне, сильно загрязненной медью. Другие данные соответствуют уровню слабого загрязнения. Геохимический индекс загрязнения для остальных почв находится на уровне умеренно загрязненных.

Геохимический индекс загрязнения для осадков аэрозоля пылевой мглы приведен в табл. 4. Видно крайне сильное загрязнение висмутом ( $I_{\text{geo}} = 7,47$ ) и мышьяком ( $I_{\text{geo}} = 5,66$ ) аэрозоля пылевой мглы 16.09.2009 г., сильное загрязнение медью ( $I_{\text{geo}} = 3,72$ ) пылевой мглы 31.05.2010 г. и от умеренного до сильного загрязнения таллием ( $I_{\text{geo}} = 2,22$ ), эпизод пылевой мглы 17.03.2010 г. Обнаружено сильное загрязнение во всех эпизодах пылевой мглы висмутом, мышьяком и медью, аналогичное загрязнению почв Таджикистана. Это свидетельствует об обогащении почвы Таджикистана, особенно юго-центральной части, висмутом, мышьяком и медью из сопредельных государств.

На рис. 1 представлены концентрации изучавшихся элементов в аэрозоле и в почвах Таджикистана

Таблица 4

Геохимические индексы загрязнения осадков пылевой мглы в Таджикистане

Дата	Sr	As	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	V	Ti	Bi
15.08.2008	0,94	4,21	1,20	3,53	<b>-2,01</b>	-1,47	-0,86	0,84	-2,86	0,39	3,88
16.09.2009	0,71	<b>5,66</b>	1,03	3,46	-2,01	<b>-0,99</b>	<b>-0,81</b>	<b>0,99</b>	<b>-0,20</b>	0,66	<b>7,47</b>
17.03.2010	0,72	4,14	-0,29	3,47	-2,96	-1,71	-1,30	-4,17	-6,13	<b>2,22</b>	-
24.05.2010	0,71	0,70	0,29	3,52	-3,01	-1,99	-1,20	-1,92	-2,39	-0,11	-
09.07.2010	0,75	5,13	0,46	3,53	-2,86	-1,33	-1,22	-2,03	-0,63	0,18	-
19.03.2010	0,48	4,04	-0,98	3,40	-3,06	-1,99	-1,40	-4,17	-6,13	2,18	-
13.11.2010	0,48	4,04	-0,98	3,40	-3,06	-1,99	-1,40	-4,17	-6,13	2,18	-
23.11.2007	0,07	4,79	0,50	3,59	-2,86	-1,89	-1,18	-1,36	-1,01	-0,23	-
04.08.2008	0,20	3,99	0,82	3,55	-2,23	-1,62	-1,01	0,14	-0,64	0,01	6,69
26.05.2009	0,91	4,17	0,81	3,61	-2,91	-1,55	-1,16	-1,09	-1,56	0,15	5,75
25.08.2009	0,69	4,07	0,53	3,55	-3,01	-1,89	-1,25	-1,27	-1,63	0,00	5,62
31.05.2010	<b>0,99</b>	3,50	<b>1,37</b>	<b>3,72</b>	-3,17	-2,79	-1,07	-0,39	-1,39	0,61	-
23.08.2010	0,70	3,79	1,00	3,67	-3,35	-1,79	-1,12	-0,72	-1,78	0,26	-
16.09.2010	0,74	4,20	0,17	3,49	-3,01	-1,62	-1,22	-2,46	-1,06	0,18	-
08.10.2010	0,93	4,41	0,33	3,53	-2,81	-0,98	-1,12	-0,65	-1,96	0,26	-
22.09.2013	0,14	4,30	1,23	3,66	-2,17	-1,79	-0,92	0,50	-2,29	0,21	6,20
23.06.2013	0,76	4,45	0,04	3,41	-2,42	-1,99	-1,13	-0,79	-1,81	0,43	6,10

Примечание. Жирным шрифтом выделены максимальные значения.

