

УДК 631.453:546.3 (470.331)

## ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В Г. ВЫШНИЙ ВОЛОЧЕК

**А.Ф. Мейсунова, С.А. Иванова**

Тверской государственный университет, Тверь

С помощью АЭС–ИСП–анализа в почвах г. Вышний Волочек 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 по шести металлам (As, Cr, Fe, Pb, Zr) выше значений ПДК. Повышенный уровень загрязнения почвенного покрова отмечен в Центральном районе города ( $Z_c=16,2$ ). Почвенные пробы здесь содержат наибольшее число металлов с максимальными значениями концентраций, что связано с воздействием выбросов автотранспорта. Почвенные пробы с окраин города характеризуются низким уровнем содержания металлов.

**Ключевые слова:** металлы, загрязнение почв, АЭС–ИСП–анализ, промышленные предприятия, автотранспорт, ПДК, классы опасности, суммарный показатель загрязнения почв, г. Вышний Волочек, региональные фоновые показатели.

DOI: 10.26456/vtbio39

**Введение.** Почвы способны аккумулировать разнообразные химические вещества и соединения, в том числе загрязняющие. (Mikhailova et al., 2013; Liu et al., 2016; Касимов, Власов, 2018). Они могут поступать с атмосферными осадками, аэрозольными выпадениями. В городских условиях дополнительными источниками поступления загрязняющих веществ, в том числе тяжёлых металлов (ТМ), являются бытовые и производственные отходы (Apostoaе, Iancu, 2009; Wuana, Okieimen, 2011). Среди разных отраслей промышленности, основными источниками загрязнения почв ТМ могут быть предприятия машиностроения, металлургии, энергетики (Савченко, 2011; Мейсунова, 2017). Особое место в загрязнении почв ТМ занимает автотранспорт. Исследования почв в зоне влияния транспортных магистралей стабильно показывают превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) таких ТМ, как свинец, кадмий, ртуть, цинк, молибден, никель, кобальт, олово, титан, медь. Существенно влияние выбросов автотранспорта на загрязнение почв в малых городах, которые располагаются вдоль крупных федеральных трасс и чаще всего не в полной мере охвачены региональной сетью мониторинговых наблюдений. Такие города представляют особый

интерес и определяют актуальность исследований загрязнений почв ТМ в них (Корельская, Попова, 2012; Вишнева, Попова, 2016; Касимов, Власов, 2018).

Одним из таких городов является Вышний Волочек, который находится на северо-западе Тверской области, в 119 км от административного центра г. Твери. Город имеет небольшую площадь – 54,0 км<sup>2</sup>, а численность населения составляет 46 908 чел. (Численность населения..., 2018). Город административно разделен на несколько районов, в нем работают крупные промышленные предприятия разных отраслей (деревобрабатывающей, стекольной, энергетической, строительной, легкой, пищевой и т.д.), карьеры по добыче песка и торфа (Вышний Волочек..., 2018).

Особенностью города является то, что он располагается по маршруту скоростной федеральной автомобильной дороги Москва – Санкт-Петербург (М10), которая в центральной части города однополосная (Мейсурова и др., 2013). Долгое время трасса М10, пересекающая г. Вышний Волочек, была единственной для передвижения большого потока автомобилей, в том числе и грузовиков-фуру. Большая загруженность и износ магистрали М10 между двумя столицами, а также необходимостью избавить ряд населенных пунктов, в том числе г. Вышний Волочек, от высокого потока транзитного транспорта определило строительство автомобильной трассы М11 (Дороги М11, 2018). Однако платный режим функционирования трассы М11 заставил автомобилистов вновь вернуться на трассу М10, а г. Вышний Волочек справляться снова с интенсивным транспортным потоком и возрастающей нагрузкой на окружающую среду (Минуя Волочек ..., 2017).

Выбросы предприятий и автотранспорт определяют высокую антропогенную нагрузку на окружающую среду. Город неоднократно занимал ведущее место по удельному весу неудовлетворительных проб (Государственный..., 2018). В отдельных пробах почв из г. Вышний Волочек регистрировали превышение ПДК по некоторым металлам (Государственный..., 2016). Несмотря на оценку загрязнения среды в городе, спектр определяемых металлов ограничен. Требуется более обширные сведения по оценке содержания ТМ в почвах г. Вышний Волочек. В этой связи, целью настоящего исследования явилось проведение оценки экологического состояния и уровня техногенного загрязнения металлами почв в г. Вышний Волочек. В задачи работы входило: 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 ( $Z_c$ ); 5) картографирование полученных данных.

**Методика.** Исследования состояния почв в г. Вышний Волочек провели в весенне-летний период 2017 г. Основным зональным генетическим типом почв города являются дерново-подзолистые почвы, которые имеют невысокое плодородие, характерно низкое содержание гумуса, подвижных форм элементов питания, а также наличие высокой кислотности (Генеральный план..., 2013).



