

УДК 550.424

ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА БЛАГОВЕЩЕНСКА

© 2019 г. В. И. Радомская^{1*}, Н. А. Бородина^{1**}

¹Институт геологии и природопользования ДВО РАН,
пер. Релочный, 1, Благовещенск, 675000 Россия

*E-mail: radomskaya@ascnet.ru;

**E-mail: borodina53@yandex.ru

Поступила в редакцию 18.07.2019 г.

Проанализировано распределение тяжелых металлов в почвах г. Благовещенска. Определены основные физико-химические свойства (рН, содержание органического вещества, подвижные формы фосфора, калия и обменные катионы кальция и магния), валовое содержание Cu, Cr, Ni, Co, Sr, Pb, Mn, Cd, Zn) в почвенных пробах. Техногенное воздействие на окружающую среду в городах приводит к изменению физико-химических свойств почв: подщелачиванию почвенного покрова, увеличению содержания органического вещества, обменных оснований, подвижных форм биогенных элементов. Валовые содержания изученных тяжелых металлов (ТМ) в почвах Благовещенска превышают их концентрации в почвах фоновой территории урочища Мухинка и характеризуются пространственной неоднородностью распределения поллютантов в верхнем слое почв. Сравнение концентраций изучаемых элементов с их ПДК/ОДК показало, что наиболее загрязнены территории, приуроченные к промышленным зонам. В почвах города накапливаются 4 элемента – Mn, Pb, Cd и Zn. Аккумуляция Cu, Ni, Co, Sr не столь велика. Результаты расчетов суммарного показателя загрязнения верхнего слоя почвенного покрова г. Благовещенска с учетом коэффициента токсичности ТМ показали, что почвы города в основном относятся к категориям “умеренно опасные” и “неопасные”.

Сведения о валовом содержании ТМ не позволяют судить о закономерностях их геохимического поведения в почве и возможностях их перехода в сопредельные природные среды. По этой причине методом последовательной экстракции были выделены наиболее подвижные и легко мобилизуемые формы ТМ: водорастворимая и специфически сорбируемая. Установлено, что в городских почвах по сравнению с фоновой почвой увеличилась подвижность металлов. Наибольшую опасность среди изученных элементов представляют Cd, Pb и Zn, их мобильность соответствует среднему риску включения в пищевые цепи. Это может привести к загрязнению тяжелыми металлами экосистем трансграничной реки Амура при поднятии уровня грунтовых вод на территории Благовещенска из-за его подтопления водами р. Зеи.

Ключевые слова: городская территория, тяжелые металлы, суммарное загрязнение почв, коэффициент концентрации, подвижные формы.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019679-93>

ВВЕДЕНИЕ

Развитие промышленности и транспорта привело к загрязнению окружающей среды различными химическими веществами. Основной удар принимают на себя почвы. Городские почвы – не только среда обитания растений, микроорганизмов, но и уникальный сорбент разнообразных загрязняющих веществ, в частности токсичных химических элементов. Хотя городские почвы не представляют интерес как начальное звено пище-

вых цепей, они являются потенциальным источником вторичного загрязнения поверхностных и грунтовых вод, пылевого загрязнения атмосферного воздуха. Тяжелые металлы (ТМ) составляют значительную долю в составе аэрозольных частиц воздуха. Будучи тонкодисперсными, эти частицы могут проникать в легкие и кровь человека, накапливаться в разных органах. Возможно и прямое воздействие загрязненных почв на здоровье населения (особенно детей) за счет непосредственного контакта и поступления частиц почвы и грунтов

в организм (в частности на игровых площадках) [32, 33]. Поступление частиц почвы в организм детей сейчас рассматривается в качестве одного из значимых механизмов воздействия окружающей среды на их здоровье [26]. Установлено, что в организм детей в возрасте от 1 года до 4 лет в процессе их обычной деятельности (игры, прогулки и т. п.) в среднем попадает 24–26 мг почвы в день [23].

Установлено, что существует экспоненциальная зависимость между уровнем ТМ в крови человека и их содержанием в городских почвах [28]. Доказано, что высокий уровень свинца в крови приводит к замедлению физического развития детей и проблемам со слухом, изменению нейроповеденческих характеристик [24, 25].

