

УДК 546.3: [658.567:621.311.2]

Изучение распределения токсичных элементов в золошлаковых отходах предприятий топливно-энергетического комплекса Кемеровской области

Н. В. ЖУРАВЛЕВА¹, О. В. ИВАНЬКИНА¹, З. Р. ИСМАГИЛОВ²¹ОАО “Западно-Сибирский испытательный центр”, ул. Орджоникидзе, 9, Новокузнецк 654006 (Россия)

E-mail: zsic@mail.ru

²Институт углехимии и химического материаловедения Сибирского отделения РАН, проспект Советский, 18, Кемерово 650000 (Россия)

E-mail: iccms@iccms.sbras.ru

(Поступила 19.06.13)

Аннотация

Изучено распределение токсичных элементов в золошлаковых отходах предприятий топливно-энергетического комплекса Кемеровской области. Установлена миграция подвижных форм меди, никеля, цинка, свинца в грунтовые воды. Показано, что золошлаковые отходы при контакте с водой становятся источником токсичных элементов (ванадия, молибдена, мышьяка, никеля, цинка, марганца и хрома). В грунтовых водах на территории золошлаковых отвалов и в расположенных рядом природных водоисточниках содержание этих элементов существенно превышает их предельно допустимые концентрации в воде.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, токсичные элементы, валовые формы элементов, подвижные формы элементов, водорастворимые формы элементов

ВВЕДЕНИЕ

Энергетика – ведущая отрасль современной индустрии, но в то же время – источник существенного загрязнения биосферы. Наряду с газообразными выбросами сжигание твердых топлив в ТЭС и котельных сопровождается образованием золы и шлаков – золошлакоотвалов. В Кемеровской области в 2010 г. было накоплено 3318.517 тыс. т золошлаковых отходов, основная масса которых складирована [1]. Из девяти ТЭС Кузбасса только три имеют установки по сухому отбору золы (Томь-Усинская ГРЭС мощностью 20 тыс. т/год, Западно-Сибирская ТЭЦ – 100 тыс. т/г, Кемеровская ГРЭС – 30 тыс. т/год). Более 2 млн т отходов транспортируется водой вместе со шлаком в виде золошлаковых смесей в отвалы [2].

Химический состав золошлаковых отходов на 80–90 % представлен оксидами SiO₂, Al₂O₃, FeO, Fe₂O₃, CaO, MgO. Кроме того, в состав отходов входят остатки несгоревших частиц углей (0.5–20 %) и микропримеси – соединения марганца, ванадия, свинца, хрома и др. [3, 4]. Элементы, содержание которых в углях и золе углей выше кларков, называют типоморфными, или характеристическими. К ним относятся золото, селен, ртуть, германий, мышьяк и др. [5, 6]. В литературе в основном исследуется валовое содержание микроэлементов, а подвижные и водорастворимые формы остаются неизученными. Однако именно подвижные и водорастворимые формы микроэлементов важны при оценке экологической нагрузки на территорию. Обоснованное выделение перечня микроэлементов

тов для проведения экологического мониторинга окружающей среды на территории конкретного угольного бассейна имеет большое практи-

ческое значение. В частности, для объективной оценки степени влияния золошлаковых отходов на окружающую среду на территории Кемеров-

ТАБЛИЦА 1

Содержание валовых, подвижных и водорастворимых форм токсичных элементов в золошлаковых отходах и шлаках котельных Кемеровской области, мг/кг