Р и с . 1. Схема расположения пунктов отбора (ПО) проб почв в г. Вышний Волочек: 1–10 – ПО; отрасли промышленности:

- |  |  |
|--|--|
|  деревообрабатывающая |  энергетическая |
|  стеклянная           |  машиностроение |

Таблица 1  
Общая характеристика ПО почв (1–10) в г. Вышний Волочек

№ ПО	Местоположение	Координаты	Потенциальные источники загрязнения	
			автотранспорт	промышленность, другие источники
1.	въезд в город	57°54'44" с.ш. 34°59'42" в.д.	автотранспорт, федеральная автомобильная дорога М10	–
2.	ул. Большая Садовая (центральный р-н)	57°58'87" с.ш. 34°55'25" в.д.	автотранспорт, федеральная автомобильная дорога М10	ОАО «Вышневолоцкая зеркально-багетная фабрика», отопительные системы частного жилого сектора
3.	ул. Красноярмейская (мкр Зуевка)	57°56'96" с.ш. 34°54'42" в.д.	автотранспорт	ОАО «Вышневолоцкий леспромхоз», отопительные системы частного жилого сектора
4.	ул. Стеклозаводская (р-н Парижская коммуна)	57°57'73" с.ш. 34°53'81" в.д.	автотранспорт	ООО «Стекольный завод им. 9 Января», отопительные системы частного жилого сектора
5.	ул. Ворошилова (мкр Авангард)	57°58'97" с.ш. 34°52'49" в.д.	автотранспорт	ООО «Вышневолоцкий механический завод», отопительные системы частного жилого сектора
6.	ул. Восточная (Вышневолоцкий р-н)	57°59'83" с.ш. 34°59'21" в.д.	автотранспорт,	филиал ОАО Метровагонмаш «Вышневолоцкий машиностроительный завод»
7.	ул. Красная (Вышневолоцкий р-н)	57°60'41" с.ш. 34°56'27" в.д.	автотранспорт, ж/д транспорт,	ФЛ Вышневолоцкая ТЭЦ ГУ ОАО «ГПК-2», ООО «Вышневолоцкий Хлопчатобумажный Комбинат»
8.	ул. Ямская (р-н Горка)	57°60'83" с.ш. 34°49'49" в.д.	автотранспорт, федеральная автомобильная дорога М10	–
9.	ул. Лесозаводская (квартал ДОЗ)	57°61'29" с.ш. 34°49'51" в.д.	автотранспорт	ОАО «Вышневолоцкий мебельный ДОК», отопительные системы частного жилого сектора
10.	въезд из города (квартал ДОЗ)	57°60'91" с.ш. 34°49'27" в.д.	автотранспорт, федеральная автомобильная дорога М10	–

На основе данных о хозяйственной инфраструктуре города, а также ранее выделенной сети пунктов наблюдений для оценки состояния воздушного состояния определили 10 пунктов отбора (ПО) проб почв (рис. 1). Общая характеристика местоположений выбранных ПО почвенных проб в городе представлена в таблице 1.

Образцы почв (ПО 1–10) отобрали по стандартной методике (ГОСТ 17.4.1.02-83, 2008; ГОСТ 17.4.4.02-84, 2008). Подготовку образцов почвы для определения ТМ выполнили 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 (ПДН Ф 16.1:2.3:3.11-98, 2005).

Полученные значения концентраций выявленных металлов выразили в мг/кг. Значения концентраций ТМ в пробах сравнили с ПДК (ОДК) химических веществ в почве (ГН 2.1.7.2041-06, 2006; ГН 2.1.7.2511-09, 2009; Водяницкий, Ладонин, 2012). В связи с тем, что значение ПДК по железу по данным разных авторов составляет разные величины, поэтому выбрали данные Каба–Пендиас – 1000 мг/кг (Агроэкология, 2000).

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

$$Z_c = \sum (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n - 1)$$

где:  $n$  – число определяемых суммируемых веществ;  $K_{ci}$  – коэффициент концентрации  $i$ -го компонента загрязнения, который рассчитывается:

$$K_{ci} = \frac{C_i}{C\phi_i}$$

где:  $C_i$  – концентрация загрязняющего вещества в почве,  $C\phi_i$  – фоновая концентрация загрязняющего вещества, мг/кг почвы. В работе использовали региональные фоновые значения для Московской области. (Ежегодник, Загрязнение почв ..., 2016).

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

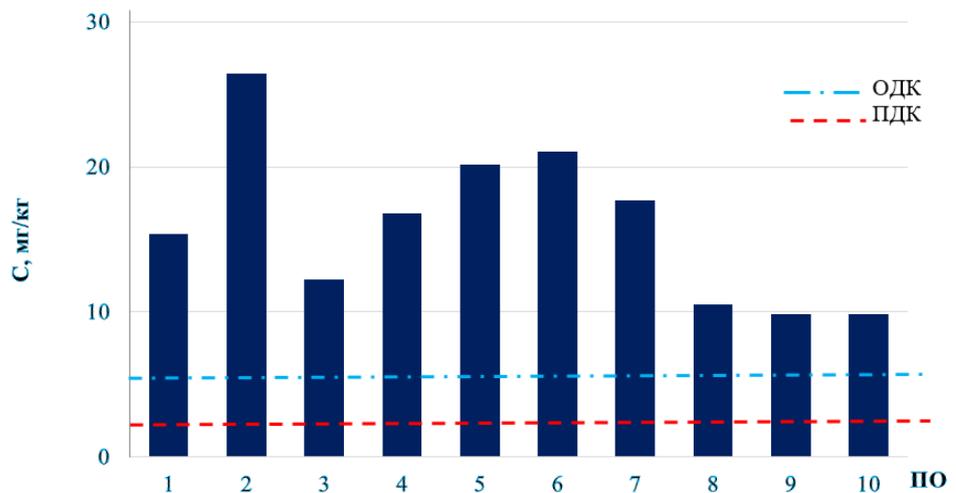
Статистическую обработку данных и определение параметров (число проб конкретной выборки, среднее значение, стандартное отклонение, коэффициенты вариации и корреляции,  $t$ -критерий Стьюдента и др.) провели по стандартным методам математической статистики с использованием лицензионных программных продуктов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

