

А. С. Петухов, Т. А. Кремлева, Н. А. Хритохин, Г. А. Петухова, П. И. Кайдунова

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, Cd) В ПОЧВАХ г. ТЮМЕНИ

A. S. Petukhov, T. A. Kremleva, N. A. Khritokhin, G. A. Petukhova, P. I. Kaidunova

HEAVY METAL (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, Cd) CONCENTRATION IN SOILS OF TYUMEN

Аннотация. Загрязнение почвы тяжелыми металлами вызывает накопление металлов растениями и деградацию растительных сообществ, что приводит к передаче токси-кантов по пищевым цепочкам к человеку. В связи с этим изучение содержания тяжелых металлов в почвах городской среды является актуальной научной задачей. Целью данной работы было изучение содержания тяжелых металлов (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb и Cd) в почвах г. Тюмени. Верхний слой почвы был отобран на условно-чистом участке, вблизи автотрассы, а также из районов, где расположены металлургические, моторостроительные, нефтеперерабатывающие и аккумуляторные заводы. Содержание подвижной и кислоторастворимой форм тяжелых металлов было определено методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Анализ содержания тяжелых металлов выявил загрязнение Fe во всех изученных пробах из городской среды, а также загрязнение Pb и Zn с превышением ПДК вблизи аккумуляторного и металлургического завода соответственно. Содержание Cu, Mn и Zn в почвах было повышено по сравнению с контролем на большинстве исследованных участков. Содержание Cd во всех изученных почвах было на уровне предела определения. В среднем, процент подвижных форм Mn и Zn был наибольшим среди всех изученных металлов. Наиболее интенсивная аккумуляция всех тяжелых металлов была обнаружена вблизи металлургического и аккумуляторного заводов. Полученные результаты могут быть использованы для экологического мониторинга почв в Тюмени.

Ключевые слова: тяжелые металлы; почвы; атомно-абсорбционный анализ; свинец; железо.

Abstract. Toxic heavy metals contaminating soil get accumulated by plants, cause degradation of plant communities, and eventually penetrate human bodies with food. Therefore, it is urgent to investigate the content of heavy metal in soils in urban areas. The aim of this study was to investigate the concentration of Cu, Fe, Mn, Pb and Cd in soils of Tyumen. Top soil was sampled at the semi-clean control site near a highway, and at sites near metallurgical, motor-building, oil-refining and battery-manufacturing facilities in Tyumen, Russia. The concentration of active and acid-soluble forms of heavy metals was determined by atomic-absorption spectrophotometry. All the soil samples from urban areas were polluted with Fe. The samples collected near the battery manufactory and the metallurgical plant were contaminated with Pb and Zn, respectively, with maximum allowable concentration exceeded. The Cu, Mn and Zn content in most soil samples was higher than that in the control sample. The Cd content in all samples was at the lower limit of detection. The average percentages of active forms of Mn and Zn in soils were the highest among all the studied metals. The most intense accumulation of all heavy metals was observed near the battery manufactory and the metallurgical plant. The obtained results can be useful for environmental monitoring in Tyumen.

Key words: heavy metal; soil; atomic-absorption analysis; lead; iron.

Сведения об авторах: Петухов Александр Сергеевич, ORCID: 0000-0003-2906-174X, Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия, revo251@mail.ru; Кремлева Татьяна Анатольевна, SPIN-код: 7591-3110, ORCID: 0000-0001-9229-4912, д-р хим. наук, Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия, kreml-ta@yandex.ru; Хритохин Николай Александрович, ORCID: 0000-0002-8157-8677, канд. хим. наук, Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия, kna@utmn.ru; Петухова Галина Александровна, SPIN-код: 7852-2184, ORCID: 0000-0003-2906-174X, д-р биол. наук, Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия, gpetuhova1@mail.ru; Кайдунова Полина Игоревна, Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия, polina.kaydunova@mail.ru.

About the authors: Petukhov Alexander Sergeevich ORCID: 0000-0003-2906-174X, Tyumen State University, Tyumen, Russia, revo251@mail.ru; a Kremleva Tatyana Anatolievna, SPIN-код: 7591-3110, ORCID: 0000-0001-9229-4912, Dr. habil, Tyumen State University, Tyumen, Russia, kreml-ta@yandex.ru; Khritokhin Nikolay Alexandrovich, ORCID: 0000-0002-8157-8677, Ph.D., Tyumen State University, Tyumen, Russia, kna@utmn.ru; Petukhova Galina Alexandrovna, SPIN-код: 7852-2184, ORCID: 0000-0003-2906-174X, Dr. habil., Tyumen State University, Tyumen, Russia, gpetuhova1@mail.ru; Kaidunova Polina Igorevna, Tyumen State University, Tyumen, Russia, polina.kaydunova@mail.ru.

Введение

Проблема загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ) является одной из наиболее актуальных на сегодняшний день. ТМ обладают высокой токсичностью для всех живых организмов. Основным путем миграции ТМ в окружающей среде является поступление их в почвы, где они

становятся доступными для растений [13]. В связи с этим оценка содержания тяжелых металлов в почве является индикатором экологической безопасности среды.