Элементы	Шлаки котельной		Золошлаковые отходы		ПДК
	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3	Проба № 4	
<i>Валовые формы</i>					
Ванадий	22.40	44.80	67.20	50.10	150.0
Кадмий	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.5*
Кобальт	6.02	10.60	6.26	8.30	–
Марганец	2246.0	1250.0	6585.2	920.0	1500.0
Медь	29.00	41.00	20.70	16.30	33.0*
Молибден	4.10	4.80	2.10	3.30	–
Мышьяк	<0.1	5.00	6.00	13.00	2.0
Никель	30.00	40.00	39.30	20.20	20.0
Олово	<0.1	<0.1	2.20	1.50	–
Ртуть	0.91	0.29	<0.1	0.60	2.1
Свинец	26.00	92.00	66.00	16.00	32.0*
Сурьма	1.31	1.13	2.10	0.72	4.5
Хром	77.60	83.00	69.00	60.00	–
Цинк	21.00	41.00	16.10	28.40	55.0*
<i>Подвижные формы</i>					
Кобальт	0.08	0.12	0.16	0.10	5.0
Марганец	620.0	190.0	3150.0	460.0	300–700
Медь	10.00	26.00	20.00	12.00	3.0
Молибден	0.20	0.80	0.60	1.00	–
Никель	24.00	29.00	12.00	11.00	4.0
Свинец	18.00	85.00	32.00	6.20	6.0
Хром	0.43	0.52	1.34	1.90	6.0
Цинк	12.00	35.00	5.10	10.00	23.0
<i>Водорастворимые формы</i>					
Ванадий	0.0940	<0.0005	<0.0005	0.0200	0.001
Кадмий	<0.00001	0.00009	0.00008	<0.00001	0.005
Кобальт	<0.0002	0.0007	0.0002	<0.0002	0.01
Марганец	0.0020	0.0270	0.1400	0.0510	0.01
Медь	0.0025	0.0080	0.0030	0.0035	0.001
Молибден	0.1900	0.0210	0.0018	0.0350	0.0010
Мышьяк	0.0130	0.0081	<0.005	0.0100	0.05
Никель	0.0090	<0.0002	0.0100	<0.0002	0.01
Ртуть	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.00001
Сурьма	0.0056	0.0055	<0.0005	0.0102	0.05
Свинец	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.006
Хром	0.0019	0.0053	0.0021	0.0105	0.02
Цинк	<0.005	0.0110	0.0490	0.0132	0.01

Примечания. 1. Для валовой и подвижной форм указана ПДК для почвы (ПДК_п), мг/кг [18–20], для водорастворимой – ПДК для воды (ПДК_в), мг/дм³ [21]. 2. Прочерк – нет нормативных данных.

*Ориентировочно допустимая концентрация.

ской области необходима разработка программ экоаналитического мониторинга, включающих определенный перечень токсичных элементов.

Цель данной работы – изучение распределения токсичных элементов в золошлаковых отходах в валовых, подвижных и водорастворимых формах и оценка потенциальной опасности золошлакоотвалов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В соответствии с поставленной целью объектами исследования выбраны: золошлаковые отходы (смесь золоуноса и шлака), шлаки котельных Кемеровской области, подземные и поверхностные воды на территории золоотвалов, а также почва территорий, прилегающих к золоотвалам.

Отбор проб золошлаковых отходов производился в соответствии с нормативным документом [7], который устанавливает общие требования к отбору представительной пробы минеральных отходов. Отбор проб почв выполнялся по методикам, описанным в работах [8, 9]. Отбор проб поверхностных и подземных вод – согласно данным [10].

Концентрации элементов в пробах определялись следующими методами анализа: атом-

но-эмиссионным с индуктивно связанной плазмой (Liberty Series II, (Varian, США)), iCAP 6300 Duo (Thermo Scientific, Великобритания); атомно-абсорбционным с электротермической атомизацией (SpectrAA-640z, (Varian, США)); атомно-абсорбционным методом “холодного пара” (Hg) (Mercury analyser M-6000A, (СЕТАС Technologies Inc., США)) по аттестованным методикам [11–16]. Пробоподготовка для определения валового содержания элементов в пробах золошлаковых отходов и почв осуществлялась в герметичных пластиковых емкостях для разложения в смеси азотной и соляной кислот с использованием нагревательной платформы HotBlock (Environmental Express, Великобритания). Определение подвижных форм металлов проводилось после выдерживания исследуемой пробы в течение 24 ч в ацетатно-аммонийном буферном растворе с pH 4.8 при комнатной температуре. Перед определением элементов в воде пробу фильтровали, консервировали азотной кислотой и концентрировали упариванием. Все аналитические исследования выполнены в ОАО “Западно-Сибирский испытательный центр”, который аккредитован в системе Госстандарта РФ (№ РОСС RU. 0001 21АЯ07). Для исследования выбран перечень токсичных элементов, содержание которых