**Результаты и обсуждение.** С помощью АЭС-ИСП-анализа в пробах почв г. Твери (ПО 1-10) обнаружили 17 ТМ (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, V, W, Zn, Zr) (табл. 2). Выявленные

металлы представляют 3 класса опасности (ГОСТ 17.4.1.02-83, 2008; Водяницкий, Ладонин, 2012). К первому классу опасности (высокоопасные) относят 4 ТМ (As, Cd, Pb, Zn); ко второму (умеренноопасные) – 6 (Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Sb); к третьему (малоопасные) – 7 (Fe, Ga, Mn, Sn, V, W, Zr). Число и состав выявленных металлов по всему городу примерно одинаковые, за исключением сурьмы, которую не обнаружили в трех местах (ПО 1, 5–6).

Количественный анализ показал, что уровень содержания ТМ в почвах характеризуются крайней неоднородностью в г. Вышний Волочек. Значения среднего и валового содержания большинства ТМ не превышает значений ПДК (табл. 2). Однако среднее и валовое содержание по шести металлам выше значений ПДК. Среди них металлы первого (As, Pb), второго (Cr) и третьего классов опасности (Fe, Sn, Zr).

**Металлы первого класса опасности.** Среди металлов первого класса опасности на первом месте по уровню значений среднего содержания, превышающих ПДК в почвах г. Вышний Волочек, находится мышьяк. Его средняя концентрация составила 16,01 мг/кг, что превышает значение ПДК в 8 раз (ПДК по мышьяку 2 мг/кг), ОДК – в 3,2 раза (ОДК по мышьяку 5 мг/кг) (табл. 2). Во всех почвенных пробах валовое содержание мышьяка выше нормы. Значения концентраций варьируют от 9,84 до 26,44 мг/кг. Максимальное значение валовой концентрации мышьяка зарегистрировали в пробах почв с ул. Б. Садовая (ПО–2) – 13 ПДК (26,44 мг/кг) (рис. 2).