В последнее время как в России, так и за рубежом активно ведется эколого-геохимическое изучение почв городской агломерации [9, 12, 13, 21, 22, 31]. На сегодняшний день в основном исследуется загрязнение территорий крупных промышленных центров России [8, 16]. Дальневосточные же города со сравнительно низкой плотностью населения остаются вне зоны комплексного экологического исследования. Дальневосточные города, в большей мере считающиеся малыми промышленными из-за незначительного количества предприятий или их малой мощности, тем не менее зачастую позиционируются в первой десятке самых загрязненных городов по разным показателям¹. Кроме того, природные экосистемы Дальневосточного региона испытывают интенсивный антропогенный прессинг, обусловленный высокой пирогенной составляющей, а также трансграничным переносом поллютантов с территории соседнего Китая [7].

Один из старейших городов русского Дальнего Востока – Благовещенск, административный центр Амурской обл., расположен в пойме двух крупных рек Амура и Зеи. Это единственный административный центр России, находящийся на государственной границе. Геохимическими исследованиями территории Благовещенска в разные годы занимались многие специалисты [4, 15, 18, 20, 21].

В большинстве случаев эти исследования сводились к определению валового содержания химических элементов в почвенных пробах. Было установлено цинк-кадмий-свинцовое загрязне-

ние почвенного покрова г. Благовещенска. Однако валовое содержание элементов не позволяет судить о закономерностях их геохимического поведения в почве и возможностях перехода в сопредельные природные среды. Современное исследование почв урболандшафтов должно включать не только определение валового содержания поллютантов, но и форм их нахождения с установлением доли подвижных форм и особенностей их распределения. Использование показателей подвижности позволит прогнозировать увеличение потока ТМ из почв в другие среды, например при выпадении кислотных дождей и в иных экстремальных ситуациях, в частности при наводнениях. Расположение Благовещенска в междуречье главных водных артерий Дальнего Востока – Амура и Зеи – накладывает на экологическое состояние почвенного покрова города определенные рамки. Зона бассейна Среднего Амура – это огромный регион, охватывающий территории России и Китая. На экосистемы крупных водотоков крайне отрицательно влияет загрязнение промышленными, муниципальными и ливневыми стоками. Ситуацию усугубляют наводнения, периодически происходящие в бассейне Зеи и приводящие к частичному подтоплению Благовещенска. По многолетним наблюдениям, в левобережной части бассейна Амура наводнения наблюдаются раз в четыре года, при этом раз в 9–25 лет они принимают катастрофический характер [10], затопляющая часть территории Благовещенска и приводя к поднятию уровня грунтовых вод. В результате этих процессов в воды Амура дополнительно попадают разнообразные загрязняющие вещества. Последнее наводнение в 2013 г. стало одним из самых сильных и продолжительных.

Цель данной работы – изучение степени подвижности тяжелых металлов в почвах Благовещенска, определение элементов, имеющих высокий риск мобилизации, и выделение районов повышенного риска для здоровья человека.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Источники загрязнения атмосферного воздуха и почв на территории города – работающая на буром угле Благовещенская ТЭЦ, золоотвал, отопительные котельные коммунального хозяйства, печное отопление частного жилого сектора, заводы “Амурский металлист”, судостроительный, строительных материалов, железобетонных изделий, мельзавод, ЗАО “Асфальт”, мясокомбинат, спичфабрика, опытно-промышленный завод (обогажительная фабрика) ОАО “Покровский рудник”, полиграфический центр “Приамурье”, железнодорожный и автомобильный транспорт и др. К основным источникам загрязнения отнесены

¹ Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2005 году”. М.: Изд-во АНО Центр международных проектов, 2006. 500 с.

Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2010 году”. М.: МПР РФ, 2011. 571 с.

Государственный доклад “Об охране окружающей среды и экологической ситуации в Амурской области за 2015 год”. Благовещенск, 2016. 283 с.

Благовещенская ТЭЦ, котельные предприятия коммунального хозяйства, а также автотранспорт.

В соответствии с функциональным назначением территорий и специализацией источников загрязнения в Благовещенске выделены следующие функциональные зоны: селитебная, промышленная, транспортная, рекреационная. В качестве фона была выбрана территория равнины в междуречье заповедного урочища Мухинка, расположенная в 38 км северо-восточнее города, которая не подвергается техногенным и пылевым выбросам, характерным для города. Урочище Мухинка представляет собой смешанный лес с преобладанием сосны (*Pinus silvestris* L.), поэтому и на территории города почвенные пробы отбирали в зоне произрастания сосен. Было отобрано 34 пробы с различных территорий: около промышленных предприятий, газонов вдоль автомобильных и железных дорог, благоустроенных скверов, дворов жилых домов (рисунок).

