

УДК 631.453:546.3(470.3)

ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В Г. ТВЕРИ

А.Ф. Мейсунова

Тверской государственной университет, Тверь

С помощью АЭС–ИСП–анализа в почвах г. Твери выявлено 17 тяжелых металлов (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, V, W, Zn, Zr), представляющих три класса опасности. Средние и валовые концентрации для половины этих металлов (As, Cu, Fe, Cr, Zr, Ni, Zn) выше значений ПДК. Больше всего металлов с максимальными значениями концентраций обнаружено в пробах из Московского и Пролетарского районов города. Суммарные показатели загрязнения почв (Zс) в этих районах также достигают максимальных величин (23,28 и 22,81 соответственно). Минимальные концентрации металлов в почвах отмечены в пределах ООПТ, на которых представлены фрагменты естественных лесных массивов.

Ключевые слова: металлы, загрязнение почв, АЭС–ИСП–анализ, промышленные предприятия, автотранспорт, ПДК, классы опасности, суммарный показатель загрязнения почв, Тверь, памятники природы регионального значения, кларки элементов.

Введение. Почвы играют ключевую роль в механизмах поддержания устойчивости экосистем. Они являются средой обитания для большинства живых организмов, определяют структуру биоценозов и уровень биоразнообразия (Шамсутдинова и др., 2011). Однако способность аккумулировать в городских условиях разнообразные химические элементы и соединения оказывается опасной для биологических объектов (Mikhailova et al., 2013; Liu et al., 2016). Городские почвы депонируют в себе разные токсичные вещества, в том числе тяжёлые металлы (ТМ), к которым относят группу химических элементов со свойствами металлов и полуметаллов, имеющих значительный атомный вес или плотность. ТМ поступают с атмосферными осадками, аэрозольными выпадениями, а также с бытовыми и производственными отходами (Apostoaе, Iancu, 2009; Wuana, Okieimen, 2011). Основными источниками загрязнения почв тяжёлыми металлами являются промышленные и энергетические предприятия, автотранспорт, жилищно-коммунальное хозяйство (Савченко, 2011). В этой связи актуальны исследования, связанные с оценкой уровня техногенного загрязнения почв и выявлением участков, представляющих реальную экологическую опасность.

Особый интерес такие исследования представляют в городах, которые не в полной мере охвачены региональной сетью мониторинговых наблюдений. Они необходимы также в городах, где выявляется ограниченное число измеряемых параметров. К их числу принадлежит г. Тверь – административный и промышленный центр Тверской области. Общая площадь Твери составляет 152,22 км², а численность населения – 416 442 человек (Мейсунова, Нотов, 2012). В городе развито машиностроение, химическая, энергетическая и лёгкая промышленность, осуществляется производство строительных материалов. Все это определяет высокую антропогенную нагрузку на окружающую среду. В отдельных пробах почв из г. Твери регулярно регистрируется превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) по цинку, ртути, хromу, свинцу (Государственный доклад ..., 2016). Спектр определяемых в городе металлов ограничен. С учетом численности населения, площади и промышленной инфраструктуры число пунктов наблюдений является недостаточным. Последняя комплексная экологическая экспертиза в г. Твери проводилась более 20 лет назад (Тихомиров, Емельянова, 1994; Виноградова и др., 2006). Необходима современная оценка содержания тяжелых металлов в почвах г. Твери.

Цель настоящего исследования – оценка экологического состояния и уровня техногенного загрязнения металлами почв в г. Твери. Задачи: 1) определение сети пунктов изучения почв на основе анализа промышленной инфраструктуры города; 2) отбор проб почв; 3) определение и анализ содержания ТМ с помощью атомно-эмиссионного спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой (АЭС–ИСП–анализ); 4) оценка уровня загрязнения почв ТМ на основе расчета суммарного показателя загрязнения (Zc); 5) картографирование полученных данных.

Методика. Исследования состояния почв в г. Твери провели в весеннее-летний период 2016 г. На основе данных о хозяйственной инфраструктуре г. Твери определили 19 пунктов отбора (ПО) проб почв, которые располагаются в разных районах города: в Центральном районе города – 3 ПО (ПО 1–3); в Заволжском – 6 (ПО 4–9); в Пролетарском – 5 (ПО 10–14); в Московском – 5 (ПО 15–19). Общая характеристика местоположения выбранных ПО почвенных проб в городе представлена в табл. 1.

Таблица 1
Общая характеристика ПО почв (1–19) в г. Твери

№ ПО	Местоположение	Координаты	Потенциальные источники загрязнения	
			<i>Заволжский район</i>	
1	Петербургское шоссе, 45-б	56°52'12" с.ш. 35°51'18" в.д.	машиностроение: ОАО «Тверской вагоностроительный завод», ОАО Центросвармаш ОАО «Ритм», ООО «Тверской завод стальных конструкций», ООО; произ-во стройматериалов: ОАО «Тверской домостроительный комбинат», ООО «Тверское СМУ-2 МЭС»; автотранспорт (выезд на федеральную автомобильную дорогу М10	
2	ул. Фрунзе, д.1	56°53'24" с.ш. 35°50'24" в.д.	машиностроение: ООО «Строймаш-Сервис»	
3	ул. Г. Димитрова, 21	56°51'36" с.ш. 35°57'36" в.д.	энергетика: Тверская ТЭЦ-3; автотранспорт	
4	ул. Горького, 62 (сквер в честь Ниловского С.Ф.)	56°52'1" с.ш. 35°54'19" в.д.	автотранспорт	
5	ул.3-я Силикатная, д. 27	56°51'51" с.ш. 35°57'2" в.д.	производство строительных материалов. ЗАО «Тверской комбинат строительных материалов № 2», ООО «Тверской кирпич»; автотранспорт	
6	ул. Академика Туполева, д.117	56°54'12" с.ш. 35°54'10" в.д.	машиностроение: ОАО «СтанкоМашКомплекс», производство строительных материалов; ЗАО «Тверской комбинат строительных материалов № 2», ООО «Тверской кирпич»; автотранпорт	
<i>Пролетарский район</i>				
7	ул. Авангардная, 1	56°50'24" с.ш. 35°45'36" в.д.	военный аэродром «Мигалово», несколько воинских частей.	
8	ул. пр-т 50 лет Октября, д. 46	56°50'45" с.ш. 35°47'47" в.д.	производство стройматериалов: ООО «Комбинат ЖБИ-2»; химическая отрасль: ОАО «Тверского полиграфического комбината детской литературы»; автотранспорт	
9	ул. Маршала Конева (Первомайская роша)	56°50'37" с.ш. 35°49'42" в.д.	энергетика: Тверская ТЭЦ-1; машиностроение: Тверской завод электроаппаратуры – ЭЛТОР, ООО «Гекмаш-М», ООО «Тверьстроймаш»;	