Р и с . 2 . Уровень загрязнения почв мышьяком, мг/кг

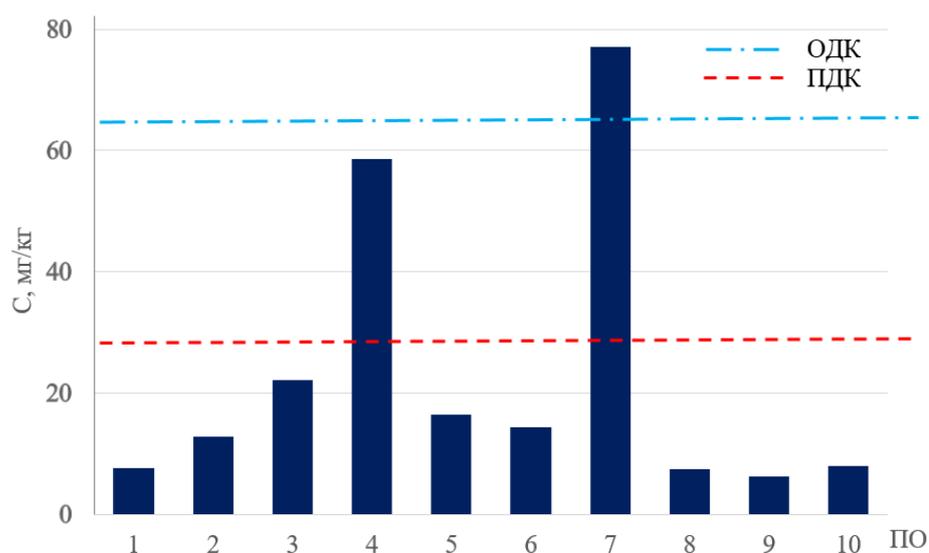
Таблица 2

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

ПО	ТМ																
	As	Cd	Pb	Zn	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Sb	V	Sn	Mn	W	Fe	Ga	Zr
1	15,4	0,06	7,58	30,32	1,32	6,04	6,92	0,24	4,7	0,14	5,50	2,40	82,78	1,82	4410	0,08	4,12
2	26,44	0,22	12,82	61,48	3,62	16,24	12,9	0,34	11,9	0,50	17,1	3,54	228,2	2,02	9560	0,12	13,31
3	12,24	0,04	22,1	33,74	1,24	4,96	4,84	0,20	9,6	0,18	3,08	2,36	103,18	1,88	4120	0,08	2,64
4	16,82	0,08	58,62	55,88	2,9	12,18	8,64	2,00	10,74	—	10,72	2,34	176,8	2,06	6770	0,10	8,86
5	20,18	0,12	16,46	36,88	2,32	9,78	10,92	0,38	8,14	—	8,50	2,15	198,76	2,30	6146	0,10	5,18
6	21,08	0,08	14,4	37,34	1,44	8,36	13,2	0,24	5,16	—	4,96	3,31	145,86	2,34	4542	0,06	5,72
7	17,68	0,16	77,08	56,86	2,28	9,72	12,4	0,36	7,86	0,18	8,14	2,26	229,8	2,88	6462	0,12	6,66
8	10,50	0,06	7,50	36,52	1,31	6,72	8,76	0,3	8,22	0,14	5,74	4,79	79,72	2,42	4146	0,08	2,66
9	9,88	0,06	6,24	45,71	1,08	6,26	8,08	0,28	4,94	0,18	5,36	2,21	86,48	2,06	4284	0,08	3,38
10	9,84	0,06	8,04	33,12	1,20	5,8	7,62	0,24	5,2	0,18	4,51	3,54	92,94	2,1	4248	0,08	4,10
СРЕД	16,01	0,09	23,08	42,78	1,87	8,60	9,43	0,46	7,65	0,15	7,36	2,89	142,45	2,19	5468,80	0,09	5,66
СМАХ	26,44	0,22	77,08	61,48	3,62	16,24	13,20	2,00	11,90	0,50	17,10	4,79	229,80	2,88	9560,00	0,12	13,30
СМІН	9,84	0,04	6,24	30,32	1,08	4,96	4,84	0,20	4,70	0,00	3,08	2,15	79,72	1,82	4120,00	0,06	2,64
ЦДК	2,00	2,00	32,00	100,00	5,00	6,00	55,00	2,00	85,00	4,50	150,00	4,50	1500,00	—	1000,00	3,00	6,00
ОДК	5,00	1,00	65,00	110,00	—	—	66,00	—	40,00	—	—	—	—	—	—	—	—
РФЗ*	—	0,8	11	22	5,5	20	9	—	8,5	—	—	—	250	—	650	—	—

Примечание: РФЗ\* – даны для Московской области

Среднее содержание остальных высокоопасных металлов в пробах почв г. Вышний Волочек не превысило нормативные значения. Однако в отдельных пробах в городе выявили превышение валового содержания свинца (ПДК по свинцу 32 мг/кг; ОДК по свинцу 65 мг/кг) (табл. 2). Превышение ПДК по свинцу характерно для проб по улицам Красная (ПО–7) и Стеклозаводская (ПО–4) и составило 2,4 ПДК (77,08 мг/кг) и 1,8 ПДК соответственно (58,62 мг/кг) (рис. 3).



Р и с . 3 . Валовое содержание свинца в почве

**Металлы второго класса опасности.** За исключением хрома, среднее содержание всех умеренноопасных металлов в пробах почв города ниже значений ПДК. Среднее содержание хрома оказалось выше в 1,4 раза значений ПДК и составило 8,60 мг/кг (ПДК по хрому составляет 6 мг/кг) (табл. 2). Валовое содержание этого металла выше нормы во всех изученных пробах, кроме проб из ПО–3,10 (рис. 4). Самые высокие значения валовой концентрации хрома выявили в пробах с ул. Б. Садовая (ПО–2), где его максимальная валовая концентрация составила 2,7 ПДК (16,24 мг/кг). Отметим, что в пробах почв с этой улицы большинство умеренноопасных металлов имели также максимальные значения валовых концентраций (Co, Cr, Ni, Sb). Повышенный уровень молибдена на уровне значений ПДК обнаружили в пробах с ул. Стеклозаводская (2 мг/кг).

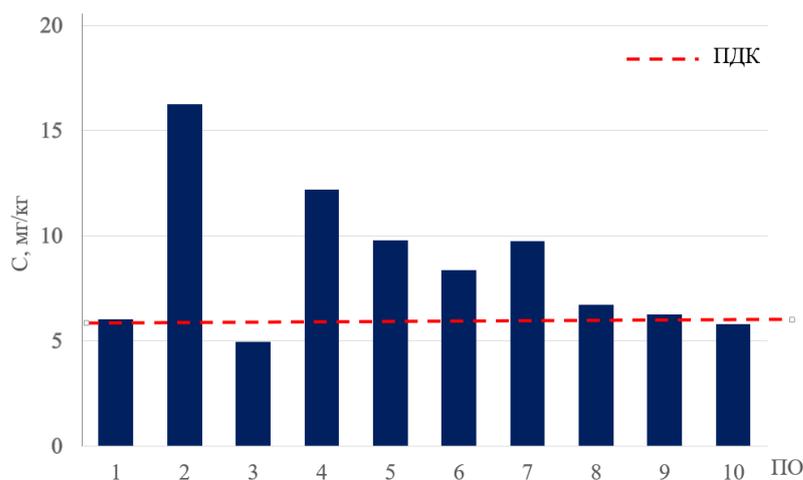


Рис. 4. Валовое содержание хрома в почве

**Металлы третьего класса опасности.** Значения средних и валовых концентраций малоопасных металлов оказались ниже значений ПДК, кроме железа и циркония. Среднее и валовое содержание железа повсеместно выше нормы (рис. 5). Средняя концентрация железа составила 5468,8 мг/кг, что превысило значение ПДК в 5,5 раз (ПДК по железу 1000 мг/кг). Значения концентраций металла варьировало от 4120,00 до 9560,00 мг/кг. Самые высокие значения валовых концентраций железа были в пробах с ул. Б. Садовая (ПО–2), где концентрации железа составила 9,6 ПДК (9560,00 мг/кг).