Отбор почв производился точечным способом методом конверта из верхнего слоя 0-10 см. Из 5 точечных проб составляли объединенную пробу весом примерно 1 кг. Обработка проб почвы последовательно включала просушивание при комнатной температуре, ручное измельчение крупных агрегатов и просеивание через сито с размером ячейки 1 мм.

Определение физических и химических свойств почв проводили по стандартным методикам: кислотность почв (рН) в водной и солевой вытяжках потенциометрическим методом с помощью иономера ЭВ-74²; подвижные формы фосфора и калия³; обменные катионы кальция и магния методом их вытеснения 1 М раствором уксуснокислого аммония; органическое вещество⁴.

Валовое содержание ТМ (Cd, Pb, Zn, Cr, Cu, Ni, Co, Mn) в почвенных образцах определяли после разложения почвы смесью концентрированных кислот: фтористоводородной, азотной и соляной с последующим растворением в горячем растворе 1 М соляной кислоты. Подвижные формы металлов экстрагировались последовательно водой (фракция I) и ацетатно-аммонийным буфером рН=4.8 (фракция II).

Для извлечения фракции I почву и бидистиллированную воду в соотношении 1:10 встряхивали на ротаторе в течение 1 часа. Раствор центрифугировали, отделяли супернатант и концентри-

ровали его упариванием в 10 раз. Водорастворимая фракция тяжелых металлов (F1) наиболее доступна для растений. Состав соединений ТМ, ответственный за содержание ионов ТМ в водной вытяжке, достаточно сложный. Его составляют три основные группы соединений: а) собственно легкорастворимые соединения ТМ; б) труднорастворимые соединения ТМ, растворяющиеся в воде в соответствии со своими произведениями растворимости; в) растворимые в воде комплексные соединения ТМ с различными органическими и неорганическими лигандами [11].

Для получения фракции II, или специфически сорбированной, пробы обрабатывали раствором ацетатно-аммонийного буфера с рН 4.8 в соотношении почва:раствор – 1:10 в течение 1 часа при непрерывном встряхивании. Раствор ацетатно-аммонийного буфера предназначен для выделения наиболее подвижных и легко мобилизуемых (адсорбированных на различных сорбентах, а также карбонатных форм) металлов [1].

Измерение концентраций Cu, Zn, Mn, Cr, Ni, Co, Pb и Cd проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре Hitachi-180-50, iCE-3000 Series в пламени ацетилен-воздух, на ААС “Анналист 400” в филиале ЦЛАТИ по ДФО – ЦЛАТИ по Амурской области (Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511649) и методом инверсионной вольтамперометрии (анализатор вольтамперометрический ТА-4).

Результаты анализов сведены в базу данных, которая обрабатывалась с использованием программы Statistica (7.0).

Химический состав почв на фоновой территории характеризовали кларками концентрации $KK = Cф/К$ и рассеяния элементов $KP = К/Сф$, где $Cф$ – среднее валовое содержание металла в почве, мг/кг; $К$ – кларк элемента в верхней части континентальной земной коры, мг/кг [5, 29, 36].

Геохимические индексы почв г. Благовещенска выражали формулой, в числителе которой – концентрирующиеся элементы с их коэффициентами накопления KK , в знаменателе – деконцентрирующиеся с коэффициентами рассеяния KP . Накопление и рассеяние ТМ на территории Благовещенска по сравнению с фоном оценивали путем расчета коэффициентов для почвы: $KK = Cm/Cф$ и $KP = Cф/Cm$, где $Cф$, Cm – средние валовые концентрации элемента в фоновых образцах и образцах почв городской территории соответственно.

Рассчитывали коэффициент опасности элемента $K_o = Ci/ПДК$, который отражает кратность превышения валовой концентрации элемента в почве по сравнению с предельной допустимой концентрацией (ПДК).

² ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. М.: Изд-во стандартов, 1985. 6 с.

³ ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013. 8 с.

⁴ ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Изд-во стандартов, 1992. 6 с.