Основными источниками загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами являются выбросы предприятий металлургии, тепловые и атомные электростанции, предприятия по добыче и переработке нефти, транспорт, сбросы промышленных сточных вод [16]. Изучению содержания тяжелых металлов в почве посвящено большое количество научных работ [7; 15; 18]. В среднем около 11% почв территории России имеет высокий уровень загрязнения тяжелыми металлами [13].

Содержание тяжелых металлов в почвах г. Тюмени и Тюменского района было также ранее проанализировано в некоторых работах [3; 14], однако не было учтено загрязнение вблизи металлургического и нефтеперерабатывающего заводов. Целью работы стало изучение содержания тяжелых металлов (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, Cd) в почвах г. Тюмени в 2017–2018 гг.

Материалы и методы

Материал для исследования был отобран в конце июля 2017 и 2018 гг. в течение 3–4 дней в районе г. Тюмени на следующих участках:

- 1) Контроль – участок на удалении 5 км от антропогенных источников;
- 2) Автодорога Тюмень–Омск – 30 км от г. Тюмени, удаление от автодороги не более 30 м;
- 3) «Тюменские Моторостроители» – г. Тюмень, участок на удалении 200 м от предприятия;
- 4) НПЗ – г. Тюмень, участок на удалении 200 м от предприятия «Антипинский нефтеперерабатывающий завод»;
- 5) Район Аккумуляторного завода – г. Тюмень, участок на удалении 200 м от предприятия;
- 6) УГМК (Уральская горно-металлургическая компания) – г. Тюмень, участок на удалении 200 м к югу от предприятия «УГМК-Сталь» вблизи автодороги;
- 7) УГМК 2 – г. Тюмень, участок на удалении 50 м от предприятия «УГМК-Сталь»;
- 8) УГМК 3 – г. Тюмень, участок на удалении 2 000 м к востоку от предприятия «УГМК-Сталь» вблизи автодороги;
- 9) УГМК 4 – г. Тюмень, участок на удалении 500 м к северу от предприятия.

Пробы почв на участках УГМК 3 и УГМК 4 отбирали только в 2018 г. Почвы на всех указанных участках относились к дерново-подзолисто-му подтипу. Площадь участков составляла не менее 100 м². Пробы почвы отбирали методом конверта на глубину 10 см. После этого воздушно-сухую массу почвы усредняли по методу квартования, перетирали и просеивали через сито. Анализ содержания металлов проводили с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра «ContrAA 700» (Analytic Jena, Германия) с использованием ацетатно-аммонийного буфера с pH = 4,8 (определение подвижных форм металлов) и экстрактов 1М HNO₃ (определение кислоторастворимых форм) по РД 52.18.289-90 и РД 52.18.191-89 соответственно. Полученные результаты были подвергнуты стандартной статистической обработке в программе Statistica 10.

Результаты и их обсуждение

Тюмень является одним из городов России с наибольшей обеспеченностью населения автомобильным транспортом. Кроме того, на территории города находятся аккумуляторный, нефтеперерабатывающий, металлургический и другие заводы, что также создает потенциальную опасность для загрязнения почв тяжелыми металлами.

Содержание подвижной формы Cd в почвах из различных районов г. Тюмени в 2017–2018 гг. оказалось менее 1 мг/кг (табл. 1, 2) во всех проанализированных пробах, что в целом соответствует естественному содержанию Cd в почвах [16]. Концентрация Cd в почве на участках НПЗ и УГМК 2 оказалась в 2,5 и 2 раза соответственно выше, чем в контроле. В 2018 г. содержание Cd вблизи этих предприятий находилось на уровне контроля, как и на всех остальных участках в 2017 и 2018 гг. В целом, содержание Cd в почвах в 2018 г. оставалось на том же уровне, что и в 2017 г.

Содержание кислоторастворимых форм Cd в изученных почвах находилось на уровне содержания подвижной формы, и было в диапазоне 0,13–0,70 мг/кг (табл. 1, 2). Полученный результат соответствует содержанию Cd в других исследованиях [1; 15]. Содержание Cd в почвах на большинстве исследованных участков было на уровне предела определения используемого оборудования. Таким образом, можно сделать предположение, что использование ацетатно-аммонийного буфера (pH = 4,8) позволяет экстрагировать из почвы не меньшее содержание Cd, чем азотная кислота, в условиях низкого его содержания в почвах. Полученные результаты указывают на то, что, вероятно, в данных условиях из почвы экстрагируется практически весь доступный кадмий.

Таблица 1

**Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в почвах г. Тюмени в 2017 г.
(над чертой – подвижные формы, под чертой – кислоторастворимые формы)**