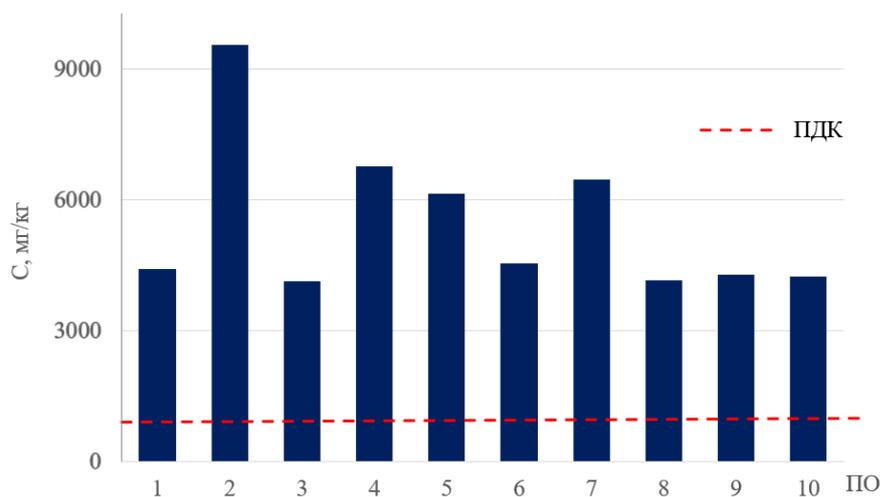


Рис. 5. Валовое содержание железа в почве

Средняя концентрация циркония в городе ниже значений ПДК, но валовое содержание в отдельных пробах выше нормы (ПО–2,4,7) (табл. 2). Циркония больше всех обнаружили в пробах почв с улиц Б. Садовая (2,2 ПДК) и Стеклозаводская (1,5 ПДК). Как и в случае с высокоопасными и умереноопасными, максимальные концентрации большинства малоопасных металлов зарегистрировали в пробах почв с ул. Б. Садовая (Fe, Ga, V, Zr). Марганца и вольфрама больше всего выявили в пробах с ул. Красная.

Расчёт величины суммарного показателя загрязнения почв (Zc) на основе расчетов превышения региональных фоновых значений выявленных металлов показал разный уровень загрязнения в городе. Величина Zc изменяется от 3,1 до 16,2, что соответствует допустимому, слабому и среднему уровням загрязнения почвенного покрова. Средняя величина Zc по городу составила 7,9 (табл. 3).

Таблица 3

Оценка степени химического загрязнения почвы в г. Вышний Волочек

Уровень загрязнения	Интервал	Zc	Наименование	
			района /микрорайона	улицы
средний	16–32	16,2	Центральный р-н	ул. Б. Садовая
слабый	8–16	11,6	мкр Парижская коммуна и Авангард	л. Стеклозаводская, Ворошилова
		10,7	Вышневолоцкий р-н	ул. Красная, Восточная
допустимый	1–8	4,5	мкр Зуевка	ул. Красноармейская
		3,5	р-н Горка	ул. Ямская
			квартал ДОЗ	ул. Лесозаводская, выезд из города
		3,1		въезд в город

Самое высокое значение Zc (16,2) характерно для Центрального района города – по ул. Б. Садовая. В пробах почв с этой улицы больше половины металлов имели максимальные значения валовых концентраций (As, Cd, Co, Cr, Ga, Fe, Ni, Sb, V, Zn, Zr), четыре металла (As, Fe, Cr, Zr) с превышением значений ПДК (рис. 6).

Соотношение валовых концентраций всех металлов в пробах почв с ул. Б. Садовая (ПО–2) к значениям их ПДК, показало следующий ряд:

ПО–2

<b>As &gt;</b>	<b>Fe &gt;</b>	<b>Cr &gt;</b>	<b>Zr &gt;</b>	Sn>Co>Zn >Pb> Cu,Mo,Mn> Cd,Ni,Sb,V
13,2 ПДК	9,6 ПДК	2,7 ПДК	2,2 ПДК	ниже ПДК

Данная улица является частью скоростной федеральной автомобильной дороги Москва – Санкт-Петербург (М10), которая сужается в городе до однополосной. Скорость транспортного потока в городе ограничена, имеются светофоры, которые определяют медленное движение автотранспорта (в том числе грузового), нередко возникновение многокилометровых пробок. Известно, что автомобильный транспорт является мощным источником загрязнения окружающей среды, в том числе почвенного покрова ТМ (Вишнева, Попова, 2016). Отработанные газы автотранспорта, помимо основных компонентов содержат соединения ТМ. В присадках смазочного масла содержится медь и цинк; продуктами износа покрытий кузовов и деталей двигателя могут быть цинк, никель, хром и свинец. Кроме того, ТМ могут поступать вместе с продуктами изнашивания тормозных накладок (Cu, Pb, Cr, Ni, Zn), автопокрышек (Zn, Cd, Cu, Pb, Al, Co, Fe, Ti и др.) и дорожного покрытия (Cd, Pb). Дополнительным вероятным источником загрязнения почв по ул. Б. Садовая может являться предприятие – ОАО «Вышневолоцкая зеркально-багетная фабрика», основной специализацией которого является обработка стекла, изготовление зеркал и багетных рам (Зеркально-багетная..., 2018).