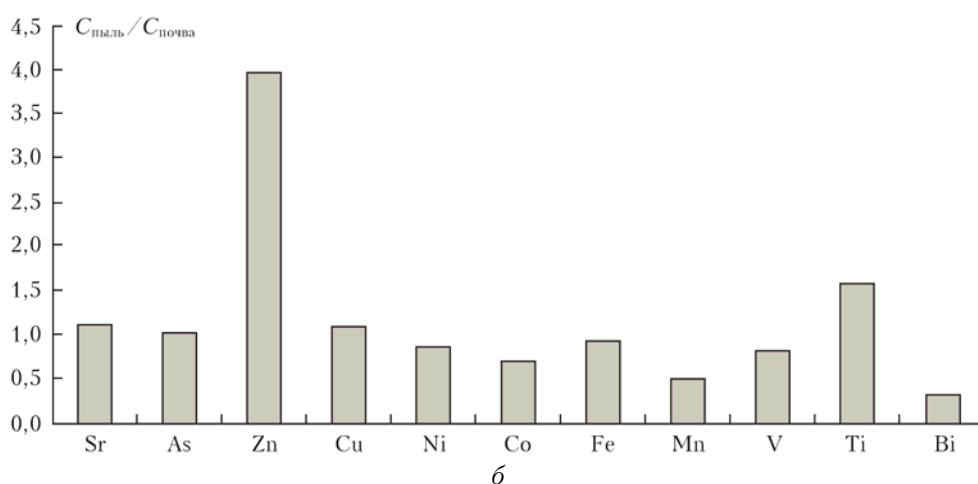
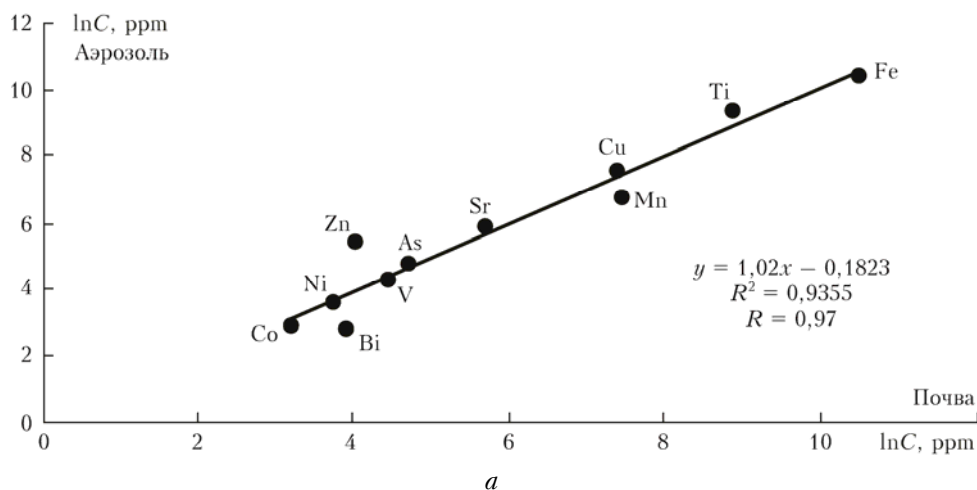


Рис. 1. Содержание элементов в аэрозоле и в почвах Таджикистана (а); отношение концентраций элементов в пробах пыли и почвы (б)

(концентрации приведены в логарифмической шкале:  $\ln C$ , ppm) и отношение концентраций элементов в пылевом аэрозоле и в почве. Элементов, расположенных выше прямой линии (Ti, Cu, Sr, As и Zn) (рис. 1, а), больше в частицах аэрозоля, а элементов, указанных ниже (Mn и Bi), больше в почве. Элементы Fe, V, Ni и Co почти одинаково содержатся в пробах почвы и в пробах пылевого аэрозоля. Концентрации цинка и титана в аэрозоле значительно больше, чем в почве, а концентрации висмута и марганца заметно выше в почве (рис. 1, б).

Для дальнейшей оценки уровня загрязнения металлами почвы Таджикистана рассчитывался интегральный индекс загрязнения металлами (ИПИ). ИПИ определялся как среднее значение индекса загрязнения элементом. В этом исследовании ИПИ каждого элемента дано как отношение концентрации металла в почве к фоновой концентрации по соотношению [10, 11]:

$$\text{ИПИ} = C_i / B_i.$$

Параметр ИПИ имеет следующую классификацию:  $\text{ИПИ} \leq 1$  – низкий уровень загрязнения;  $1 < \text{ИПИ} \leq 2$  – умеренный;  $2 < \text{ИПИ} \leq 5$  – высокий;  $\text{ИПИ} > 5$  – край-

не высокий [18, 19]. Значения параметра ИПИ металлов в почвах Северного Таджикистана приведены в табл. 5. Обращает на себя внимание крайне высокое содержание висмута ( $\text{ИПИ} = 7,36 \div 1089$  при среднем 365; рис. 2), мышьяка ( $\text{ИПИ} = 0,54 \div 75,7$  при среднем 29,8; рис. 3) и меди ( $\text{ИПИ} = 14,7 \div 19,08$  при среднем 16,2; рис. 4) в пробах почв всех районов (табл. 5). Такое anomalously высокое значение, по-видимому, связано с трансграничным переносом из сопредельных государств. Рассчитанные значения Z-фактора ( $Z = (C - \langle C \rangle) / \sigma$ ), среднеквадратичного отклонения  $\sigma$  и геохимического индекса загрязнения  $I_{\text{гео}}$  для всех изученных проб представлены на рис. 2–4. Здесь  $C$  – концентрация среднеквадратичного элемента,  $\langle C \rangle$  – средняя концентрация элемента, приведенная в табл. 3 и 4.