				химическая отрасль: ОАО «Гверская фармацевтическая фабрика»; автоотранспорт
10	ул. Двор фабрики Пролетарка, д. 1	56°51'2'' с.ш. 35°51'36'' в.д.		энергетика: Гверская ТЭЦ-1; машиностроение: ООО «Текмаш-М»; химическая отрасль: ОАО «Гверская фармацевтическая фабрика»; ООО «ЖБИ-12»; автоотранспорт, железнодорожный транспорт (Октябрьская железная дорога); АЗС, отопительные системы частного жилого сектора, бытовые свалки
11	Головинский переулок, 2	56°51'24'' с.ш. 35°52'43'' в.д.		машиностроение: ЗАО «ЭКСМАШ»; автоотранспорт; отопительные системы частного жилого сектора
<i>Центральный район</i>				
12	ул. Краснофлотская наб., 1 (вблизи обелиска Победы)	56°51'36'' с.ш. 35°53'24'' в.д.		автоотранспорт
13	ул. Советская, 31 (Главпочтам)	56°51'36'' с.ш. 35°55'12'' в.д.		автоотранспорт
14	пр. Победы (парк Победы)	56°50'52'' с.ш. 35°54'56'' в.д.		легкая промышленность: ОАО «Гверская швейная фабрика»; автоотранспорт;
<i>Московский район</i>				
15	ул. Можайского, д. 60	56°49'12'' с.ш. 35°53'24'' в.д.		автоотранспорт (выезд на федеральную автомобильную дорогу М10)
16	ГПП «Бобачёвская роща»	56°49'44'' с.ш. 35°56'3'' в.д.		машиностроение: ОАО «Гверской экскаваторный завод», ЗАО «Гверской экспериментально-механический завод», ООО «Калининский энергомеханический завод»; ЗАО ПФК «Гвердизельагрегат»; химическая отрасль: ОАО «Гверхимволокно – Полиэфир», ОАО «Гверхимволокно – Вискоза», ОАО «Искож-Гверь», ОАО «Сибур-ПЭТФ», ООО «Гематек»
17	пл. Гагарина, 1	56°51'3'' с.ш. 35°57'36'' в.д.		машиностроение: ОАО «Гверской экскаваторный завод», ЗАО «Гверской экспериментально-механический завод», ЗАО ПФК «Гвердизельагрегат»; химическая отрасль: ОАО «Гверхимволокно – Полиэфир», ОАО «Гверхимволокно – Вискоза», ОАО «Искож-Гверь», ОАО «Сибур-ПЭТФ»; энергетика: Гверская ТЭЦ-4; производство стройматериалов: ЗАО «Гверской камнеобрабатывающий завод»; автоотранспорт (выезд на федеральную автомобильную дорогу М10)

18	ул. Коняевская, д. 10	56°48'36" с.ш. 35°58'48" в.д.	машиностроение: ЗАО «ПФК Твердизельагрегат», ООО «МеталлСнаб»; исправительная колония № 1 УФСИН России по Тверской области с производственными цехами; деревообрабатывающая отрасль: ПФ «МАКС»
19	Московское шоссе (около ГПП «Берёзовая роща»)	56°48'19" с.ш. 36°1'26" в.д.	машиностроение: ОАО «Тверской экскаваторный завод», ЗАО «Тверской экспериментально-механический завод», ЗАО ПФК «Твердизельагрегат»; химическая отрасль: ОАО «Тверхимволокно – Полиэфир», ОАО «Тверхимволокно – Вискоза», ОАО «Искож-Тверь», ОАО «Сибур-ПЭТФ»; автотранспорт (выезд на федеральную автомобильную дорогу М10), «АТП Тверьспецстрой, ООО, автотранспортное предприятие»

Образцы почв (ПО 1–19) отбирали по стандартной методике (ГОСТ 17.4.1.02-83, 2008; ГОСТ 17.4.4.02-84, 2008). Подготовку образцов почвы для определения металлов выполняли при помощи стандартных лабораторных процедур (Савченко, 2011). Определение содержания ТМ в пробах почв осуществили с помощью атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой iCAP 6300 Duo (ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98, 2005). Полученные значения концентраций выявленных металлов выражали в мг/кг. Значения концентраций ТМ в пробах сравнивали с ПДК (ОДК) химических веществ в почве (ГН 2.1.7.2041-06, 2006; ГН 2.1.7.2511-09, 2009; Водяницкий, Ладонин, 2012).

Оценку суммарной степени загрязнения почв ТМ в городе провели по данным о величине суммарного показателя загрязнения (Z_c) (Дабахова и др., 2005; Мотузова, 2007):

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n-i),$$

где: n – число анализируемых металлов с $K_c > 1$; K_c – коэффициенты техногенной концентрации, рассчитываемые следующим образом:

$$K_c = K_{\text{общ}}/K_{\text{фон}},$$

где: $K_{\text{общ}}$ - содержание металла в исследуемой почве; $K_{\text{фон}}$ - содержание элемента в фоновой почве (кларковые значения) (Виноградов, 1956, 1957).

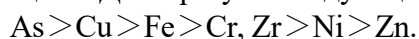
Категории уровня загрязнения почвенного покрова по суммарному показателю загрязнения почв металлами приняты следующие: допустимая 1–8; слабая 8–16; средняя 16–32; сильная 32–64; очень сильная 64–128.

Статистическую обработку данных и определение параметров (число проб конкретной выборки, среднее значение, стандартное отклонение, коэффициенты вариации и корреляции, t -критерий Стьюдента и др.) провели по стандартным методам математической статистики с использованием лицензионных программных продуктов Microsoft Office Excel 2013.

Результаты и обсуждение. С помощью АЭС-ИСП-анализа в пробах почв г. Твери (ПО 1–19) обнаружено 17 металлов, которые можно отнести к группе тяжелых (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, V, W, Zn, Zr) (табл. 2). Следует отметить, что среди выявленных ТМ, в анализируемых почвах содержатся такие малоизученные металлы, как цирконий, олово, вольфрам, галлий (Позняк, 2011). Выявленные металлы представляют 3 класса опасности (ГН 2.1.7.2041-06, 2006; ГОСТ 17.4.1.02-83, 2008; ГН 2.1.7.2511-09, 2009; Водяницкий, Ладонин, 2012). К первому классу опасности (высокоопасные) относят 4 ТМ (As, Cd, Pb, Zn,); ко второму (умеренноопасные) – 6 ТМ (Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Sb,); к третьему (малоопасные) – 7 ТМ (Fe, Ga, Mn, Sn, V, W, Zr). Число и состав выявленных металлов по районам города примерно одинаковые. Только

кадмий не был обнаружен в почвенных пробах Центрального и Заволжского районов города.