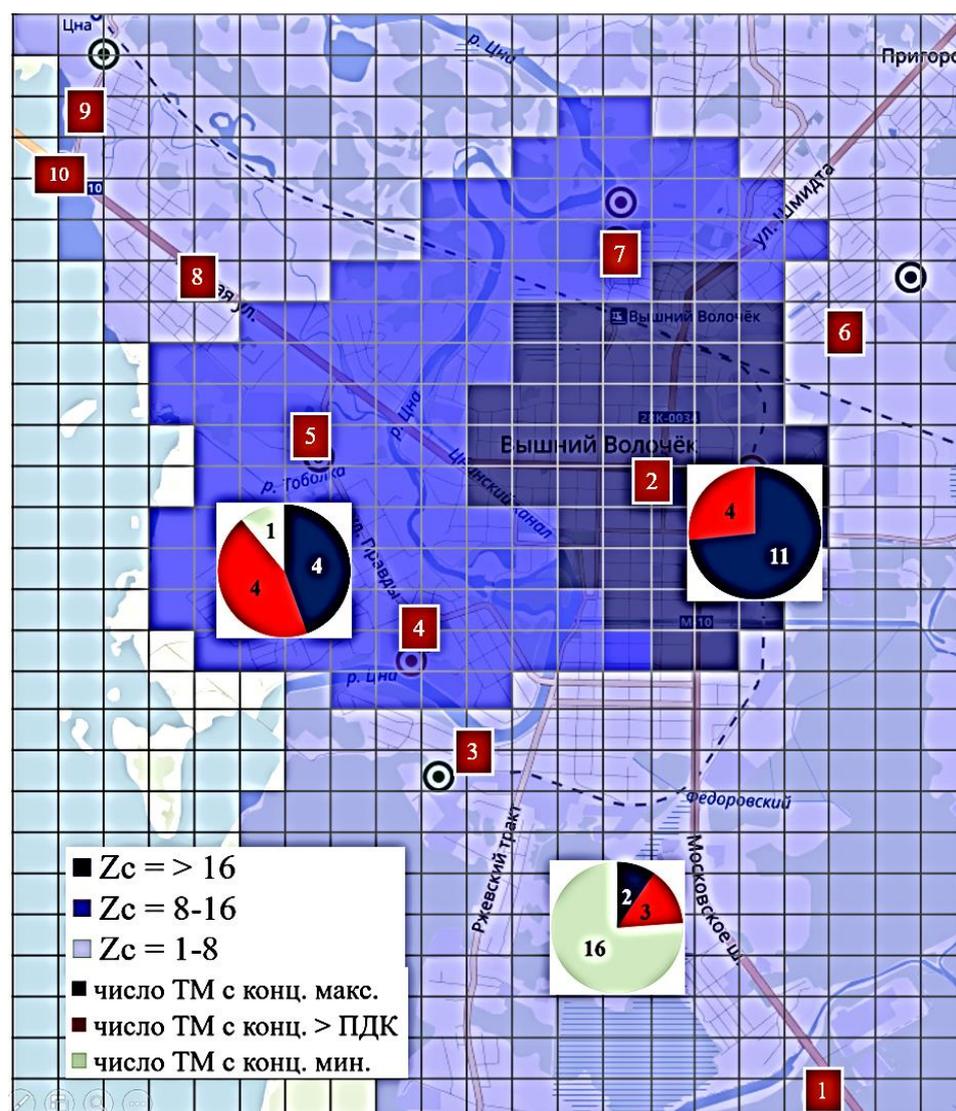
Слабый уровень загрязнения почвенного покрова выявили для микрорайонов Парижская коммуна и Авангард (Zc равен 11,6), а также Вышневолоцкого района города (Zc равен 10,7) (табл. 3). В пробах изученных территорий максимальные значения валовых концентраций выявили по четырем ТМ, минимальные – только по одному. Среди всех улиц этих районов/микрорайонов в пробах по улицам Стеклозаводская и Красная отмечено наибольшее число ТМ, валовые концентрации которых выше ПДК. Однако уровень содержания этих металлов ниже, чем в пробах с ул. Б. Садовая. Соотношение валовых концентраций всех металлов в пробах почв с улиц Стеклозаводская и Красная к значениям их ПДК, показывают следующие ряды:

ПО–4

<b>As &gt;</b>	<b>Fe &gt;</b>	<b>Cr &gt;</b>	<b>Pb &gt;</b>	<b>Zr &gt;</b>	<b>Mo &gt;</b>	Zn, Co > Sn > Cu > Mn,Ni,V
8,4 ПДК	6,8 ПДК	2,0 ПДК	1,8 ПДК	1,5 ПДК	1,0 ПДК	ниже ПДК

ПО–7

<b>As &gt;</b>	<b>Fe &gt;</b>	<b>Pb &gt;</b>	<b>Cr &gt;</b>	<b>Zr &gt;</b>	Zn > Co > Sn> Cu,Mo,Mn > Cd> Ni,V
8,8 ПДК	6,5 ПДК	2,4 ПДК	1,6 ПДК	1,1 ПДК	ниже ПДК