	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Контроль	<u>0,31±0,18</u>	<u>0,38±0,06</u>	<u>123±6,00</u>	<u>57,5±5,61</u>	<u>16,1±4,80</u>	<u>1,64±0,02</u>
	0,56±0,07	3,77±0,07	32600±1080	163±8,00	13,3±5,14	9,60±3,33
Автотрасса	<u>0,40±0,08</u>	<u>0,44±0,07</u>	<u>88,4±11,1</u>	<u>62,1±7,73</u>	<u>6,12±1,87</u>	<u>1,45±0,03</u>
	0,43±0,08	1,19±0,20	15600±1370	184±12,0	10,3±3,55	6,78±0,11
Мотор. завод	<u>0,17±0,10</u>	<u>0,94±0,15</u>	<u>34,5±3,20</u>	<u>56,1±7,70</u>	<u>12,8±6,78</u>	<u>3,45±0,08</u>
	0,13±0,09	5,93±0,53	40000±1200	247±27,0	10,5±2,53	29,1±6,85
НПЗ	<u>0,77±0,14</u>	<u>0,77±0,12</u>	<u>39,5±8,47</u>	<u>52,5±5,12</u>	<u>9,44±4,04</u>	<u>1,73±0,12</u>
	0,63±0,14	4,24±0,22	32000±3690	272±9,00	10,4±3,95	17,4±1,66
Аккумуляторный завод	<u>0,26±0,17</u>	<u>0,86±0,14</u>	<u>46,9±2,64</u>	<u>86,6±5,62</u>	<u>29,0±2,19</u>	<u>2,46±0,03</u>
	0,29±0,04	13,6±1,89	79800±4250	462±18,0	91,1±5,40	48,7±7,48
УГМК	<u>0,27±0,13</u>	<u>0,84±0,14</u>	<u>38,2±6,18</u>	<u>56,0±2,32</u>	<u>13,6±5,21</u>	<u>1,38±0,01</u>
	0,24±0,15	9,58±0,35	77000±6280	372±16,0	10,6±2,62	29,1±4,55
УГМК 2	<u>0,66±0,15</u>	<u>0,23±0,04</u>	<u>33,1±2,05</u>	<u>84,8±4,94</u>	<u>13,4±0,27</u>	<u>2,41±0,09</u>
	0,66±0,12	9,70±0,70	80300±4120	382±77,0	10,5±3,72	35,1±5,60

Таблица 2

**Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в почвах г. Тюмени в 2018 г.
(над чертой – подвижные формы, под чертой – кислоторастворимые формы)**

	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Контроль	<u>0,53±0,16</u>	<u>0,07±0,01</u>	<u>47,7±2,64</u>	<u>37,8±6,03</u>	<u>16,5±3,23</u>	<u>2,30±0,06</u>
	0,44±0,10	1,78±0,27	24500±138	776±108	10,4±5,18	12,8±5,01
Автотрасса	<u>0,48±0,21</u>	<u>0,44±0,07</u>	<u>58,7±7,10</u>	<u>60,1±2,51</u>	<u>14,1±3,54</u>	<u>0,94±0,01</u>
	0,35±0,10	3,66±0,42	22000±1960	318±18,9	10,5±5,23	12,0±1,51
Мотор. завод	<u>0,48±0,20</u>	<u>0,44±0,07</u>	<u>32,8±0,66</u>	<u>94,0±9,10</u>	<u>19,0±5,20</u>	<u>2,89±0,13</u>
	0,53±0,10	9,67±0,60	41600±4750	461±12,9	18,3±2,30	23,3±3,38
НПЗ	<u>0,54±0,20</u>	<u>0,32±0,05</u>	<u>25,0±13,7</u>	<u>25,2±1,01</u>	<u>27,2±1,36</u>	<u>0,73±0,05</u>
	0,46±0,10	7,05±0,32	44400±5770	265±28,9	28,5±3,26	14,2±0,31
Аккумуляторный завод	<u>0,62±0,12</u>	<u>0,45±0,07</u>	<u>22,7±7,92</u>	<u>58,0±5,40</u>	<u>49,0±3,94</u>	<u>2,85±0,01</u>
	0,52±0,13	15,8±1,00	87900±2200	488±34,7	172±6,00	55,5±2,63
УГМК	<u>0,46±0,18</u>	<u>0,07±0,01</u>	<u>16,3±2,25</u>	<u>69,5±4,51</u>	<u>17,3±0,82</u>	<u>2,55±0,08</u>
	0,33±0,10	8,49±0,75	58500±6480	453±88,4	17,9±2,28	28,3±3,88
УГМК 2	<u>0,55±0,22</u>	<u>0,02±0,01</u>	<u>30,2±4,16</u>	<u>124±9,16</u>	<u>20,4±5,90</u>	<u>5,94±0,03</u>
	0,46±0,10	10,2±0,71	64700±4770	440±81,6	18,2±3,44	52,8±12,5
УГМК 3	<u>0,57±0,21</u>	<u>0,18±0,03</u>	<u>60,0±6,51</u>	<u>106±1,58</u>	<u>19,3±2,25</u>	<u>6,41±0,89</u>
	0,53±0,10	11,1±1,00	73500±5220	504±33,4	17,4±1,04	53,7±8,57
УГМК 4	<u>0,84±0,30</u>	<u>0,28±0,05</u>	<u>60,9±8,23</u>	<u>93,2±8,29</u>	<u>19,7±1,40</u>	<u>11,9±0,19</u>
	0,70±0,12	28,1±1,96	78000±5310	579±67,1	21,2±0,94	142±28,9

Содержание подвижной формы Cu во всех изученных пробах почвы г. Тюмени также оказалось ниже 1 мг/кг (табл. 1, 2). В 2017 г. концентрация Cu в почвах с участков: Моторостроители, НПЗ, Аккумуляторный завод и УГМК была выше, чем в контроле, в 2–2,5 раза, а в 2018 г. содержание Cu в почве в районе моторостроительного, нефтеперерабатывающего и аккумуляторного заводов оказалось как минимум в 4 раза выше, по сравнению с контролем. Кроме того, в 2018 г. было обнаружено повышенное, по сравнению с контролем, содержание Cu вблизи металлургического завода на участках УГМК 3 и УГМК 4 – в 2,5 и 3,9 раза соответственно. Однако на всех указанных участках содержание подвижной формы Cu в почве оставалось низким, что позволяет судить о низкой потенциальной опасности для экологической обстановки. В целом, содержание Cu в почвах в 2018 г. снизилось по сравнению с 2017 г.