Высокий уровень загрязнения обнаружен на Памире (к/к Баджу): висмут ( $\text{ИПИ} = 522,83$ ), мышьяк (71,89), марганец (7,31), цинк (3,29) и титан (2,99). Самый высокий индекс загрязнения ИПИ в изученных пробах имеют никель ( $\text{ИПИ} = 0,44$ ), кобальт (1,73) и железо (1,17) в почвах Памира, что, возможно, связано с особенностями поверхностного слоя высокогорной почвы и трансграничного дальнего переноса.

Таблица 5

## Соотношения концентрации элемента в пробах почвы к кларку

№ пробы	Sr	As	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	V	Ti	Bi
1	2,88	10,00	0,70	15,57	0,23	0,49	0,65	0,88	0,54	1,61	–
4	3,27	11,89	1,09	16,38	0,25	0,57	0,69	0,96	0,56	1,76	–
5	2,88	10,00	0,70	15,57	0,23	0,49	0,65	0,88	0,54	1,61	–
8	1,42	70,00	2,90	16,89	0,43	1,65	1,13	7,22	1,14	2,84	515,46
9	1,81	71,89	<b>3,29</b>	17,70	<b>0,44</b>	<b>1,73</b>	<b>1,17</b>	<b>7,31</b>	1,16	<b>2,99</b>	522,83
14	2,46	<b>75,68</b>	2,55	16,46	0,37	0,76	0,85	2,98	1,31	2,37	265,10
16	2,01	30,27	0,48	15,77	0,11	0,22	0,48	0,12	0,24	0,73	–
17	2,39	41,35	1,52	16,84	0,24	0,38	0,71	1,55	0,32	2,12	301,91
18	2,77	35,68	1,10	16,44	0,15	0,16	0,61	0,12	0,74	1,43	–
19	<b>12,15</b>	9,73	1,26	16,08	0,25	0,51	0,66	0,54	0,35	1,44	–
29	3,94	18,65	1,48	16,05	0,27	0,86	0,73	1,40	0,66	1,94	–
30	2,10	15,41	1,43	16,20	0,25	0,65	0,68	0,82	0,36	1,69	–
31	2,06	0,54	1,13	16,38	0,17	0,30	0,61	0,31	0,26	1,23	–
37	2,17	53,51	1,73	17,46	0,20	0,46	0,80	2,26	0,92	2,12	–
38	1,64	63,51	1,24	17,65	0,06	0,62	0,61	0,31	0,47	1,75	493,37
39	2,44	20,81	2,49	<b>19,08</b>	0,15	0,43	0,69	0,91	0,44	1,80	–
40	2,05	18,92	2,10	18,27	0,13	0,35	0,65	0,83	0,41	1,65	–
77	2,12	1,89	1,27	14,70	0,33	0,65	0,70	1,45	0,02	1,71	–
81	2,51	40,54	1,66	15,51	0,35	0,73	0,73	1,54	0,02	1,86	7,36
82	2,12	38,65	1,27	14,70	0,33	0,65	0,70	1,45	0,02	1,71	–