ТАБЛИЦА 2

Содержание валовых форм токсичных элементов в золошлаковых отходах и шлаках котельных Кемеровской области, мг/кг

Элементы	Золошлаковые отходы	Шлаки котельных	ПДК _н с учетом фона [18, 19]	Кларки элементов в золах каменных углей [22]	Диапазон содержаний для зол энергетических углей Кузбасса [23]
Ванадий	22.4–156.8	56.0–145.6	150.0	180±20	95.2–301.6
Кадмий	<0.05–0.4	<0.05–0.09	0.5*	1.50±0.30	1.8–8.8
Кобальт	7.1–24.7	7.35–15.08	–	37±2	28.2–77.4
Марганец	239.6–600.0	184.6–600.0	1500.0	480±30	1515–2704
Медь	14.0–24.0	16.7–52.6	33.0*	110±10	57.1–114.2
Молибден	4.0–8.0	4.00–40.0	–	14±1	6.1–13.8
Мышьяк	<0.1–15.0	<0.1–13.0	2.0	~50.0	157.2–843.9
Никель	16.2–65.4	15.0–84.2	20.0	96±5	36.2–132.6
Олово	<0.1–60.0	<0.1–42.0	–	н. д.	10.7–18.6
Ртуть	<0.1–5.0	<0.1–9.88	2.1	0.1	0.06–12.0
Свинец	8.8–110.6	6.0–236.0	32.0	56±7	126.2–416.6
Сурьма	<0.1	<0.1–15.0	4.5	4–7	8.3–31.7
Хром	38.4–247.9	20.0–958.9	–	120±5	129.7–290.4
Цинк	16.0–60.2	14.0–50.0	55.0*	170±10	171.4–454.3

Примечания. 1. Прочерк – нет нормативных данных. 2. н. д. – нет данных.

*Ориентировочно допустимая концентрация.

ТАБЛИЦА 3

Содержание токсичных элементов в подвижной и водорастворимой формах в золошлаковых отходах и шлаках котельных Кемеровской области, мг/кг

Элементы	Золошлаковые отходы	Шлаки котельных	ПДК
<i>Подвижные формы</i>			
Медь	35–204	30–300	3.0
Никель	30–55.0	25–65.0	4.0
Цинк	3.6–60.0	3.6–50.0	23.0
Свинец	2.0–104.0	2.0–101.6	6.0
Марганец	20.0–586.0	26.0–510.8	–
Хром	<0.2–4.7	<0.2–2.8	6.0
Молибден	0.2–6.0	0.2–5.0	–
Кобальт	<0.4	<0.4	5.0
<i>Водорастворимые формы*</i>			
Ванадий	<0.0005–0.17	<0.0005–1.77	0.001
Кадмий	<0.00001	<0.00001–0.0016	0.01
Кобальт	<0.0002–0.0009	<0.0002–0.03	0.01
Сурьма	<0.0005–0.006	<0.0005–0.05	0.05
Медь	<0.001–0.016	<0.001–0.03	0.001
Молибден	<0.001–0.60	<0.001–1.05	0.0012
Никель	<0.0002–0.27	<0.0002–0.50	0.01
Мышьяк	<0.005–0.50	<0.005–0.60	0.05
Свинец	<0.0002–0.03	<0.0002–0.025	0.1
Ртуть	<0.0001	<0.0001–0.0002	0.00001
Марганец	<0.005–0.13	<0.005–0.44	0.01
Хром	<0.0005–0.6	<0.0005–0.18	0.001
Цинк	0.0075–0.136	<0.005–0.0078	0.01

Примечания. 1. Для подвижной формы приведена ПДК_п с учетом фона, мг/кг [20], для водорастворимой – ПДК_в, мг/дм³ [21]. 2. Прочерк – нет нормативных данных.