Содержание кислоторастворимой формы Cu находилось в диапазоне от 1,2 до 28 мг/кг в исследованных пробах почвы г. Тюмени (табл. 1, 2). ПДК валовой формы Cu составляет 55 мг/кг. Таким образом, загрязнения почв города Cu вблизи различных промышленных предприятий по действующим нормативам выявлено не было. Тем не менее, было получено статистически значимое обогащение почвы кислоторастворимой формой Cu вблизи всех изученных промышленных предприятий как в 2017,

так и в 2018 г. В меньшей степени это было выражено для почв вблизи НПЗ и моторостроительного завода, отличие от контроля составляло 12 и 60% в 2017 г. и 4,4 и 5,5 раза в 2018 г. соответственно. Содержание Си вблизи металлургического завода (участки УГМК 1-3) в 2018 г. было также в 5,5 раз выше, чем в контрольном образце. Концентрация Си на участке УГМК 4 (500 метров к северу от предприятия) было в 15 раз выше, чем на фоновом участке. Это может указывать на преимущественный воздушный перенос загрязнения от металлургического предприятия в этом направлении. Кроме того, повышенное (ориентировочно в 4 раза) содержание Си в почве было обнаружено вблизи аккумуляторного завода в 2017–2018 гг. Таким образом, несмотря на то, что содержание Си во всех исследованных почвах было ниже ПДК, повышенное содержание этого металла, по сравнению с фоновым участком, может указывать на возрастающее антропогенное давление на почвенный покров вблизи промышленных предприятий города. Отсутствие повышенного содержания Си в почве вблизи автотрассы по сравнению с фоновым участком было обнаружено в исследовании, проведенном в Южной Корее [17].

Доля подвижной формы Си от количества, извлекаемого азотной кислотой, изменялось в широких пределах от 0,2 до 37%, преимущественно от 1 до 18% (рис. 1). Содержание подвижной формы тяжелых металлов рассматривается как потенциально доступное для поглощения растениями. Полученный результат указывает на небольшой процент доступности почвенной меди. Низкая подвижность Си, вероятно, говорит об относительно прочном закреплении Си в составе комплексов с гумусовыми кислотами, а также адсорбции Си на глинистых минералах, гидроксидах Fe и Mn.

Концентрация подвижной формы Fe в почве находилась в пределах от 15 до 120 мг/кг (табл. 1, 2). Содержание Fe в 2017 г. на всех опытных участках было ниже, чем в контроле, но как минимум в 2 раза выше, чем на фоновом участке. В 2018 г. содержание Fe на контрольном участке снизилось до 48 мг/кг. Содержание Fe на большинстве опытных участков оставалось ниже контрольных значений на 30–70%. Исключением стало повышенное содержание Fe вблизи автотрассы на 20%, а также на участках УГМК 3 и УГМК 4 на 25%. Учитывая низкое содержание Fe в почве на участках УГМК и УГМК 2, можно предположить, что поступление Fe от металлургического завода характеризуется распространением на большие расстояния.

Содержание кислоторастворимой формы Fe в исследованных образцах почвы г. Тюмени составляло от 15 500 до 87 900 мг/кг (1,6–8,8%) (табл. 1, 2). Среднее содержание Fe в различных типах почв оценивается в 3–5%. Кларк железа в почве составляет 3,8% [2]. Исследование почв Предбайкалья выявило содержание железа в диапазоне от 2,8 до 5,4% [7]. Концентрация Fe в исследованных почвах г. Тюмени на участках контроля, автотрассы, моторостроительного и нефтеперерабатывающего завода (1,6–4,4%), в целом, согласуется с вышеприведенными данными. Однако содержание Fe в почвах вблизи аккумуляторного завода, а также металлургического предприятия (точки УГМК – УГМК 4) оказалось повышенным и составляло от 5,8 до 8,8% в 2017 и 2018 гг., что выше контрольного уровня в 2–2,5 раза. Известно, что поверхностные и подземные воды г. Тюмени характеризуются повышенным содержанием Fe [6]. Разумно предположить, что при контакте с водами почвы будут обогащаться этим элементом. Поскольку исключительно в определенных районах города (аккумуляторный и металлургический завод) содержание железа оказалось значительно больше (на 34–63 г/кг), можно заключить, что полученные результаты не могут быть объяснены исключительно природным происхождением железа в почвах. На антропогенный характер загрязнения почвы железом также указывает специфика соответствующих предприятий. Предположительно, основным источником поступления железа в окружающую среду являются дымовые трубы сталеплавильного производства на металлургическом предприятии и сточные воды аккумуляторного завода от производства свинцово-кислотных и железоникелевых аккумуляторов для железнодорожного транспорта.