Количественный анализ показал, что почвы по уровню содержания ТМ характеризуются крайней неоднородностью. Значения среднего и валового содержания менее половины ТМ не превышают значения ПДК (Cd, Co, Mn, Mo, Sn, V) (табл. 2). Однако по другим металлам значения среднего и валового содержания металлов выше значений ПДК. Среди них металлы первого (As, Pb, Zn), второго (Sb, Ni, Cr, Cu) и третьего классов опасности (Fe, Ga, Zr). Данные металлы по уровню значений средних концентраций превышающих ПДК образуют следующий ряд:



На первом месте по уровню среднего содержания в почвах города находится мышьяк, представляющий первый класс опасности. Средняя концентрация мышьяка составляет 15,27 мг/кг, что превышает значение ПДК в 7,6 раза (ПДК по мышьяку 2 мг/кг) (табл. 2). Валовое содержание мышьяка в почвенных пробах повсеместно выше нормы. Значения концентраций варьируют от 8,50 до 29,88 мг/кг. Максимальные значения валовых концентраций мышьяка зарегистрированы в Пролетарском районе (ПО 11) – 13–15ПДК (29,88 мг/кг) (рис. 1).

На втором месте после мышьяка по уровню среднего содержания в почве находится медь, представляющая второй класс опасности. Ее средняя концентрация в городе составляет 17,40 мг/кг, что превышает значение ПДК в 5,8 раза (ПДК по меди составляет 3 мг/кг). Как и для мышьяка, валовое содержание меди в пробах повсеместно выше нормы. Значения концентраций металла варьируют от 7,20 до 35,68 мг/кг. Самый высокий уровень загрязнения почв медью в ПО 4 Заволжского района, где валовая концентрация металла в пробах составляет 12 ПДК (35,68 мг/кг) (рис. 2).

Среднее содержание малоопасного железа в почвах превышает значение ПДК в 4,77 раза (ПДК по железу 1000 мг/кг) и составляет 4768,43 мг/кг. Валовое содержание этого металла, как мышьяка и меди, повсеместно выше нормы. Значения концентраций металла варьируют от 2374,00 до 9768,00 мг/кг. Самые высокие значения валовых концентраций железа, как и мышьяка, выявлены в Пролетарском районе – ПО 11 (рис. 3). В пробах почв из этого района отмечены максимальные значения концентрации железа – 9,7ПДК (9678,00 мг/кг).