*Водная вытяжка выполнена из соотношения твердое вещество/жидкость = 1 : 1, содержание водорастворимых форм элементов в мг/кг соответствует величине в мг/дм³.

нормируется в объектах окружающей среды [17]. Систематизация данных выполнена по следующему количеству проб: 182 для золошлаковых отходов и шлаков котельных, 35 для грунтовых вод, 17 для поверхностных вод и 20 для почв.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Золошлаковые отходы и шлаки котельных

Типичное распределение токсичных элементов в валовой, подвижной и водорастворимой формах для проб золошлаковых отходов и шлаков котельных представлено в табл. 1. Данные по содержанию валовых, подвижных и водорастворимых форм токсичных элементов в золошлаковых отходах и шлаках котельных Кемеровской области приведены в табл. 2 и 3.

По изученному перечню валового содержания токсичных элементов в золошлаковых отходах наблюдается значительное расхождение с опубликованными ранее данными [23] для цинка, кадмия, сурьмы, кобальта и особенно мышьяка. Авторы [23] преимущественно систематизировали данные полуколичественного спектрального анализа, в то время как мы применяли метод атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. Авторы [24] исследовали распределение микроэлементов Zn, Cd, Pb, As, Cu, Ni, Be, Sb в подмосковном угле, летучей золе, шлаке. С помощью метода атомно-абсорбционной спектроскопии для золы углей они установили, что содержание ряда микроэлементов (Zn 454 мг/кг, Cd 12.66 мг/кг, Pb 95.4 мг/кг, Ni 160.0 мг/кг, Cu 90.67 мг/кг) превышает полу-

ТАБЛИЦА 4

Кратность превышения концентраций токсичных элементов соответствующих значений ПДК_п в валовой и подвижной формах в золошлаковых отходах и шлаках котельных Кемеровской области

Элементы	Золошлаковые отходы		Шлаки котельных	
	Кратность превышения ПДК _п	% проб от общего количества	Кратность превышения ПДК _п	% проб от общего количества
	<i>Валовые формы</i>			
Хром	2.7	20.0	9.0–10.7	25.0
Свинец	2.0	90.0	3.2–4.3	50.0
	3.4	2.0	7.4	2.0
Ртуть	2.4	4.0	1.0–5.0	4.0
Олово	13.3	4.0	9.0	4.0
Сурьма	–	–	1.5–3.3	8.3
	<i>Подвижные формы</i>			
Медь	2.0–4.0	60.0	1.6–3.2	57.0
	6.8	40.0	6.6–10.1	43.0
Никель	2.0	31.0	1.3–1.5	28.5
	13.6	35.0	7.8–16.3	28.5
Цинк	2.6	30.0	1.7–2.2	28.6
Свинец	17.3	40.0	1.2–16.9	43.0

Примечание. Прочерк означает, что данные не превышают ПДК_п.

ТАБЛИЦА 5

Кратность превышения концентраций токсичных элементов соответствующих значений ПДК_в в водной вытяжке золошлаковых отходов и шлаков котельных Кемеровской области