83	1,68	45,68	2,49	17,72	0,25	0,76	0,95	4,70	0,76	2,04	198,82
84	1,29	43,78	2,10	16,91	0,23	0,68	0,92	4,62	0,74	1,88	191,46
85	0,79	58,65	2,18	17,00	0,29	0,49	0,92	3,64	1,06	0,04	<b>1089,84</b>
86	0,35	15,95	0,53	15,09	0,20	0,11	0,56	0,08	0,11	1,28	–
87	0,74	17,84	0,93	15,90	0,21	0,19	0,60	0,11	0,14	1,44	–
88	1,85	44,05	1,57	16,75	0,22	1,19	0,80	1,86	0,44	2,26	272,46
90	1,21	67,57	2,66	17,08	0,35	1,11	1,03	4,89	<b>1,49</b>	2,40	176,73
91	0,71	27,03	2,14	15,67	0,39	0,97	0,92	3,95	0,36	2,74	493,37
92	0,32	25,14	1,75	14,86	0,37	0,89	0,88	3,86	0,34	2,58	486,01
93	0,32	25,14	1,75	14,86	0,37	0,89	0,88	3,86	0,34	2,58	486,01
94	0,32	25,14	1,75	14,86	0,37	0,89	0,88	3,86	0,34	2,58	486,01
95	0,32	25,14	1,75	14,86	0,37	0,89	0,88	3,86	0,34	2,58	486,01
98	2,06	47,84	1,58	16,55	0,25	0,78	0,75	1,68	0,59	1,81	–
100	2,52	18,11	1,18	16,85	0,17	0,65	0,64	0,29	0,79	1,44	51,55
101	2,13	16,22	0,78	16,04	0,16	0,57	0,60	0,21	0,76	1,28	44,18
102	2,39	32,70	1,04	15,73	0,26	0,51	0,64	0,69	0,62	1,31	–
103	2,79	34,59	1,43	16,54	0,27	0,59	0,68	0,78	0,64	1,46	–
104	1,91	2,43	1,64	16,19	0,23	0,32	0,66	0,96	0,71	1,41	–
105	1,91	2,43	1,64	16,19	0,23	0,32	0,66	0,96	0,71	1,41	–
107	2,31	4,32	2,03	17,00	0,25	0,41	0,70	1,04	0,73	1,57	–
108	3,80	2,70	0,98	16,16	0,23	0,46	0,61	1,06	0,06	1,14	–
109	2,64	39,46	1,68	15,91	0,35	0,76	0,78	2,10	0,99	1,85	–
110	2,24	37,57	1,29	15,10	0,33	0,65	0,75	2,02	0,97	1,70	–
111	2,24	37,57	1,29	15,10	0,33	0,65	0,75	2,02	0,97	1,70	–
112	2,97	30,81	1,40	16,07	0,31	0,81	0,69	0,91	0,04	1,50	–
115	2,03	34,86	1,84	16,35	0,31	0,81	0,81	2,60	0,94	0,03	–
116	1,14	23,24	1,36	14,92	0,37	1,00	0,78	2,48	0,97	1,73	–
117	1,54	25,14	1,75	15,73	0,38	1,08	0,82	2,56	0,99	1,88	–
118	1,14	23,24	1,36	14,92	0,37	1,00	0,78	2,48	0,97	1,73	–
119	1,90	15,95	1,88	15,70	0,41	0,78	0,86	3,15	1,46	0,05	–