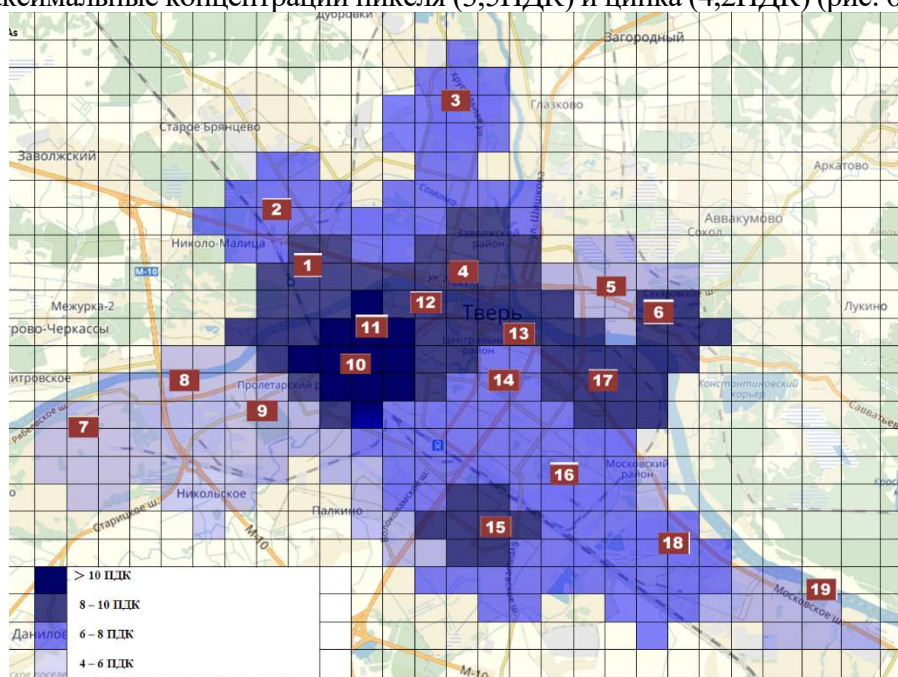
Таблица 2

Значения валовых и средних концентраций ТМ в г. Твери, мг/кг

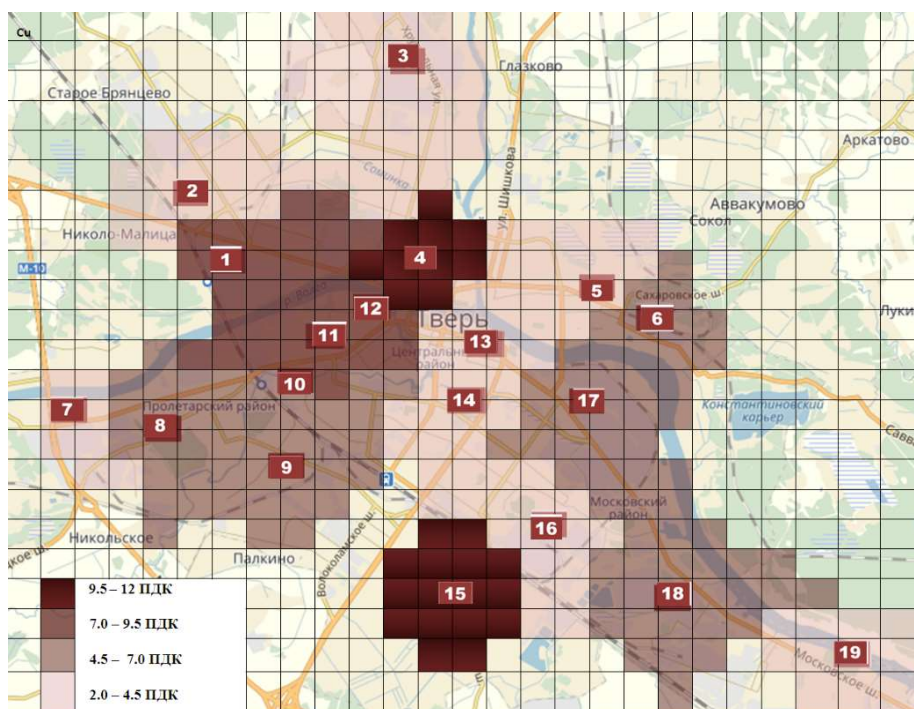
Район	ПО	ТМ																
		Cd	As	Pb	Zn	Mo	Co	Sb	Ni	Cu	Cr	V	Sn	Mn	W	Fe	Ga	Zr
Заволжский	1	0,48	17,72	28,04	50,52	0,36	-	8,62	13,54	22,08	20,86	6,60	0,12	112,86	17,58	5896,00	4,94	15,92
	2	0,22	13,04	3,20	11,70	0,30	-	3,90	6,20	12,08	16,76	3,40	0,34	58,14	3,38	2766,00	0,62	20,48
	3	0,06	13,06	6,98	24,14	0,16	-	2,78	9,52	12,60	15,88	4,56	0,74	105,46	5,62	3844,00	3,62	29,64
	4	0,16	17,32	49,12	14,36	0,22	-	0,34	3,96	35,68	12,90	23,34	0,09	214,00	2,30	6012,00	0,06	7,26
	5	-	9,88	-	50,12	0,18	-	0,38	2,46	12,18	8,32	17,50	0,48	99,86	2,50	4108,00	0,02	4,48
	6	0,38	16,04	8,56	33,90	0,18	-	7,14	7,00	20,62	16,86	4,84	0,40	91,84	3,28	3898,00	0,56	28,56
Протарсский	Сред. по р-ву	0,22	14,51	15,98	30,79	0,23	-	3,86	7,11	19,21	15,26	10,04	0,36	113,69	5,78	4420,67	1,64	17,72
	7	0,26	8,86	3,88	19,42	0,16	-	4,24	5,36	10,00	11,52	0,24	0,08	111,32	4,04	2616,00	2,16	4,96
	8	-	9,36	-	28,10	0,16	-	0,72	3,82	15,74	8,36	0,62	0,09	95,18	3,32	2962,00	0,04	3,92
	9	-	8,50	-	-	0,22	-	0,52	1,08	14,22	4,12	0,27	0,48	51,28	3,84	2374,00	0,02	2,82
	10	0,38	29,88	7,36	41,62	0,44	-	7,16	7,52	20,32	22,38	4,64	0,42	91,90	22,46	4580,00	3,92	19,64
	11	0,84	25,68	23,54	71,42	0,32	0,22	9,16	13,72	27,50	28,36	10,82	0,19	434,00	19,44	9678,00	8,62	33,76
Центральный	Сред. по р-ву	0,30	16,46	6,96	32,11	0,26	0,04	4,36	6,30	17,56	14,95	3,32	0,25	156,74	10,62	4442,00	2,95	13,02
	12	0,54	17,74	18,40	43,80	0,18	-	7,00	9,08	24,04	18,12	5,02	0,36	154,00	10,40	7460,00	4,64	34,50
	13	0,06	17,74	2,94	12,04	0,16	-	3,70	5,98	12,56	13,72	2,12	0,14	136,60	2,42	4478,00	3,04	16,94
	14	-	11,86	-	-	0,16	-	-	1,90	12,60	13,08	23,60	0,02	168,12	2,42	4090,00	0,06	4,84
Московский	Сред. по р-ву	0,20	15,78	7,11	18,61	0,17	-	3,57	5,65	16,40	14,97	10,25	0,17	152,91	5,08	5342,67	2,58	18,76
	15	1,08	18,10	43,60	96,34	0,36	0,04	11,36	11,92	29,46	30,52	8,82	0,08	159,98	23,46	6058,00	5,02	19,28
	16	0,04	13,70	14,02	9,76	0,20	-	0,22	2,42	10,26	11,86	28,60	0,18	158,30	2,64	5106,00	0,00	6,82
	17	0,56	19,40	4,76	65,46	0,44	0,02	3,48	10,58	15,04	23,86	7,18	0,19	215,20	13,92	6104,00	5,06	24,32
	18	0,06	11,32	4,06	27,60	0,20	-	8,32	11,24	20,30	23,72	4,58	0,42	85,94	10,40	3508,00	3,38	12,48
Сред. по городу	19	-	9,16	-	-	0,12	-	-	1,82	7,20	6,36	24,06	0,20	191,14	3,20	3566,00	0,06	4,16
	Сред. по р-ву	0,35	14,34	13,29	39,83	0,26	0,01	4,68	7,60	16,45	19,26	14,65	0,21	162,11	10,72	4868,40	2,70	13,41
	Сред. по городу	0,27	15,27	10,84	30,34	0,23	0,01	4,12	6,67	17,40	16,11	9,56	0,25	146,36	8,05	4768,43	2,47	15,73
Итого	2	2	32	23	2	5	4	4	4	3	6	150	4,5	1500	нет	1000	3	6

Различия в среднем содержании хрома и циркония, представляющие второй и третий классы опасности, в почвах города незначительны. Значения средних концентраций по хрому и цирконию выше ПДК в 2,6 раза (ПДК по хрому и цирконию составляет 6 мг/кг) и составляют 16,11 и 15,73 мг/кг соответственно. Однако в валовом содержании этих металлов имеется разница. Практически все почвенные пробы города с концентрацией хрома выше ПДК (ПО 1–8, 10–19), в то время как по цирконию таких проб меньше (ПО 1–4, 6, 10–13, 15–18) (рис. 4, 5). Значения концентраций металлов варьирует: по хрому от 4,12 до 30,52 мг/кг, по цирконию – от 2,82 до 34,50 мг/кг соответственно. Высокое валовое содержание этих металлов выявлено в Московском (ПО 15) и Центральном районах города (ПО 12), где зарегистрированы максимальные значения концентраций металлов (5–6ПДК).

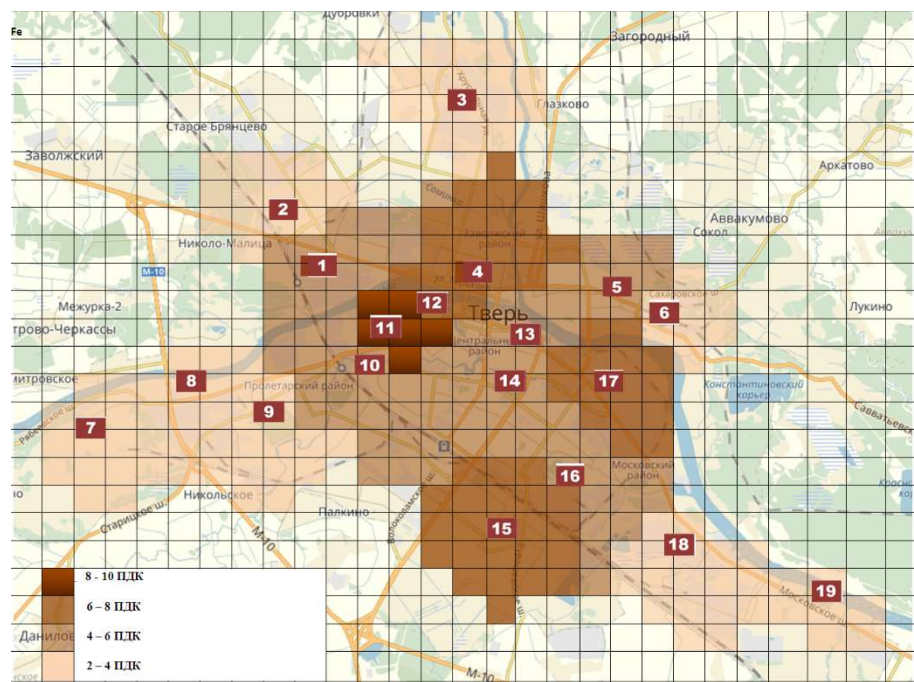
Среднее содержание никеля и цинка, представляющих второй и первый классы опасности, больше ПДК, но не выше 2 ПДК (ПДК по никелю и цинку 4 и 23 мг/кг соответственно). Значения средних концентраций по никелю в городе равно 6,67 мг/кг; по цинку – 30,34 мг/кг. Валовое содержание этих металлов выше нормы в половине изученных проб: по никелю – 12 ПО; по цинку – 9 ПО. В почвенных пробах Пролетарского (ПО 11) и Московского районов города (ПО 15) зарегистрированы максимальные концентрации никеля (3,5ПДК) и цинка (4,2ПДК) (рис. 6, 7).