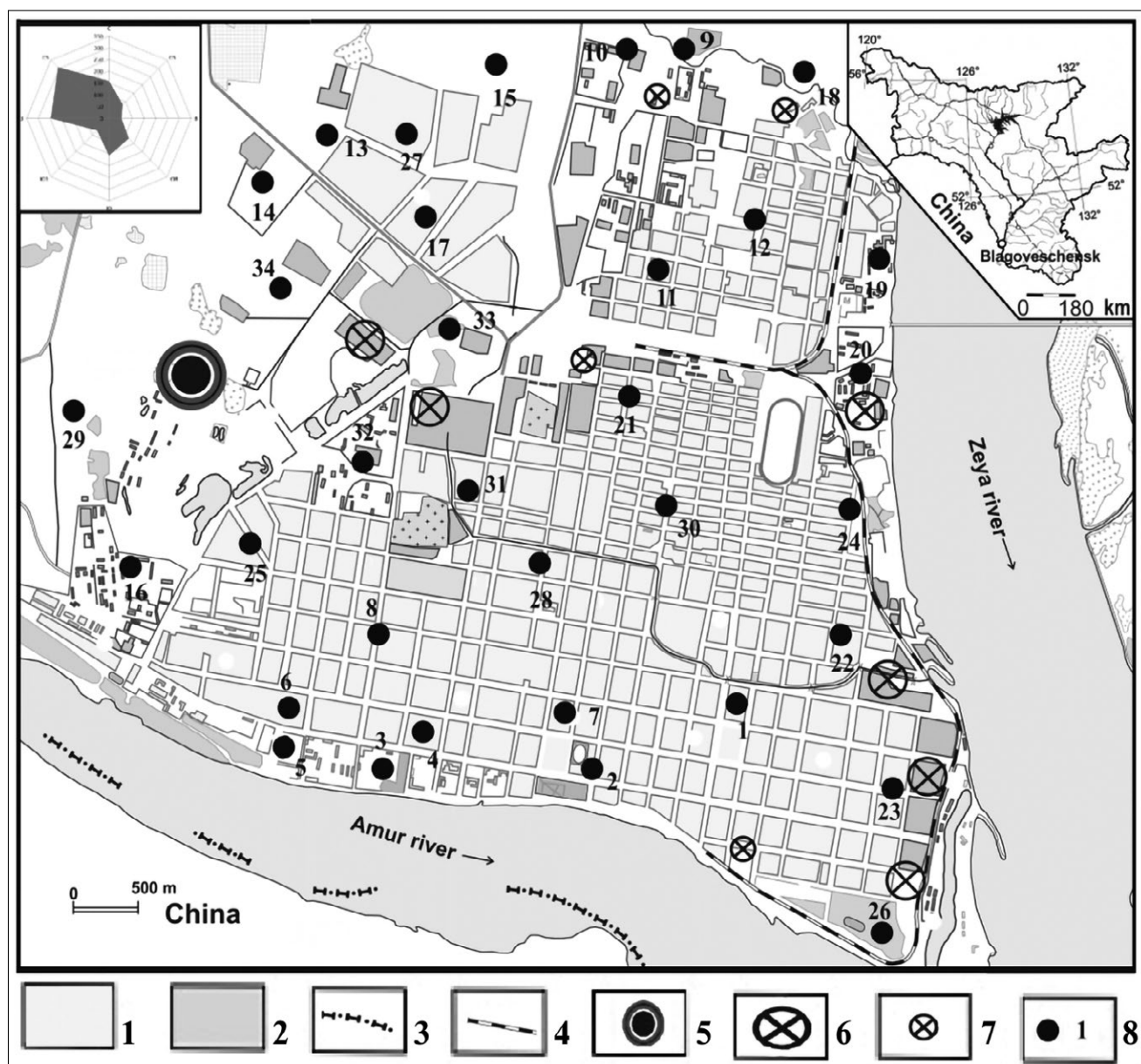


Рисунок. Карта фактического материала опробования почв на территории г. Благовещенска. 1 – селитебная территория; 2 – территория промышленных предприятий, 3 – Государственная граница России с Китаем; 4 – железная дорога, 5 – ТЭЦ; 6 – заводы, производственные базы; 7 – котельные, работающие на буром угле; 8 – места отбора проб городских почв и их номера. Врезки: роза ветров (вверху слева), карта-схема Амурской области (вверху справа).