Элементы	Золошлаковые отходы		Шлаки котельных	
	Кратность превышения ПДК _в	% проб от общего количества	Кратность превышения ПДК _в	% проб от общего количества
Ванадий	20.0–81.0	30.0	8.0–20.0	50.0
	110.0–170.0	53.0	700.0–920.0	15.0
			1770.0	2.0
Марганец	4.0–6.0	73.0	5.0–42.0	34.0
	11.5–13.0	12.0		
Медь	4.0–9.0	58.0	2.0–10.0	60.0
	10.0–16.0	35.0	20.0–30.0	12.0
Молибден	10.0–67.5	77.0	1.0–58.0	62.0
	100.0–500.0	15.0	83.0–333.0	4.0
			641.0–875.0	2.0
Мышьяк	10.0	4.0	3.0–12.0	10.0
Никель	1.0–5.0	65.0	1.0–6.0	14.0
	27.0	4.0	5.0	2.0
Цинк	1.0–8.0	69.0	–	–
	10.0–13.6	5.0	–	–
Хром	5.0–8.0	27.0	180.0	10.0
	10.0–30.0	50.0		
	200.0	11.5		
Кобальт	–	–	3.0	2.0

Примечание. Прочерк означает, что данные не превышают ПДК_в.

ТАБЛИЦА 6

Содержание токсичных элементов в грунтовых водах на территории золоотвалов и в природных водоисточниках вблизи золоотвалов

Элементы	Пьезометрические скважины		Поверхностная вода	
	Содержание, мг/дм ³	Кратность превышения ПДК _в	Содержание, мг/дм ³	Кратность превышения ПДК _в
Ванадий	<0.0005–0.08	0.5–80.0	<0.0005–0.15	0.5–150.0
Кадмий	<0.0005–0.001	–	<0.0005–0.0006	–
Кобальт	<0.0002–0.002	–	<0.0002	–
Сурьма	<0.0002	–	<0.0002–0.002	–
Медь	<0.001	–	<0.001	–
Молибден	0.001–0.16	0.8–133.0	0.002–0.160	2–133.0
Никель	<0.0002–0.03	0.02–2.8	<0.0002–0.002	0.02–1.8
Мышьяк	<0.005–0.021	0.1–0.42	0.007–0.029	–
Свинец	<0.0002–0.03	0.002–0.3	<0.0002	–
Ртуть	<0.0001	–	<0.0001	–
Марганец	0.10–3.80	10.0–380.0	н.д.	–
Хром	0.004–0.008	4.0–8.0	0.004–0.012	4.0–12.0
Цинк	0.005–0.11	0.5–11.0	<0.002–0.028	0.5–2.8

Примечания. 1. Проверк означает, что данные не превышают ПДК_в. 2. н. д. – нет данных.

ченные нами данные для кузбасских углей. В работе [5] также отмечается, что для всей массы углей Кузнецкого бассейна характерно незначительное содержание микроэлементов, за исключением отдельных пластов.

Обычно экологический контроль объектов окружающей среды основан на сопоставлении результатов химического анализа с нормируемыми величинами концентраций контролируемых веществ. Установлено, что в золошлаковых отходах концентрации хрома, свинца, ртути и мышьяка в валовой форме превышают значения ПДК_п [18, 19]. В 70 исследованных образцах шлаков котельных выявлено высокое содержание хрома, свинца, ртути, олова и сурьмы, многократно превышающее ПДК_п (табл. 4). Для ртути, одного из самых экологически опасных элементов, превышение значения ПДК_п выявлено для малого числа проб. Это может быть связано с тем, что основная ее масса при сжигании переходит в газовую фазу и рассеивается в окружающей среде [25].

Иная картина наблюдается для подвижных форм тяжелых металлов (см. табл. 4). Так, максимальные концентрации подвижных форм тяжелых металлов в золошлаках и шлаках котельных обнаружены для меди, никеля, цинка и свинца.

Токсичность промышленных отходов нужно оценивать не только по их воздействию на почву, но и по способности токсичных элементов переходить в воду. Из полученных результатов следует, что в водной вытяжке

ТАБЛИЦА 7

Содержание токсичных элементов в почвах прилегающих к золоотвалам территорий, определенное различными методами

Элементы	Содержание, мг/кг	ПДК _п , мг/кг
<i>Валовые формы</i>		
Кадмий	<0.05–0.40	0.5*
Медь	16.40–42.05	33.0*
Никель	28.00–43.00	20.0*
Свинец	20.80–42.00	32.0*
Цинк	52.00–151.60	55.0*
Мышьяк	6.00–21.00	2.0*
Ртуть	<0.1–1.40	2.1
<i>Подвижные формы</i>		
Медь	3.00–19.00	3.0
Цинк	14.00–62.00	23.0
Никель	8.70–30.00	4.0
Свинец	15.00–23.00	6.0

Примечание. Содержание валовых форм определено в соответствии с [11], подвижных форм – по методике, изложенной в [13].