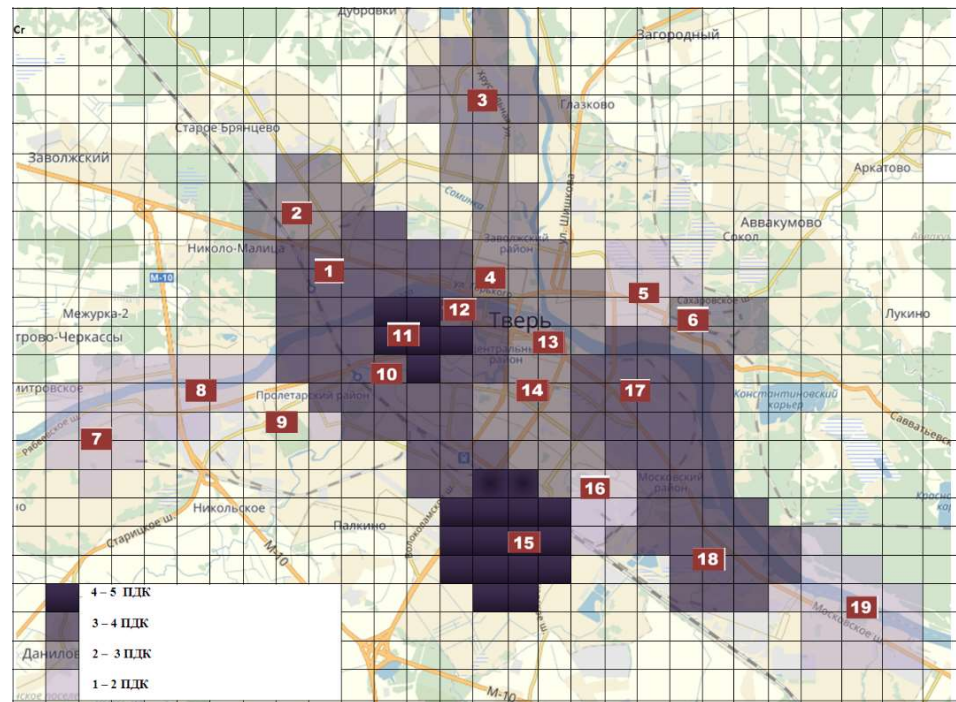
Р и с . 2 . Уровень загрязнения почв мышьяком в г. Твери, мг/кг:
1–19 – пункты отбора проб



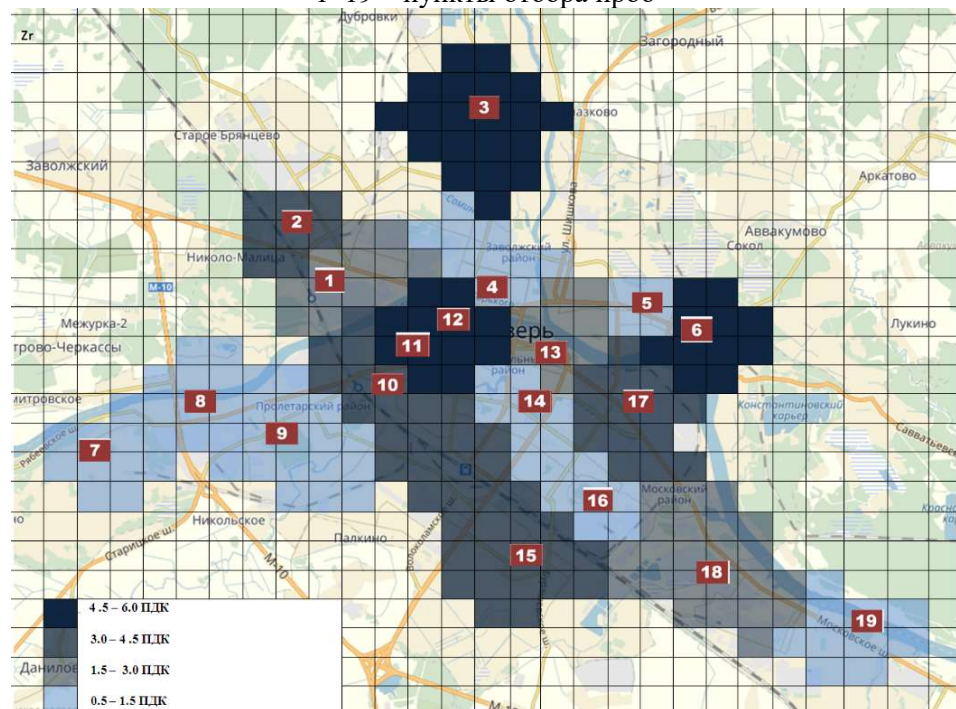
Р и с . 3 . Уровень загрязнения почв медью в г. Твери, мг/кг:
1–19 – пункты отбора проб



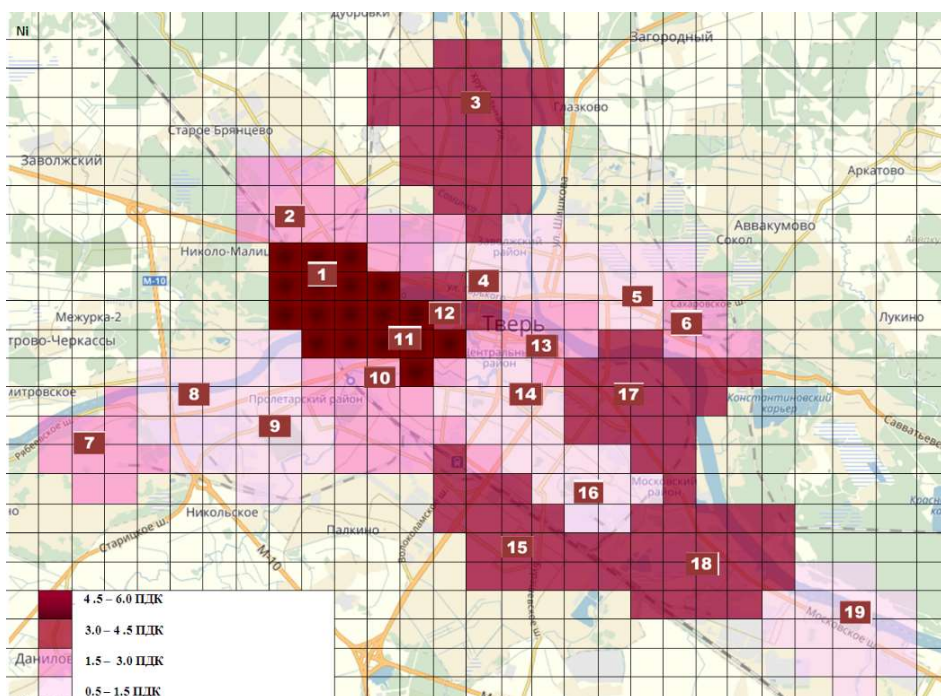
Р и с . 4 . Уровень загрязнения почв железом в г. Твери, мг/кг:
1–19 – пункты отбора проб