Примечание. Жирным шрифтом выделены максимальные значения.

Вызывает опасения крайне высокое значение IPI для мышьяка и цинка, являющихся токсичными тяжелыми металлами, загрязняющими окружающую среду.

В табл. 6 приведены соотношения концентрации элемента в пробах пыли к кларку. Во всех изученных эпизодах пылевой мглы от 2007 по 2013 г. обнаружено крайне высокое значение IPI мышьяка

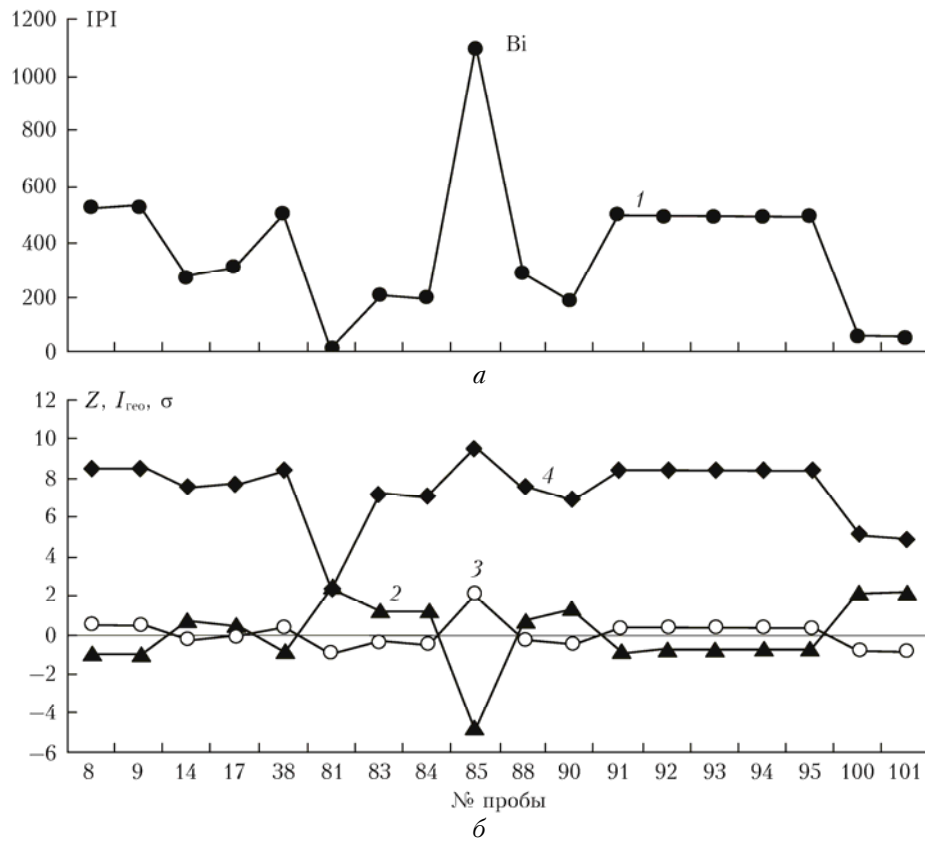


Рис. 2. Интегральный индекс загрязнения IPI (кривая 1); Z-фактор (2); среднее квадратичное отклонение  $\sigma$  (3) и геохимический индекс загрязнения  $I_{\text{гео}}$  висмутом (4) для изученных проб почв

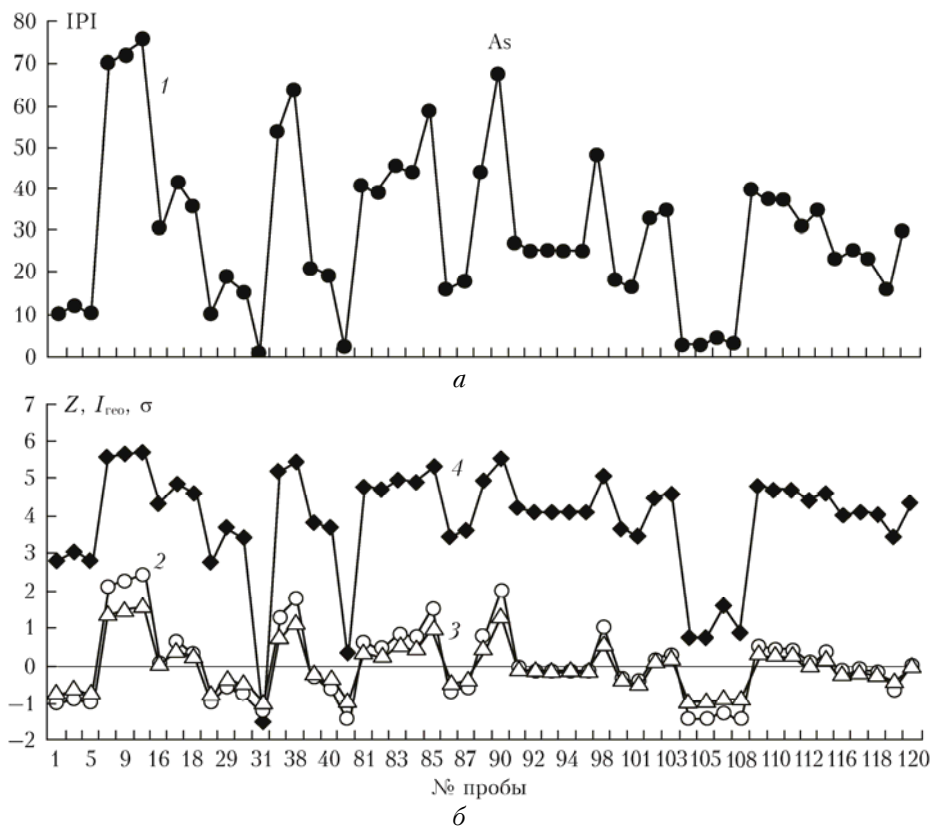


Рис. 3. Интегральный индекс загрязнения IPI (кривая 1); Z-фактор (2); среднее квадратичное отклонение  $\sigma$  (3) и геохимический индекс загрязнения  $I_{\text{гео}}$  мышьяком (4) для изученных проб почв