Отношение подвижной формы Fe в почве к кислоторастворимой на всех исследуемых участках оставалось крайне низким (от 0,03 до 0,57%) (рис. 1). Для железа характерно нахождение в почве в виде малорастворимых оксидов и гидроксидов. Кроме того, данный результат указывает на невысокую опасность содержащегося в почве Fe для экосистем. Однако при подкислении почв следует ожидать, что содержание подвижной формы Fe вырастет, что может привести к большей мобильности Fe в растения и воды. Необходимо учитывать, что отходы аккумуляторного и металлургического завода содержат кислые компоненты, способные при попадании в почву вызывать ее закисление. Поэтому целесообразны дальнейшие исследования по содержанию подвижных форм Fe в данных районах.

Содержание подвижной формы Mn в почвах в целом соответствовало содержанию Fe и находилось в пределах от 25 до 125 мг/кг (табл. 1, 2). В 2017 г. содержание Mn на большинстве участков было на уровне контроля и находилось в диапазоне от 52 до 62 мг/кг. Повышенное в 1,5 раза содержание Mn было обнаружено в почве вблизи аккумуляторного завода и на участке УГМК 2. В 2018 г. содержание подвижной формы Mn в почве практически со всех исследованных участков, за исключением НПЗ,

оказалось выше, чем в контроле, как минимум, в 1,5 раза. Наибольшие концентрации были найдены вблизи металлургического завода на участках УГМК 2, 3 и 4, где превышение контрольных значений достигало трех раз. Полученный результат коррелирует с более высокими концентрациями Fe на участках УГМК 3 и УГМК 4.

Концентрация кислоторастворимой формы Mn находилась в диапазоне от 160 до 780 мг/кг (табл. 1, 2). ПДК Mn в почве составляет 1 500 мг/кг. В целом, содержание Mn во всех исследуемых почвах находилось в естественных пределах, описанных в литературе, например, для почв Белоруссии [11]. Однако в 2017 г. содержание Mn в почве в районе промышленных предприятий, за исключением автотрассы, оказалось повышенным, по сравнению с контролем, в 1,5–2,8 раза. Особенно высоким содержанием Mn оказалось вблизи аккумуляторного и металлургического заводов (от 370 до 490 мг/кг). Известно, что Mn является легирующим компонентом стали, что может указывать на возможную причину поступления Mn в окружающую среду вблизи металлургического предприятия. В 2018 г. содержание Mn на фоновой точке составило 775 мг/кг, поэтому содержание Mn на всех остальных участках оказалось ниже контрольного значения. Содержание Mn в контрольном образце почвы в 2018 г. явно отличалось от всех других полученных результатов в 2017 и 2018 гг., что может указывать на локальный скачок концентрации Mn в почве. Однако необходимы дальнейшие исследования для подтверждения этой гипотезы.

Доля подвижной формы Mn на всех участках была высокой и составила от 5 до 35% (в основном 10–20%) (рис. 1). Для марганца характерна стабильность аквакомплексов и различных водорастворимых солей, поэтому можно ожидать высокую подвижность марганца в почве. Кроме того, высокий процент подвижной формы Mn был получен нами при загрязнении почвы в модельном эксперименте [10].

Содержание подвижной формы Pb в почвах находилось в диапазоне от 10 до 50 мг/кг. На большинстве участков, в том числе вблизи автотрассы, содержание Pb не отличалось от уровня контроля и находилось в пределах от 10 до 20 мг/кг. Превышения контрольных значений были обнаружены в 2018 г. на участке НПЗ – 27 мг/кг, превышение на 60%, вблизи аккумуляторного завода в 2017 г. – 29 мг/кг, превышение на 80% и в 2018 г. – 49 мг/кг, что выше контрольного уровня почти в 3 раза. Содержание Pb в почве вблизи аккумуляторного завода в 2018 г. превышает ПДК (32 мг/кг) в 1,5 раза. Повышенное содержание Pb в почве вблизи аккумуляторного завода, вероятно, вызвано производством свинцово-кислотных аккумуляторов.

Содержание кислоторастворимой формы Pb в почве на большинстве исследуемых участков было на уровне предела обнаружения используемого оборудования и, в целом, примерно соответствовало его подвижной форме, как и в случае с Cd (табл. 1, 2). Исключением стал образец почвы в районе аккумуляторного завода, где в 2017 г. было обнаружено 91 мг/кг свинца, а в 2018 г. – 172 мг/кг. Данный результат коррелирует и с подвижной формой Pb в почве. Найденные в почве концентрации кислоторастворимой формы Pb в 2017 и 2018 гг., а также содержание подвижной формы Pb в 2018 г. вблизи аккумуляторного завода превышало ПДК в 2,8, 5,4 и 1,5 раза соответственно. Кроме того, содержание кислоторастворимой формы Pb в 2018 г. превышало ОДК на 32%. В исследовании 2015 г. было показано [14], что содержание Pb в почве вблизи аккумуляторного завода составляет 158 мг/кг, что близко к полученным результатам. Кроме того, в другой работе было обнаружено содержание Pb от 70 до 1 000 мг/кг в районе аккумуляторного завода [3]. Необходимо отметить, что содержание и подвижной, и кислоторастворимой формы Pb в почве в 2018 г. оказалось на 60 и 90% соответственно выше, чем в 2017 г., что может указывать на возрастающий характер загрязнения почвы свинцом. Доля подвижной формы Pb в почве вблизи аккумуляторного завода составила 28–32%, что создает потенциальную опасность для поглощения свинца растительностью. Аналогичная высокая подвижность Pb в почве городской среды была ранее выявлена в г. Самаре [9]. Таким образом, выявлено загрязнение почвенного покрова свинцом с превышением действующих санитарных нормативов вблизи аккумуляторного завода в результате производства свинцово-кислотных аккумуляторов. В проведенном ранее исследовании было найдено до 100 мг/кг Pb в почвах на территории оработанных рудников в Башкирии, что близко к полученным результатам в районе аккумуляторного завода [5]. Содержание Pb и Cd вблизи автотрассы было низким и практически не отличалось от фонового участка, как и в ранее проведенном другими авторами исследовании по Тюменскому району [12].