* Ориентировочно допустимая концентрация.

ТАБЛИЦА 8

Кратность превышения концентраций подвижных форм токсичных элементов соответствующих значений ПДК_п в почвах, прилегающих к золоотвалам

Элементы	Кратность превышения ПДК _п	% проб от общего количества почв
Медь	1.5	67.0
	6.0	33.0
Никель	1.6–2.2	33.0
	2.5–7.5	67.0
Цинк	2.0–2.7	44.4
Свинец	1.7–3.8	100.0

золошлаковых отходов и шлаков котельных обнаружены высокие концентрации ванадия, марганца, меди, молибдена, мышьяка, никеля, цинка, хрома (табл. 5).

Водные объекты

Проанализировано влияние золоотвалов на грунтовые и поверхностные воды. По данным табл. 3 и 6, высокие концентрации ванадия, молибдена, мышьяка, никеля, цинка, марганца и хрома характерны как для водорастворимых форм золошлаковых отходов, так и для грунтовых и поверхностных вод естественных водоисточников вблизи золоотвалов. Для этих элементов не существует геохимических барьеров при инфильтрации природных вод через ложе золоотвала. Кадмий, кобальт, сурьма, свинец и ртуть не обнаружены ни в водной вытяжке отходов, ни в грунтовых и поверхностных водах.

Почвы

Проведена систематизация данных изучения почв, прилегающих к территории золоотвалов (табл. 7). Видно, что для меди, никеля, свинца, цинка и мышьяка наблюдается превышение ПДК_п валовых форм элементов. Установлены высокие концентрации для подвижных форм цинка, свинца, меди и никеля (табл. 8). Это свидетельствует о переходе в почвенные растворы этих металлов, несмотря на низкие концентрации никеля и меди в валовой форме. Полученные данные свидетельствуют о загрязнении территорий вблизи золоотвалов именно этими металлами.

Выводы

1. Золошлаковые отходы при контакте с водой служат источником токсичных элементов (ванадия, молибдена, мышьяка, никеля, цинка, марганца и хрома) в грунтовых водах на территории золошлаковых отвалов и в расположенных поблизости природных водоисточниках, содержание этих элементов в наблюдательных скважинах существенно превышает их предельно допустимые концентрации в воде.

2. Установлена значительная миграция подвижных форм тяжелых металлов (медь, никель, цинк, свинец) от золошлакоотвалов в почву, несмотря на низкие концентрации никеля и цинка в валовой форме.

3. Анализ распределения токсичных металлов в системе отходы – грунтовые (поверхностные) воды – почва позволяет количественно описать поступление тяжелых металлов в окружающую среду из золы и шлака, хотя степень распределения отдельных металлов в системе различна.

4. Полученные данные необходимо использовать при планировании природоохранных мероприятий на местах складирования золошлаковых отходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Материалы к Государственному докладу “О состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2010 году”. ГУ “Областной комитет природных ресурсов”, Кемерово, 2011. [сайт]. URL: [http://: www.kuzbass-eco.ru](http://www.kuzbass-eco.ru) (дата обращения 15.12.2012).
- 2 Павленко С. И. Бетоны на основе золы и шлака ТЭС и комплексное их использование в строительстве. М.: Изд-во АСВ, 2000. 203 с.
- 3 Нифантов Б. Ф., Потапов В. П., Анферов Б. А., Кузнецова Л. В. Угли Кузбасса: химические элементы примеси и технологии их извлечения при комплексном освоении месторождений. Кемерово: изд. Ин-та угля СО РАН, 2011. 310 с.
- 4 Арбузов С. И., Ершов В. В., Поцелуев А. А., Рихванов Л. П. Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна. Кемерово, 2000. 248 с.
- 5 Шпирт М. Я., Пунанова С. А. // ХТТ. 2010. № 4. С. 57–65.
- 6 Шпирт М. Я., Пунанова С. А. // ХТТ. 2011. № 3. С. 10–25.
- 7 ПНД Ф 12.4.2.1–99. Отходы минерального происхождения. Рекомендации по отбору и подготовке проб. Общие положения. М.: Гос. комитет РФ по охране окружающей среды, 1999. 16 с.
- 8 ПНДФ 12.1:2.2:2.3.2–2003. Отбор проб почв, грунтов, осадков биологических очистных сооружений,