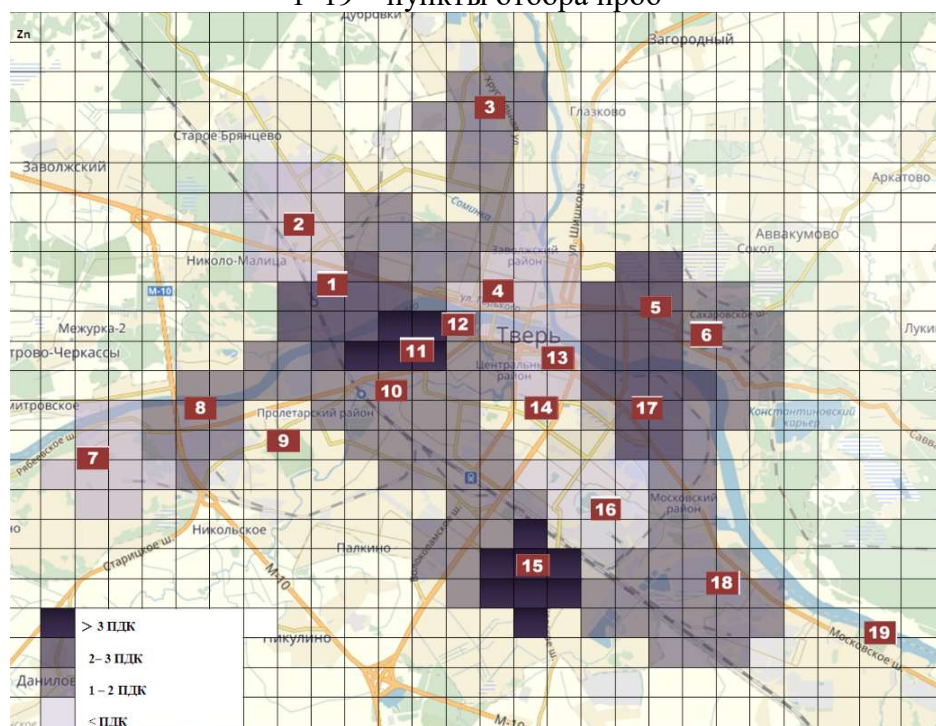
Р и с . 5. Уровень загрязнения почв хромом в г. Твери, мг/кг:
1–19 – пункты отбора проб



Р и с . 6. Уровень загрязнения почв цирконием в г. Твери, мг/кг:
1–19 – пункты отбора проб



Р и с . 7. Уровень загрязнения почв никелем в г. Твери, мг/кг:
1–19 – пункты отбора проб



Р и с . 8. Уровень загрязнения почв цинком в г. Твери, мг/кг:
1–19 – пункты отбора проб

Среди металлов, средние концентрации которых не превышают значения ПДК в городе, но имеют валовое содержание в отдельных пробах выше нормы – свинец (ПО 4, 15), олово (ПО 1, 6, 10–12, 15, 18) и галлий (ПО 1, 3, 10–13, 15, 17, 18) (табл. 2).

Таблица 3

Оценка степени химического загрязнения почвы в муниципальных районах г. Твери

ТМ	Заволжский			Пролетарский			Центральный			Московский			Кларки
	Сред., мг/кг	Ксi	Zc	Сред., мг/кг	Ксi	Zc	Сред., мг/кг	Ксi	Zc	Сред., мг/кг	Ксi	Zc	
Cd	0,22	0,04	1,85 (допустимый уровень загрязнения)	0,30	0,06	22,81 (средний уровень загрязнения)	0,20	0,04	15,15 (слабый уровень загрязнения)	0,35	0,07	23,28 (средний уровень загрязнения)	5
As	14,51	2,9		16,46	3,29		15,78	3,16		14,34	2,87		5
Pb	15,98	1		6,96	0,43		7,11	0,44		13,29	0,83		16
Zn	30,79	0,62		32,11	0,64		18,61	0,37		39,83	0,8		50
Mo	0,23	0,08		0,26	0,09		0,17	0,06		0,26	0,09		3
Co	–	–		0,04	–		–	–		0,01	–		30
Sb	3,86	9,65		4,36	10,9		3,57	8,92		4,68	11,69		0,4
Ni	7,11	0,09		6,3	0,08		5,65	0,07		7,6	0,09		80
Cu	19,21	0,19		17,56	0,18		16,4	0,16		16,45	0,16		100
Cr	15,26	0,08		14,95	0,07		14,97	0,07		19,26	0,1		200
V	10,04	0,07		3,32	0,02		10,25	0,07		14,65	0,1		150
Sn	0,36	0,01		0,25	0,01		0,17	0		0,21	0,01		40
Mn	113,69	0,13		156,74	0,17		152,91	0,17		162,1	0,18		900
W	5,78	5,78		10,62	10,62		5,08	5,08		10,72	10,72		1
Fe	4420,67	0,09	4442	0,09	5342,67	0,1	4868,4	0,1	51000				
Ga	1,64	0,11	2,95	0,2	2,58	0,17	2,7	0,18	15				
Zr	17,72	0,09	13,02	0,07	18,76	0,09	13,41	0,07	200				

Расчет суммарного показателя загрязнения почв (Zc) ТМ на основе расчетов превышения фона показал, что изученные районы в городе образуют следующий ряд (табл. 3):

Московский и Пролетарский р-ны > Центральный р-н > Заволжский р-н.