Концентрация подвижной формы Zn в изученных почвах г. Тюмени в 2017–2018 гг. находилась в пределах от 0,7 до 12 мг/кг (табл. 1, 2). Содержание Zn в почвах вблизи автотрассы, нефтеперерабатывающего завода, а также на участке УГМК оставалось на уровне контроля или было несколько снижено. Однако на участках: Моторостроители, Аккумуляторный завод, УГМК 2, УГМК 3 и УГМК 4 были найдены повышенные концентрации Zn в почвах как в 2017, так и в 2018 г., как минимум, на

50%. Наиболее высокое содержание подвижной формы Zn было найдено в районе металлургического завода на участках УГМК 2, УГМК 3 и УГМК 4 в 2018 г., где превышение контроля составляло, как минимум, 2,5 раза.

Содержание кислоторастворимой формы Zn в различных почвах г. Тюмени составило от 7 до 143 мг/кг (табл. 1, 2). Было обнаружено превышение содержания Zn в фоновой почве и почве автотрассы вблизи всех изученных промышленных предприятий, вблизи моторостроительного и нефтеперерабатывающего заводов как минимум в 1,8 раза. Более высокие концентрации Zn были найдены вблизи аккумуляторного и металлургического заводов: превышение контрольных значений достигало 4 раз на участках Аккумуляторный завод и УГМК, УГМК 2, УГМК 3. Исключительно высокое содержание Zn в почве было выявлено на участке УГМК 4 – 143 мг/кг. Скорее всего, учитывая данные по всем остальным исследуемым точкам, высокий уровень Zn в почве на участке УГМК 4 вызван локальными причинами, возможно, не связанными с загрязнением от металлургического предприятия. Интересно, что на участке УГМК 4 также было выявлено исключительно высокое содержание Cu, по сравнению с другими изученными участками. В то же время содержание Pb, Cd, Fe, Mn находилось на уровне других точек вблизи металлургического предприятия. Так или иначе, содержание Zn на участке УГМК 4 в 2018 г. превышало ПДК для Zn (100 мг/кг) в 1,4 раза. Близкие концентрации Zn в почве были обнаружены в районе предприятия электронной промышленности в Китае [19]. Ранее загрязнение почв Zn в городской среде в районе временного хранения твердых бытовых отходов было выявлено в г. Йошкар-Ола с превышением ПДК в 1,5 раза [4].

Подвижность Zn в почве составила от 5 до 18% (в среднем, 5–10%) (рис.), что коррелирует с данными о низком сродстве Zn к гумусовым кислотам, по сравнению с другими тяжелыми металлами. По доле подвижных форм в почвах исследуемые металлы можно расположить в следующий ряд: Fe < Cu < Zn < Mn. Результаты по свинцу и кадмию затруднительно включать в подобный ряд в силу низкого их содержания в большинстве почв и, следовательно, недостаточного количества данных.

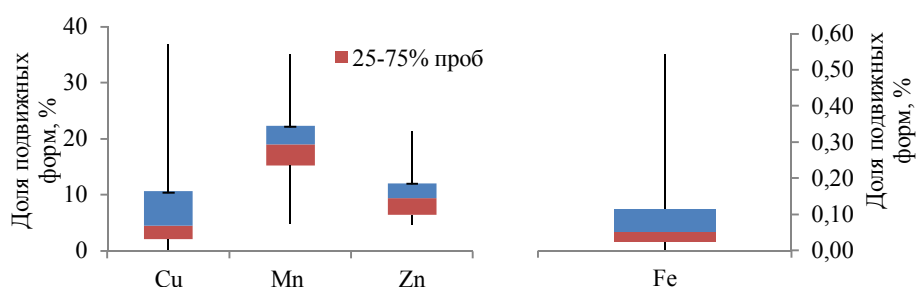


Рис. Доля подвижных форм Cu, Mn, Zn и Fe в почвах г. Тюмени в 2017–2018 гг.; вертикальные линии показывают первый и четвертый квартиль, горизонтальная линия внутри прямоугольника – медиана выборки