Содержание элементов в пробах почв и пылевого аэрозоля в Таджикистане

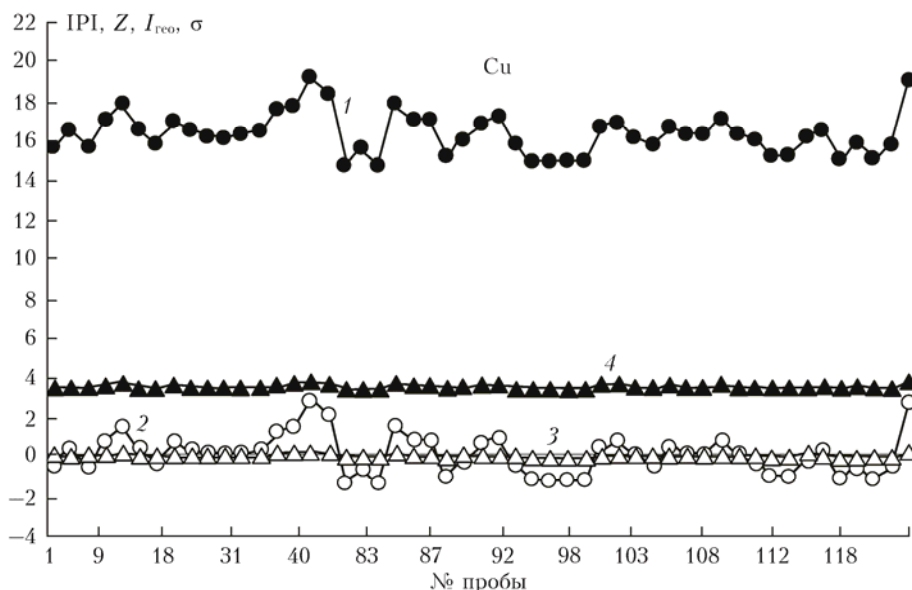


Рис. 4. Интегральный индекс загрязнения IPI (кривая 1); Z-фактор (2); среднеквадратичное отклонение  $\sigma$  (3) и геохимический индекс загрязнения  $I_{\text{geo}}$  медью (4) для изученных проб почв

Таблица 6

Соотношения концентрации элемента в пробах пыли к кларку

№ пробы	Sr	As	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	V	Ti	Bi
13	2,87	27,84	3,45	17,29	<b>0,37</b>	0,54	0,82	2,68	0,21	1,97	22,09
14	2,46	<b>75,68</b>	3,06	16,46	0,19	<b>0,76</b>	<b>0,85</b>	<b>2,98</b>	<b>1,31</b>	2,37	<b>265,10</b>
21	2,48	26,49	1,23	16,60	0,19	0,46	0,61	0,08	0,02	<b>6,97</b>	—
32	2,45	2,43	1,83	17,19	0,21	0,38	0,65	0,40	0,29	1,39	—
34	2,52	52,70	2,06	17,30	0,18	0,59	0,65	0,37	0,97	1,70	—
22	2,09	24,59	0,76	15,79	0,18	0,38	0,57	0,08	0,02	6,81	—
23	2,09	24,59	0,76	15,79	0,21	0,38	0,57	0,08	0,02	6,81	—
24	1,57	41,62	2,12	18,10	0,32	0,41	0,66	0,58	0,74	1,28	—
25	1,72	23,78	2,65	17,52	0,20	0,49	0,74	1,65	0,96	1,51	154,64
26	2,81	27,03	2,63	18,33	0,19	0,51	0,67	0,70	0,51	1,66	81,00
27	2,42	25,14	2,16	17,52	0,17	0,41	0,63	0,62	0,49	1,50	73,64
33	<b>2,97</b>	17,03	<b>3,87</b>	<b>19,79</b>	0,15	0,22	0,71	1,15	0,57	2,29	—
39	2,44	20,81	2,99	19,08	0,19	0,43	0,69	0,91	0,44	1,80	—
41	2,50	27,57	1,69	16,86	0,21	0,49	0,64	0,27	0,72	1,70	—
42	2,86	31,89	1,88	17,32	0,33	0,75	0,69	0,95	0,39	1,80	110,46
120	1,65	29,46	3,51	18,91	0,28	0,43	0,79	2,12	0,31	1,73	—
123	2,54	32,70	1,54	15,98	0,37	0,38	0,69	0,87	0,43	2,02	103,09

Примечание. Жирным шрифтом выделены максимальные значения.

(2,43–75,7 при среднем 30,07; рис. 5, а), меди (15,79–19,8 при среднем 17,4; рис. 5, б) и висмута (22,09–265 при среднем 116; рис. 5, в) для почвы всех районов. Отмечен высокий уровень загрязнения по стронцию (IPI = 1,57–2,97 при среднем 2,38), цинку (0,76–3,87 при среднем 2,25) и титану (1,28–6,97 при среднем 2,66). Для никеля, кобальта, марганца и ванадия IPI  $\leq 1$ , т.е. уровень загрязнения этими металлами низкий.

Анализ содержания элементов в почве и пробах пылевой мглы указывает на то, что миграция наиболее опасных загрязнителей окружающей среды, таких как мышьяк и цинк, на почвы Таджикистана происходит из сопредельных государств через пылевой

аэрозоль при мощных пылевых эпизодах (пыльные бури и пылевая мгла).