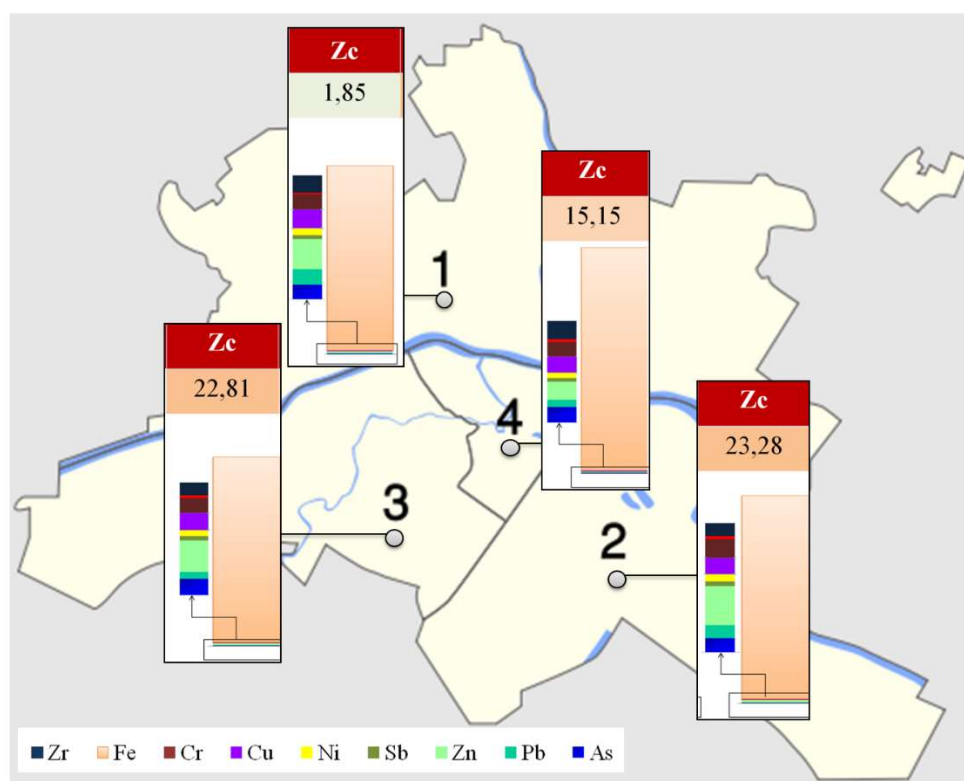
Верхний предел Zc отмечен в Московском и Пролетарском районах города – 23,28 и 22,81 соответственно, что соответствует среднему уровню загрязнения. Отметим, что в этих районах средние и валовые концентрации большинства металлов имеют максимальные

значения (As, Cd, Co, Cr, Ga, Mn, Mo, Ni, Sb, V, W, Zn), в том числе тех, концентрации которых повсеместно выше ПДК (рис. 1–8). Величина Zc в Центральном районе составляет 15,15, что указывает на слабый уровень загрязнения почв. Допустимый уровень загрязнения почв отмечен в Центральном районе (Zc равен 1,85).

Анализ валового содержания ТМ в почвенных пробах и мест их отбора в районах с разным уровнем загрязнения (ПО 1–19) позволил определить в городе территории, представляющие наибольшую экологическую опасность и буферные участки, где отмечены минимальные валовые концентрации металлов в почве.

Самый высокий уровень загрязнения почв металлами зарегистрирован в ПО 10–11 Пролетарского района. В этих пробах отмечены самые высокие в городе значения валовых концентраций у более половины выявленных металлов (As, Co, Ga, Mn, Mo, Ni, Fe, Zr) (табл. 2). Вблизи ПО 10–11 функционирует одна из старейших в городе Тверская ТЭЦ-1, где в качестве органического топлива в разные периоды времени использовали различные виды органического топлива – торф, газ, мазут (Мейсурова, Нотов, 2012). Многие исследователи связывают повышенный уровень загрязнения почв мышьяком с ТЭС, отопительными печами и сгоранием топлива (Баярсайхан, 2009). Отмечается, что при сжигании различных видов топлива котельными установками, около котельных станций в почвах встречаются повышенные концентрации кобальта, свинца, цинка, никеля, меди, в меньшей степени марганца (Иванова, Черкасова, 2011). Общий вклад в загрязнение почв в результате деятельности ТЭС оценивается в 27% (Небольсин и др., 2004). Кроме того, в районе работают предприятия реального сектора (в частности машиностроения, химической и строительных отраслей), развит автотранспорт, который может выступать дополнительным источником загрязнения почв ТМ. Вклад в загрязнение почв от строительной промышленности и транспорта оценивается до 8 и 13% соответственно.

Несмотря на наличие в Пролетарском районе территорий (ПО 10–11) с высоким уровнем загрязнения почв ТМ, в нем имеется зона, которая менее подвержена загрязнению ТМ. Эта особо охраняемая природная территория (ООПТ) регионального значения (ПО 9 – памятник природы Первомайская роща). Она включает в себя фрагменты естественных лесных сообществ (Meysurova, Notov, 2016). В почвах из Первомайской рощи около половины зарегистрированных металлов (As, Ni, Cr, Mn, Fe, Ga, Zr) имеют самые низкие значения валовых концентраций в городе.



Р и с . 9. Значения суммарного показателя загрязнения почв по районам города Твери, с указанием ТМ, средние и валовые концентрации которых повсеместно выше ПДК: 1 – Заволжский; 2 – Московский; 3 – Пролетарский; 4 – Центральный районы

Высокий уровень загрязнения почв металлами отмечен в пробах из ПО 15 Московского района, вблизи магистрали с интенсивным движением, выходящей на федеральную трассу М-10. Из 17 выявленных металлов в почвенных пробах ПО 15, пять металлов (Cd, Zn, Sb, Cr, W) имеют максимальные значения валовых концентраций в городе, в том числе тех, которые выше ПДК (Zn, Sb, Cr). Источником загрязнения почв здесь является автотранспорт. ТМ поступают в окружающую среду в ходе работы самого автотранспорта, а также в результате износа шин, при истирании дорожных покрытий или использования асфальтобетона (Дабахов и др., 2005). Источником кадмия могут выступать смазочные и дизельные масла, некоторые детали двигателей, шасси и т.д. Продуктами износа покрытий кузовов являются никель и хром, а в результате истирания частей двигателя выделяется железо (Миронов Евгений, 1986). Следует отметить, что в почвенных пробах из ПО 15 зарегистрирован свинец с валовой концентрацией выше ПДК. Источником поступления свинца

длительное время являлось использование этилированного бензина. Несмотря на то, что производство и оборот этилированного автомобильного бензина в России запрещено с 1 июля 2003 г., почва является депонирующей средой и до сих пор сохраняет полученные загрязнения (Набивач, 2010).

В Московском районе, как и в Пролетарском, выявлены территории, в почвенных пробах из которых зарегистрированы минимальные в городе валовые концентрации кадмия, свинца, цинка, молибдена, олова и меди. Такими объектами в районе являются ООПТ – Бобачевская (ПО 16) и Березовая рощи (ПО 19).

Среди ПО Центрального района, где Zс соответствует слабому уровню загрязнения, наибольшее валовое содержание металлов отмечено в пробах из ПО 12, который ближе всех расположен к ПО 11 в Пролетарском районе. Наименьшее число металлов (12 металлов), а также значения их валовых концентраций выявлено в месте традиционного отдыха горожан – парке Победа (ПО 14) (табл. 2).

В Заволжском районе, где величина Zс соответствует слабому уровню загрязнения, наибольшее валовое содержание металлов обнаружено в пробах из ПО 1, где вблизи работает крупное предприятие машиностроительной отрасли – ОАО «Тверской вагоностроительный завод». Продукцией этого предприятия являются несамоходные пассажирские железнодорожные и трамвайные вагоны, а также вагоны метро, багажных, почтовых и прочие специального назначения. В непосредственной близости располагаются предприятия других отраслей, а также магистраль с выездом на федеральную автомобильную дорогу М10. Пониженный уровень валового содержания металлов в почве, по сравнению с другими ПО Заволжского района, характерен для ПО 2, 5.