Р и с. 6. Схема зонирования загрязнения почвенного покрова в г. Вышний Волочек на основе значений суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ): ПО–1–10

Пробы почв с ул. Стеклозаводская (ПО–4) содержат шесть металлов, валовые концентрации которых выше значений ПДК (As, Fe, Cr, Pb, Zr, Mo). Вблизи улиц Стеклозаводская функционирует предприятия стекольной промышленности – ООО «Стекольный завод 9 Января», который может выступать потенциальным источником загрязнения. Предприятие имеет более чем 125-летнюю историю, опыт в проектировании, разработке, изготовлении разнообразной высококачественной стекольной продукции (ООО «Стекольный завод

..., [2018]). Технология стекла включает две основные стадии: подготовку сырьевых компонентов с получением шихты и стекловарение с выработкой стеклоизделий. Известно, что в состав шихты входят разные соединения, в том числе оксиды свинца, цинка, мышьяка, хрома и других веществ. Производство хрусталя, оптических стекол, эмалей предполагает применение материалов, содержащих оксиды свинца ( $PbO$ ,  $Pb_3O_4$ ). Осветление стекольной продукции происходит с использованием оксида мышьяка ( $As_2O_3$ ) являющийся сильным ядом. Все красители, используемые в стекольной промышленности, содержат оксид хрома ( $Cr_2O_3$ ) и дихромат калия ( $K_2Cr_2O_7$ ) (Новаторская педагогика ..., 2018).

В пробах почв с ул. Красная (ПО-7) выявили превышение валовых значений концентраций по пяти металлам (As, Pb, Cr, Fe, Zr). Кроме того, отмечены максимальные величины валовых концентраций по марганцу (229,8 мг/кг) и вольфраму (2,88 мг/кг). Рядом с ул. Красной находится Вышневолоцкая ТЭЦ (ФЛ Вышневолоцкая ТЭЦ ГУ ОАО «ТГК-2»). Предприятие было построено еще в 1950 году и долгое время работало на торфе и мазуте. В середине 80-ых XX в. станция была переведена на природный газ. Однако почва имеет свойство длительное время депонировать в неизменном виде многие загрязняющие вещества, в том числе металлы. Значительные концентрации металлов в почвах могут быть связаны с деятельностью станций в прошлом. Отмечается, что при сжигании различных видов топлива, в почвах около котельных станций встречаются повышенные концентрации свинца, кобальта, цинка, никеля, меди, марганца (Иванова, Черкасова, 2011; Мейсурова, 2017). Многие исследователи отмечают, что повышенный уровень загрязнения почв мышьяком связан с работой отопительных печей и сгоранием топлива на теплоэлектростанциях (Баярсайхан, 2009).

Величина  $Z_c$  на окраинах города, включая улицы Красноармейская, Ямская, Лесозаводская, а также на в- и выезде из города соответствует допустимому уровню загрязнения почв (табл. 3). В пробах почв этих буферных участков отмечены минимальные валовые концентрации металлов в почве (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V, W, Zn, Zr). Самый низкий уровень валового содержания металлов в почве отмечен по ул. Красноармейская (ПО-3), где отмечено наибольшее число металлов с минимальными значениями валовых концентраций (Cd, Cr, Cu, Fe, Mo, V, Zr), а также с ул. Лесозаводская.

Таким образом, анализ валового содержания ТМ в почвенных пробах и результаты расчета величины  $Z_c$  позволили определить в городе территории, представляющие наибольшую опасность, а также

буферные участки, где отмечены минимальные валовые концентрации металлов в почве.

**Заключение.** Для почв г. Вышний Волочек характерно полиэлементное загрязнение. 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. Шесть металлов имеют средние и валовые концентрации выше значений ПДК (As, Cr, Fe, Pb, Zr). Анализ валового содержания ТМ и результаты расчета величины Zc позволили определить в городе территории, представляющие наибольшую опасность. Повышенный уровень загрязнения почв металлами отмечен на улицах Б. Садовая, Красная и Стеклозаводская. Основными источниками загрязнения почв выступают автотранспорт и предприятия энергетической и стекольной промышленности. Буферными участками в городе с допустимым уровнем загрязнения почвенного покрова являются преимущественно окраины города.