Заключение

Таким образом, в изученных пробах почв г. Тюмени выявлено загрязнение Fe на всех исследованных участках, по сравнению с контролем, а также загрязнение Pb в районе аккумуляторного завода и Zn вблизи металлургического завода с превышением ПДК по обоим металлам. Кроме того, выявлено превышение фоновых значений по содержанию Cu, Mn и Zn на всех изученных участках. В целом, содержание ТМ в почве в районе металлургического завода распределено равномерно в различных изученных направлениях от предприятия, однако наибольшие концентрации Cu и Zn обнаружены на удалении 500 м к северу от завода. Содержание Cd во всех исследованных пробах почвы находилось на уровне предела определения (<1 мг/кг). Доля подвижных форм тяжелых металлов в почве убывала в следующем ряду: Mn > Zn > Cu > Fe. Наиболее высокие концентрации всех тяжелых металлов в почве наблюдались в районе аккумуляторного и металлургического заводов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аветисян А. А., Колесников В. А. Аветисян А. Т. Содержание тяжелых металлов (свинец и кадмий) в почвах и растениях нетрадиционных кормовых культур и их эколого-токсикологическая оценка в лесостепи Восточной Сибири // Вестник КрасГАУ. 2017. № 6(129). С. 17–27.
2. Алексеев В. В. Геохимия ландшафта и окружающая среда. М.: Наука, 1990.
3. Берсенева А. Г. Содержание тяжелых металлов в почвах на территориях промышленных предприятий города Тюмени // Вестник КрасГАУ. 2015. № 6(105). С. 41–44.
4. Воскресенская О. Л., Воскресенский В. С., Алябышева Е. А. Накопление тяжелых металлов почвой и растениями в местах сбора и временного хранения твердых бытовых отходов // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. С. 40–46

5. Газизова Л. Р., Янтурин С. И., Ягафарова Г. А. Тяжелые металлы в почвах на территории бывших отработанных рудников // Вестник ОГУ. 2009. № 6(100). С. 552–553.
6. Ермакова Н. А., Архипова А. Р., Крапотина П. В., Сияюткина А. Ю., Фахрутдинова Л. К. Гидрохимическое состояние тюменских источников хозяйственно-питьевого водоснабжения в весенне-летний период // Вестник ТюмГУ. Экология и природопользование. 2014. № 12. С. 138–149.
7. Копылова Л. В., Лескова О. А. Содержание железа в некоторых природных объектах в условиях антропогенной нагрузки (Забайкальский край) // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 6. С. 1–8.
8. Корельская Т. А., Попова Л. Ф. Тяжелые металлы в почвенно-растительном покрове селитебного ландшафта города Архангельска // Арктика и Север. 2012. № 7. С. 136–152.
9. Морозова Н. А., Прохорова Н. В. Аккумуляция тяжелых металлов в почвах и растениях урбосреды // Университет им. В.И. Вернадского. 2007. Т. 1. № 4(10). С. 77–81.
10. Петухов А. С., Хридохин Н. А., Петухова Г. А., Кудрявцев А. А. Транслокация меди, цинка, железа и марганца в ткани овса посевного (*Avena sativa* L., 1753) // Известия Саратовского университета. Новая Серия: Химия. Биология. Экология. 2018. Т. 18. № 1. С. 65–70. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2018-18-1-65-70>
11. Позняк С. С. Содержание тяжелых металлов Pb, Ni, Zn, Cu, Mn, Zr, Cr, Co и Sn в почвах центральной зоны Республики Беларусь // Экономика и экологический менеджмент. 2011. № 1. С. 23–35.
12. Скипин Л. Н., Ваймер А. А., Квашнина Ю. А., Судакова И. К. Загрязнение кадмием и свинцом почв в зоне автомагистрали // Плодородие. 2007. № 3. С. 37–38.
13. Титов А. Ф., Казнина Н. М., Таланова В. В. Тяжелые металлы и растения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2014.
14. Шигабаева Г. Н. Тяжелые металлы в почвах некоторых районов г. Тюмени // Вестник ТюмГУ. Экология и природопользование. 2015. Т. 2. № 2. С. 92–102.
15. Chaplygin V., Minkina T., Mandzhieva S., Burachevskaya M., Sushkova S., Poluektov E., ... Kumacheva V. The effect of technogenic emissions on the heavy metals accumulation by herbaceous plants // Environmental monitoring and assessment. 2018. Vol. 190. № 3. P. 124. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6489-6>
16. Kabata-Pendias A., Pendias H. 2011. Trace elements in soils and plants. 4th edition, Boca Raton: CRC Press.
17. Kim H. S., Kim K-R., Kim W-Il., Owens G., Kim K-H. Influence of road proximity on the concentrations of heavy metals in Korean urban agricultural soils and crops // Archives of environmental contamination and toxicology. 2017. Vol. 72. № 2. P. 260–268. <https://doi.org/10.1007/s00244-016-0344-y>
18. Swiercz A., Zajecka E. 2018. Accumulation of heavy metals in the urban soils of the city Skarzynsko-Kamienna (Poland) with regard to land use // Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. Vol. 13, № 1. P. 249–266. <https://doi.org/10.26471/cjees/2018/013/022249-266>
19. Wu W., Wu P., Yang F., Sun D-I., Zhang D-X., Zhou Y-K. Assessment of heavy metal pollution and human health risks in urban soils around an electronics manufacturing facility // Science of the Total Environment. 2018. Vol. 630. P. 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.183>