Заключение. С помощью АЭС–ИСП–анализа в почвах выявлено 17 ТМ (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, V, W, Zn, Zr), которые представляют три класса опасности. Уровень содержания металлов в почвах характеризуются крайней неоднородностью. Более половины металлов имеют средние и валовые концентрации металлов выше значений ПДК (As, Cu, Fe, Cr, Zr, Ni, Zn). Максимальные значения концентраций для большинства металлов в почвах обнаружены в Московском и Пролетарском районах – в местах расположения промышленных предприятий и крупных магистралей с интенсивным автодвижением. Суммарный показатель загрязнения почв для этих районов имеет максимальные значения (23,28 и 22,81 соответственно). В почвах на территории ООПТ, в составе которых есть фрагменты естественных лесных сообществ, выявлены минимальные валовые концентрации металлов. В дальнейшем целесообразно продолжение мониторинговых исследований состояния почв г. Твери.

Список литературы

- Баярсайхан Г.* 2009. Исследования загрязнения почвы на территории г. Улан-Батора // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). № 3. С. 100-105.
- Виноградов А.П.* 1957. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М.: Изд-во Академии наук СССР. 237 с.
- Виноградов, А.П.* 1956. Закономерности распределения химических элементов в земной коре. Геохимия. № 1. С. 6-52.
- Виноградова М.Г., Медведев А.Г., Артемьев А.А.* 2006. Некоторые экологические проблемы г. Твери, связанные с загрязнением почвы токсичными веществами. // Современные проблемы науки и образования. №6. С. 72–73.
- Водяницкий Ю.Н. Ладонин Д.В.* 2012. Загрязнение почв тяжелыми металлами. М.: Изд-во МГУ. 305 с.
- ГН 2.1.7.2041-06. 2006. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 15 с.
- ГН 2.1.7.2511-09. 2009. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 10 с.
- ГОСТ 17.4.1.02-83.* 2008. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. М.: Стандартинформ. 4 с.
- ГОСТ 17.4.4.02-84.* 2008. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Стандартинформ. 7 с.
- Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Тверской области в 2015 году.* 2016. Министерство природных ресурсов и экологии Тверской области. 150 с.
- Дабахов М.В., Дабахова Е.В., Титова В.И.* 2005. Экотоксикология и проблемы нормирования. Н. Новгород: Изд-во ВВАГС. 165 с.
- Иванова В.С., Черкасова О.А.* 2011. Котельные станции как источник загрязнения почвы тяжелыми металлами // Вестник ВГМУ. Т. 10. № 4. С. 120-130.
- Мейсурова А.Ф., Нотов А.А.* 2012. Оценка состояния атмосферы в г. Твери с помощью Фурье-ИК спектрального анализа *Hypogymniaphysodes* // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. Вып. 27. № 23. С. 129-143.
- Миронов А.А., Евгеньев И.Е.* 1986. Автомобильные дороги и охрана окружающей среды. Томск: Изд-во Том. гос. ун-та. 280 с.
- Мотузова Г.В., Безуглова О.С.* 2007. Экологический мониторинг почв. М.: Гаудеамус. 237 с.
- Набивач В.М.* 2010. Основы экологического нормирования и промышленной токсикологии. Днепропетровск: УГХТУ. 235 с.
- Небольсин А.Н., Небольсина З.П., Алексеев Ю.В., Яковлева Л.В.* 2004. Известкование почв, загрязненных тяжелыми металлами // Агрохимия. № 3. С. 48-54.

- ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. 2005. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твёрдых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. М. 2005. 30 с.
- Позняк С.С. 2011. Содержание тяжелых металлов Pb, Ni, Zn, Cu, Mn, Zr, Cr, Co и Sn в дерново-подзолистых почвах Центральной зоны Республики Беларусь // Проблемы региональной экологии. № 6. С. 183-188.
- Савченко О.В. 2011. Загрязнение почвы тяжелыми металлами в г. Владивостоке // Медицина труда и промышленная экология. № 7. С. 45-47
- Тихомиров О.А., Емельянов А.Г. 1994. Картографирование и оценка современного экологического состояния города Твери // Экологическое состояние города Твери. Тверь: Изд-во Твер. гос. ун-та. 112 с.
- Шамсутдинова Л.Р., Валиуллина, Ф.Ф. Хизбуллин, А.В. Королев, Прищепова Е.В. 2011. Оценка уровня опасности загрязнения почвы на примере территории ОАО «Уфахимпром» // Экология промышленного производства. № 3. С. 19-22.
- Apostoaie L., Iancu O.G. 2009. Heavy metal pollution in the soils of Iași city and the suburban areas (Romania) // Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Geologia, 2009, Special Issue, MAEGS – 16. P. 142-146.
- Liu Z., Zhang Q., Han T., Ding Y., Sun J., Wang F., Zhu C. 2016. Heavy Metal Pollution in a Soil-Rice System in the Yangtze River Region of China // Environ. Res. Public Health. Vol. 13, Is. 63. 16 p.
- Meysurova A.F., Notov A.A. 2016. Metal Contents in Lichens from Nature Reserves Adjacent to Urban Ecosystems // Journal of Applied Spectroscopy. Vol. 83. Iss. 5. P. 832-839.
- Mikhailova T.A., Shergina O.V., Kalugina O.V. 2013. Accumulation and migration of elements-pollutants in "soil-plant" system within urban territory // Natural Science. Is. 5. P. 705-709
- Wuana R. A., Okieimen F.E. 2011. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation // Ecology. Vol. 2011 (2011), Article ID 402647, 20 p.

HEAVY METAL TECHNOGENIC POLLUTION OF SOILS IN THE CITY OF TVER (RUSSIA)

A.F. Meysurova

Tver State University, Tver

17 heavy metals (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, V, W, Zn, Zr) were detected in the soil of the city of Tver by ICP-AES analysis. They represent three classes of hazard. The average and total concentrations for half of these metals (As, Cu, Fe, Cr, Zr, Ni, Zn) are higher than the values of maximum permissible concentration (MPC). Most metals with maximum concentrations were found in samples from the Moscow and Proletarian Districts of the city. The total soil contamination indicators (Zc) in these areas also reach the maximum values (23.28 and 22.81, respectively). The minimum

concentrations of metals in soils are recorded within specially protected areas with patches of natural forests.

Keywords: *metals, soil pollution, ICP-AES analysis, industrial enterprises, vehicles, maximum permissible concentration, hazard class, total indicator of soil contamination, Tver, nature reserves.*

Об авторе

МЕЙСУРОВА Александра Федоровна – доктор биологических наук, декан биологического факультета, заведующая кафедрой ботаники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: alexandrauraz@mail.ru.

Мейсурова А.Ф. Техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами в г. Твери / А.Ф. Мейсурова // Вестн. ТвГУ. Сер.: Биология и экология. 2017. № 2. С. 324-342.