- шламов промышленных сточных вод, донных отложений искусственно созданных водоемов, прудов-накопителей и гидротехнических сооружений. М.: Мин-во природ. ресурсов РФ, 2003. 12 с.
- 9 ГОСТ 17.4.4.02–84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа // Сборник “Охрана природы. Почвы”. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000. 60 с.
 - 10 ГОСТ Р 51592–2000. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Госстандарт России, 2000. 32 с.
 - 11 ПНД Ф 16.1:2.3:3.11–98. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. М.: Гос. комитет РФ по охране окружающей среды, 1998. 30 с.
 - 12 ПНД Ф 16.1:2.2:2.3.36–02. Методика выполнения измерений валового содержания меди, кадмия, цинка, свинца, никеля и марганца в почвах, донных отложениях и осадках сточных вод методом пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии. М.: Мин-во природ. ресурсов РФ, 2002. 20 с.
 - 13 ПНД Ф 16.1:2.3:3.50–08. Методика выполнения измерений массовых долей подвижных форм металлов (цинка, меди, никеля, марганца, свинца, кадмия, хрома, железа, алюминия, титана, кобальта, мышьяка, ванадия) в почвах, отходах, компостах, кеках осадках сточных вод атомно-эмиссионным методом с атомизацией в индуктивно связанной аргоновой плазме. М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2008. 15 с.
 - 14 ПНД Ф 14.1:2.:4.135–98. Методика выполнения измерения массовых концентраций металлов методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в питьевой, природной, сточной водах и атмосферных осадках. М.: Гос. комитет РФ по охране окружающей среды, 1998. 20 с.
 - 15 ПНД Ф 14.1:2:4.136–98. Методика выполнения измерения массовой концентрации ртути методом беспламенной абсорбционной спектрометрии (метод “холодного пара”) в питьевой, природной, сточной водах и атмосферных осадках. М.: Гос. комитет РФ по охране окружающей среды, 1998. 20 с.
 - 16 ПНД Ф 14.1:2.:4.140–98. Методика выполнения измерения массовых концентраций металлов в питьевых, природных и сточных водах методом атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС). М.: Гос. комитет РФ по охране окружающей среды, 1998. 20 с.
 - 17 СанПиН 2.1.7.1287–03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 16 апреля 2003 г.
 - 18 СанПиН 42-128-4433–87. Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве. Утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 30 октября 1987 г.
 - 19 Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2511–09. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 11 с.
 - 20 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041–06. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 15 с.
 - 21 Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Утв. Приказом Федерального агентства по рыболовству № 20 от 18.01.2010. 214 с.
 - 22 Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. Екатеринбург: изд-во УрО РАН, 2005. 656 с.
 - 23 Угольная база России. Том II. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассейны; месторождения Алтайского края и Республики Алтай). М.: ООО “Геоинформцентр”, 2003. 604 с.
 - 24 Самуйлов Е. В., Лебедева Л. Н., Фаминская М. В., Покровская Л. С. // ХТТ. 2010. № 1. С. 45–54.
 - 25 Шпирт М. Я., Пунанова С. А. // ХТТ. 2011. № 5. С. 42–49.