### **Список литературы**

- Агроэкология.* 2000 / под ред. В.А. Черникова, А.И. Черкеса. М.: Колос. С.192-198.
- Баярсайхан Г.* 2009. Исследования загрязнения почвы на территории г. Улан-Батора // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). № 3. С. 100-105.
- Вишнева Ю.С., Попова Л.Ф.* 2016. Влияние автотранспорта на загрязнение почвенного покрова г. Архангельска тяжелыми металлами // Вестник САФУ. Сер.: Естеств. науки. № 2. С. 32-41.
- Водяницкий Ю.Н. Ладонин Д.В.* 2012. Загрязнение почв тяжелыми металлами. М.: Изд-во МГУ. 305 с.
- Вышний Волочек [2006-2018]* // Энциклопедия «Вокруг света»: [электрон. ресурс]. Режим доступа: [http://www.vokrugsveta.ru/encyclopedia/index.php?title=Вышний\\_Волочёк](http://www.vokrugsveta.ru/encyclopedia/index.php?title=Вышний_Волочёк) (дата обращения 19.10.2018).
- Генеральный план муниципального образования «Город Вышний Волочек» Тверской области 2013.* Т. 2. Материалы по обоснованию проекта: [электрон. ресурс]. Режим доступа: [v.volochekadm.ru/gorod/upload/copy\\_2.doc](http://v.volochekadm.ru/gorod/upload/copy_2.doc) (дата обращения 17.11.2018).
- 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. Тверь. 150 с.
- Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Тверской области в 2017 году.* 2018 / Министерство природных ресурсов и экологии Тверской области. Тверь. 156 с.
- Дабахов М.В., Дабахова Е.В., Титова В.И.* 2005. Экотоксикология и проблемы нормирования. Н. Новгород: Изд-во ВВАГС. 165 с.
- Дорога М-11 2007-2018 // Планета дорог. Путешествия по России и всему миру:* [электрон. ресурс]. Режим доступа: [http://www.planetadorog.ru/r/doroga\\_m11/](http://www.planetadorog.ru/r/doroga_m11/) (дата обращения 17.11.2018).
- Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2016 г.* 2017: Ежегодник. Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун». 100 с.
- Зеркально-багетная фабрика «Клеопатра» г. Вышний Волочек [2018]:* Официальный сайт: [электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://www.volbaget.ru/> (дата обращения 19.11.2018).
- Иванова В.С., Черкасова О.А.* 2011. Котельные станции как источник загрязнения почвы тяжелыми металлами // Вестник ВГМУ ТОМ. 10. №4. С. 120-130.
- Касимов Н.С., Власов Д.В.* 2018. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах российских городов (по данным ежегодных докладов Росгидромета) // Вестн. Московского ун-та. Сер. 5. География. № 3. С. 14-22.
- Корельская Т.А., Попова Л.Ф.* 2012. Тяжелые металлы в почвенно-растительном покрове селитебного ландшафта города Архангельска // Арктика и Север. № 7. С. 1-17.
- Мейсурова А.Ф.* 2017 Техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами в г. Твери // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 2. С. 324-342.
- Мейсурова А.Ф., Нотов А.А., Дементьева С.М., Мейсуров У.М.* 2013. Оценка состояния атмосферы антропогенно-трансформированных территорий Вышневолоцко-Новоторжского вала с помощью Фурье-ИК спектрального анализа слоевищ *Nurogymnia physodes* // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. Вып. 30. № 7. С. 123-136.
- Минуя Волочѣк: выбор между мраком М-10 и платной пустотой М-11 2017 // Tverigrad. Ru 11.02.2017:* [электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://tverigrad.ru/publication/minuya-volochjok-vybor-mezhdu-mrakom-m-10-i-platnoj-pustotoj-m-11-foto> (дата обращения 17.11.2018).
- Мотузова Г.В., Безуглова О.С.* 2007. Экологический мониторинг почв. М.: Гаудеамус. 237 с.

- Особенности* изучения кремниевой кислоты и ее солей, связанные с экологическими проблемами силикатного производства 2018 // Новаторская педагогика *Newly Pedagog*: [электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://www.newlypedagog.ru/nepjs-279-3.html> (дата обращения 19.11.2018).
- ПНДФ* 16.1:2.3:3.11-98. 2005. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой // Информационная система МЕГАНОРМ: [электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293777/4293777593.htm> (дата обращения 19.07.2018).
- Савченко О.В.* 2011. Загрязнение почвы тяжелыми металлами в г. Владивостоке // Медицина труда и промышленная экология. № 7. С. 45-47.
- Стекольный завод 9 Января* [2018]: Официальный сайт ООО «Стекольный завод 9 Января»: [электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://9jn.ru/> (дата обращения 19.11.2018).
- Численность* населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2018 года. 2018. М. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). [Электронная версия: RAR-архив].
- 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. Special Iss. 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. V. 13. Is. 63. 16 p.
- 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. Iss. 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. V. 2011. Article ID 402647. 20 p.

## **HEAVY METAL TECHNOGENIC POLLUTION OF SOILS IN THE CITY OF VYSHNY VOLOCHYOK (TVER REGION, RUSSIA)**

**A.F. Meysurova, S.A. Ivanova**  
Tver State University, Tver

ICP-AES analysis revealed 17 heavy metals (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, V, W, Zn, Zr) in the soils of the city of Vyshny Volochyok (Tver Region, Russia). They represent three classes of hazard. The average and total concentrations for six metals (As, Cr, Fe, Pb, Zr) are higher than the values of maximum permissible concentration (MPC). The highest level of the soil surface pollution was found in the downtown ( $Z_c=16,2$ ). Soil samples from here contain the largest number of metals with maximum concentration. This is related to the higher level of motor vehicles' emissions. Soil samples from the outskirts of the city are characterized by the lower level of metal content.

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

### *Об авторах:*

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

ИВАНОВА Светлана Алексеевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: dmitrievas@mail.ru.

Мейсурова А.Ф. Техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами в г. Вышний Волочек / А.Ф. Мейсурова, С.А. Иванова // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2018. № 4. С. 203-219.