Анализируя результаты проведенных исследований, можно констатировать, что почва северной части тоннеля Истиклол в Шахристане крайне загрязнена висмутом ( $I_{\text{geo}} = 8,34$ ), а почва к/к Баджу (Памир) сильно загрязнена марганцем ( $I_{\text{geo}} = 2,28$ ). Почва Турсунзаде в зоне алюминиевого завода крайне загрязнена мышьяком ( $I_{\text{geo}} = 5,66$ ), почти все районы также находятся на уровне экстремально сильного загрязнения мышьяком. В почве Хуросона отмечается высокий уровень загрязнения стронцием ( $I_{\text{geo}} = 3,02$ ), Зафаробода – медью ( $I_{\text{geo}} = 3,67$ ), остальные северные районы Таджикистана также находятся



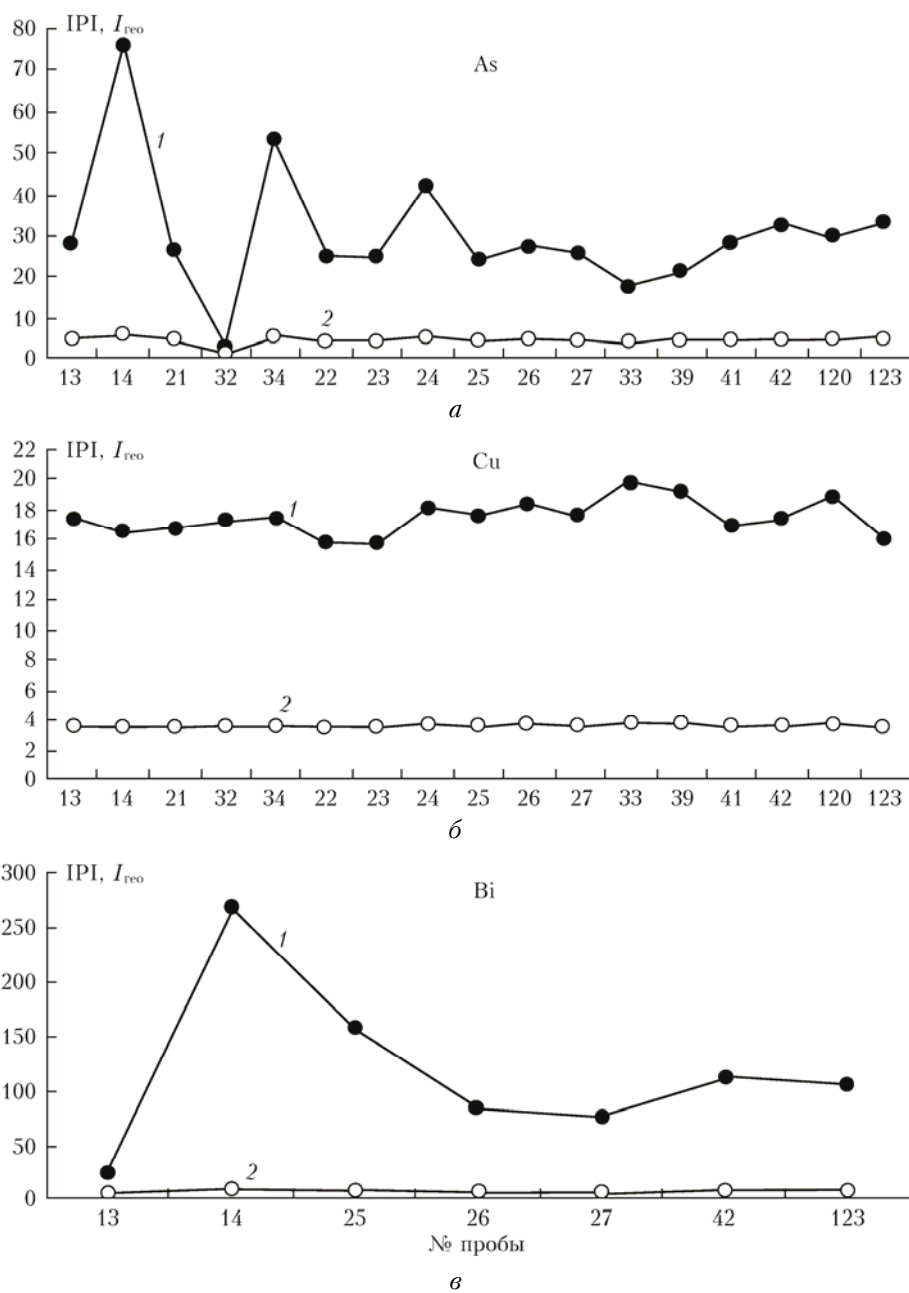


Рис. 5. Интегральный индекс загрязнения IPI (кривая 1) и геохимический индекс загрязнения  $I_{\text{geo}}$  (2) мышьяком (а), медью (б) и висмутом (в) для изученных проб пылевой мглы