Для оценки степени полиэлементного загрязнения почв ТМ использовали показатель суммарного загрязнения Z_c [19]:

$$Z_c = \sum K_{c_i} - (n-1),$$

где Z_c – суммарный показатель загрязнения; K_{c_i} – коэффициенты концентраций элементов; n – число химических элементов с $K_{c_i} > 1$. Коэффициент концентрации K_{c_i} элемента определяли по формуле: $K_{c_i} = C_i / C_f$, где C_i и C_f – соответственно валовое и фоновое содержание определяемого элемента в почве.

Значения, характеризующие суммарное загрязнение Z_c по степени опасности, имеют следующие диапазоны: $Z_c < 16$ – низкий уровень; $16 < Z_c < 32$ – средний, умеренно опасный; $32 < Z_c < 64$ – высокий, опасный; $64 < Z_c < 128$ – максимальный, чрезвычайно опасный [19].

Использовали также экологический показатель суммарного загрязнения $Z_{ст}$ (с учетом поправочного коэффициента токсичности), рассчитанный по формуле:

$$Z_{ст} = \sum (K_{c_i} \times K_{т_i}) - (n - 1),$$

где K_{Ti} – коэффициент токсичности i элемента. Значения коэффициентов токсичности исследуемых элементов были использованы согласно [3]. Для Zn, Pb, Cr, Ni, Cd K_T равен 1.5, для Cu и Co – 1, для Mn – 0.5.

Был рассчитан также индекс $Z_{ст}(r)$, который объединяет два критерия загрязненности: среднее геометрическое коэффициентов концентраций (K_c) и токсичность тяжелых элементов (K_T) [3]:

$$Z_{ст}(r) = \eta[(K_{c1} \times K_{T1})(K_{c2} \times K_{T2}) \times \dots \times (K_{cn} \times K_{Tn})]^{1/n} - (n - 1).$$

Рассчитывали фактор подвижности для каждого элемента по формуле:

$$MF = ((F1+F2)/C_m) \times 100\%,$$

где F1 и F2 – концентрация элемента в водорастворимой и специфически сорбированной фрак-

циях соответственно, а C_m – среднее валовое содержание поллютанта.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты физико-химической характеристики городских почв приведены в табл. 1. Широкий диапазон представленных значений, вероятно, обусловлен различным хозяйственным использованием городских территорий и разной степенью загрязнения мест отбора проб.

Согласно данным табл. 1, рН водный верхнего слоя почв (0-10 см) варьировал от 5.3 до 8. Для почв промышленной зоны характерна слабощелочная реакция среды (рН 7.5), в рекреационной и селитебной зонах значения рН соответственно 6.8 и 6.6. Смещение рН в верхних слоях городских почв в щелочную область по сравнению с фоновой территорией происходит за счет карбонатных

Таблица 1. Физико-химические свойства почв Благовещенска

Параметры	рН	рН _{ксл}	Органическое вещество, %	Подвижные формы, мг/кг		Обменные, ммоль/100 г	
				K ₂ O	P ₂ O ₅	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Промышленная зона (n = 11)							
среднее	7.5	6.7	9.4	222	493	65.7	1.7
стандартное отклонение	0.5	0.7	5.6	171	193	57.9	0.9
медиана	7.5	6.5	8.8	167	514	46.9	1.4
минимум	6.4	5.7	2.5	75	148	9.0	0.8
максимум	8.0	7.9	16.1	642	723	177	3.2
Транспортная зона (n = 5)							
среднее	6.8	5.8	5.6	209	345	21.3	1.3
стандартное отклонение	0.9	0.9	2.1	157	220	12.7	1.2
медиана	7.0	5.6	6.5	164	419	22.2	1.1
минимум	5.8	4.6	2.9	106	76.2	4.8	0.3
максимум	7.7	6.8	7.5	483	585	39.5	3.2
Селитебная зона (n = 15)							
среднее	6.6	5.4	7.1	169	394	16.8	1.8
стандартное отклонение	0.7	0.7	2.6	78.2	222	7.0	1.2
медиана	6.8	5.7	6.3	163	443	14.1	1.2
минимум	5.3	4.2	4.2	77.5	66.7	10.1	0.8
максимум	7.4	6.3	12.1	341	700	31.8	3.9
Рекреационная зона (n = 3)							
среднее	6.8	5.7	7.3	254	254	19.7	1.6
стандартное отклонение	0.2	0.2	4.7	232	153	5.6	0.3
медиана	6.8	5.6	5.5	121	191	16.8	1.5
минимум	6.6	5.5	3.9	119	143	16.2	1.4
максимум	7.0	6.0	12.6	522	429	26.2	1.9
Фон							
среднее	6.1	5.6	3.0	68.5	66.7	7.6	0.9

техногенных включений (бетона, цемента и др., которые разрушаются и выветриваются в условиях города). Наиболее кислая реакция среды характерна для почв, отобранных в урочище Мухинка и на менее загрязненных участках города. Это связано с тем, что продукты распада хвой сосны имеют кислую реакцию.