REFERENCES

1. Avetisyan, A. A., Kolesnikov, V. A. & Avetisyan, A. T. (2017). The content of heavy metals (lead and cadmium) in soils and plants of nonconventional forage crops and their ecological and toxicological assessment in forest steppe of Eastern Siberia. *The Bulletin of KrasGAU*, 6(129), 17-27. (In Russian)
2. Alekseenko, V. V. (1990). Landscape geochemistry and environment [Geohimiya landshafta i okruzhayushchaya sreda]. Moscow. (In Russian)
3. Berseneva, A. G. (2015). The content of the heavy metals in soils on the territory of the industrial enterprises in Tyumen. *The Bulletin of KrasGAU*, 6(105), 41-44. (In Russian)
4. Voskresenskaya, O. L., Voskresenskii, V. S., & Alyabysheva, E. A. (2013). Accumulation of Heavy metals in Soil and Plants in Locations gathering and Temporary Storage solid Waste. *Modern problems of science and education*, (2), 401-406. (In Russian)
5. Gazizova, L. R., Yanturin, S. I., & Yagafarova, G. A. (2009). Heavy metals in soils at the territory of former ore mines [Tyazhelye metally v pochvah na territorii byvshih otrabotannyh rudnikov]. *Vestnik OGU*, 6(100), 552-553 (In Russian)
6. Ermakova, N. A., Arhipova, A. R., Krapotina, P. V., Sijutkina, A. Ju., & Fahrutdinova, L. K. (2014). Hydrochemical state of Tyumen sources of Household and Drinking water supply in spring and summer. *Vestnik Tümenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopol'zovanie [Bulletin of Tyumen State University. Ecology]*, (12), 138-149 (In Russian)
7. Kopylova, L. V., & Leskova, O. A. (2016). Iron content in some natural Objects in the Conditions of Anthropogenic load (TransBaikal Territory). *Modern problems of science and education*, (6), 1-8 (In Russian)
8. Korel'skaja, T. A., & Popova, L. F. (2012). Heavy metals in the soil-vegetation cover of the selitebnii landscape of the city Arkhangelsk. *Arctic and North*, (7), 136-152 (In Russian)
9. Morozova, N. A., & Prohorova, N. V. (2007). Heavy Metals Accumulation in Urban Soils and Plants. *Universitet im V. I. Vernadskogo [University of V.I. Vernadsky]*, 1(4(10)), 77-81. (in Russian)
10. Petukhov, A. S., Khritokhin, N. A., Petukhova, G. A., & Kudryavtsev, A. A. (2018). Translocation of Copper, Zinc, Iron and Manganese in the Cultivated Oat (*Avena sativa* L., 1753). *Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Chemistry. Biology. Ecology*, 18(1), 65-70. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2018-18-1-65-70> (in Russian)
11. Pozniak, S. S. (2011). Concentration of heavy metals (Pb, Ni, Zn, Cu, Mn, Zr, Cr, Co and Sn) in soils of the Central area of Belarus. *Economics and Environmental Management*, (1), 23-35 (in Russian)
12. Skipin, L. N., Vajmer, A. A., Kvashnina, Yu. A., Sudaikova, I. K. (2007). Cadmium and lead soil contamination near highway [Zagryaznenie kadmiiem i svincom pochv v zone avtomagistrali]. *Plodородie [Fertility]*, (3), 37-38 (in Russian)

13. Titov, A. F., Kaznina, N. M., & Talanova, V. V. (2014). Heavy metals and plants [Tiazhelye metally i rasteniia]. Petrozavodsk. (in Russian)
14. Shigabaeva, G. N. (2015). Heavy metals in soils of several districts of Tyumen. *Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology*, 2(2), 92-102 (in Russian)
15. Chaplygin, V., Minkina, T., Mandzhieva, S., Burachevskaya, M., Sushkova, S., Poluektov, E., ... & Kumacheva, V. (2018). The effect of technogenic emissions on the heavy metals accumulation by herbaceous plants. *Environmental monitoring and assessment*, 190(3), 124. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6489-6>
16. Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2011). Trace elements in soils and plants. 4th edition, Boca Raton: CRC Press.
17. Kim, H. S., Kim, K. R., Kim, W. I., Owens, G., & Kim, K. H. (2017). Influence of road proximity on the concentrations of heavy metals in Korean urban agricultural soils and crops. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 72(2), 260-268. <https://doi.org/10.1007/s00244-016-0344-y>
18. Swiercz A., Zajecka E. (2018). Accumulation of heavy metals in the urban soils of the city Skarzysko-Kamienna (Poland) with regard to land use. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 13(1), 249-266. <https://doi.org/10.26471/cjees/2018/013/022249-266>
19. Wu, W., Wu, P., Yang, F., Sun, D. L., Zhang, D. X., & Zhou, Y. K. (2018). Assessment of heavy metal pollution and human health risks in urban soils around an electronics manufacturing facility. *Science of the Total Environment*, 630, 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.183>

Петухов А. С., Кремлева Т. А., Хритохин Н. А., Петухова Г. А., Кайдунова П. И. Содержание тяжелых металлов (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, Cd) в почвах г. Тюмени // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2020. № 1. С. 127–134. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/19>

Petukhov, A. S., Kremleva, T. A., Khritykhin, N. A., Petukhova, G. A., & Kaidunova, P. I. (2020). Heavy metal (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, Cd) concentration in soils of Tyumen. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (1). 127–134. (in Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/19>

дата поступления: 16 сентября 2019 г.

дата принятия: 25 декабря 2019 г.

© Петухов А.С., Кремлева Т.А., Хритохин Н.А., Петухова Г.А., Кайдунова П.И.