в зоне, сильно загрязненной медью. Обнаружены крайне высокая концентрация висмута ( $I_{\text{geo}} = 7,47$ ) и мышьяка ( $I_{\text{geo}} = 5,66$ ) в аэрозоле пылевой мглы 16.09.2009 г. и высокая концентрация меди ( $I_{\text{geo}} = 3,72$ ) 31.05.2010 г. Выявлено сильное загрязнение аэрозоля, собранного во всех эпизодах пылевой мглы, висмутом, мышьяком и медью, как и в случае с почвами Таджикистана. Это свидетельствует об обогащении почвы Таджикистана, особенно юго-центральной части, этими металлами, перенесенными из сопредельных государств.

Во всех изученных эпизодах пылевой мглы за период 2007–2013 гг. обнаружено крайне высокое значение IPI висмута (22,09–265 при среднем 116),

мышьяка (2,43–75,7 при среднем 30,07) и меди (15,79–19,8 при среднем 17,4) для почвы всех районов. Высокий уровень загрязнения обнаружен по стронцию (1,57–2,97 при среднем 2,38), цинку (0,76–3,87 при среднем 2,25) и титану (1,28–6,97 при среднем 2,66).

Исследования проведены при финансовой поддержке Международного научно-технического центра (проект T-2076).

1. Wood J.M. Biological cycles for toxic elements in the environment // Science. 1974. V. 183, N 15. P. 1049–1059.
2. Lantry R.S., Mackenzie F.T. Atmosphere trace metals, global cycles and assessment of man's impact // Geochim. Cosmochim. Acta. 1979. V. 43, N 4. P. 511–525.

3. *Lisk D.J.* Trace metals in soils. Plant and animals // *Adv. Agron.* 1972. V. 24, N 1. P. 267–325.
4. *Valerio F., Brescianini C., Lastraioli S.* Airborne metals in urban areas // *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 1989. V. 35, N 2. P. 101–110.
5. *Альтушлер И.И., Ермаков Ю.П.* Загрязнение атмосферы Земли // *Актуальные проблемы природной среды за рубежом.* М.: Изд-во МГУ, 1976. С. 19–42.
6. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
7. *Абдуллаев С.Ф., Назаров Б.И., Маслов В.А.* Распределение природной и техногенной радиоактивности на образцах почвы и пыльной мглы юга Таджикистана // 17-й Междунар. симпоз. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 2011. С. 49–52.
8. *Абдуллаев С.Ф., Назаров Б.И., Маслов В.А., Джураев 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.
9. *Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А., Назаров Б.И., Мадвалиев У., Джураев А.А., Давлатшоев 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.
10. *Muller G.* Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River // *Geo Journal.* 1969. V. 2, N 3. P. 108–118.
11. *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.
12. *Clarke F.W., Washington H.S.* The composition of the Earth's crust // *U.S. Dep. Interior. Geol. Surv.* 1924. V. 770. P. 518.
13. *Ферсман А.Е.* Геохимия // *Природа и техника.* ОНТИ, 1939. 355 с.
14. *Goldschmidt V.M.* Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente, IX. Die Mengenverhältnisse der Elemente und Atomarten // *Skrifter Norske Videnskaps-Akad. Oslo. I. Mat.-naturw.,* 1937. V. 1, N 4. P. 1–148.
15. *Виноградов А.П.* Закономерности распределения химических элементов в земной коре // *Геохимия.* 1956. № 1. С. 6–52.
16. *Виноградов А.П.* Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // *Геохимия.* 1962. № 7. С. 555–571.
17. *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.
18. *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 J.* 2009. V. 93. P. 147–152.
19. *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.

*S.F. Abdullaev, V.A. Maslov, B.I. Nazarov, U. Madvaliev, T. Davlatshoev.* **Content of elements in soil and dust aerosols in Tajikistan.**

The geochemical pollution index and integrated pollution index of soil and dust haze samples by heavy metals have been analyzed in Tajikistan. Extremely high value of the index of contamination of samples of soil and dust aerosol by heavy metals such as: bismuth, arsenic, and copper was found. The reason for the enrichment of the soil, particularly, the south-central part of Tajikistan, by bismuth, arsenic, and copper is transboundary pollution transport of the dust storms (dust haze) from neighboring countries. The study of the elemental composition of the surface layer of the soil allows us to state that the northern part of Tajikistan is apparently exposed to powerful influence of industry in the region.