В почвах Благовещенска по сравнению с фоновой территорией увеличивается содержание органического вещества (в среднем 7.7% при колебаниях от 2.5 до 16.1%). На содержание органического вещества в городских почвах оказывают влияние привозные грунты, содержащие большое количество торфа, выбросы в атмосферу сажи, коммунально-бытовой мусор и опад растительного покрова. Низкое содержание органического углерода встречалось как в сильно нарушенных почвах, так и в почвах некоторых газонов и парков.

Наибольшие концентрации подвижных форм фосфора и калия как типичных биогенных элементов достигали 723 и 642 мг/кг соответственно. В естественных ненарушенных почвах (фон) содержание биогенных элементов составило около 70 мг/кг.

Обменные катионы кальция и магния характеризуют поглотительную способность почв. В составе обменных катионов преобладал кальций (от 4.8 до 177 ммоль/100 г почвы), содержание магния – от 0.3 до 3.9 ммоль/100 г почвы.

Таким образом, по сравнению с фоновой территорией в Благовещенске отмечалось подщелачивание почв, увеличение содержания органического вещества, обменные оснований и подвижных форм биогенных элементов, что связано с большей техногенной нагрузкой на городские почвы. Однако, в целом в исследованных почвах наблю-

дали нормальные условия для развития растений и микроорганизмов [17].

Данные по валовому содержанию химических элементов в почвах Благовещенска и на фоновой территории приведены в табл. 2.

В поверхностном горизонте фоновых почв выделены группы: с околочларковыми концентрациями – Cd (КР=1) и рассеивающиеся элементы – Cu_{1.7}, Co_{1.9}, Pb_{1.9}, Zn_{2.4}, Cr_{3.4}, Ni_{3.6}, Mn_{9.7} (см. табл. 2). Сильное рассеяние большинства ТМ, вероятно, обусловлено их низким содержанием в почвообразующих отложениях.

По сравнению с фоновой территорией почвы города характеризовались повышенными концентрациями ТМ. Валовая концентрация Cu варьировала в диапазоне от 10 до 72 мг/кг при среднем значении 25.1 мг/кг, что в 2.8 раза выше фонового содержания. Диапазон колебаний валовых концентраций Pb в почве Благовещенска варьировал от 19.5 до 311 мг/кг, превышая фоновый показатель (8.9 мг/кг) в 2.2-35 раз.

Средние значения валовых содержаний Zn, Mn, Cr, Ni, Co, Cd превышали фон в 3.3, 7.8, 2.3, 1.6, 1.5, 5.1 раза соответственно. Таким образом, в почвах города накапливаются 4 элемента, для которых КК > 3.0: Mn_{7.8}, Pb₇, Cd_{5.8}, Zn_{3.3} (см. табл. 2). Аккумуляция Cu, Ni, Co, Cr не столь велика (КК 1.5-2.8). Высокие концентрации ТМ в городских почвах – результат их долгосрочного накопления, а специфика источников выбросов и состав поступающих в окружающую среду загрязняющих веществ обусловили дифференциацию уровней накопления ТМ в поверхностных слоях городских почв.

Таблица 2. Значения коэффициентов опасности (К_о) и концентрации валовых форм металлов в почвах Благовещенска и фоновой территории

Элемент	Валовое содержание, мг/кг							ПДК, ОДК	К _о	
	Город				Фон				min/max	m
	min/max	См	КР	КК	Сф	КР	КК			
Cu	10/72	25.1	-	2.8	9	1.7	-	132	0.08/0.55	0.18
Zn	22/739	102	-	3.3	31	2.4	-	220	0.1/3.36	0.43
Mn	151/1647	618	-	7.8	79	9.7	-	1500	0.10/1.10	0.44
Cr	14/200	61.0	-	2.3	27	3.4	-	90	0.16/2.22	0.65
Ni	6/62	22.6	-	1.6	14	3.6	-	80	0.075/0.78	0.28
Co	4/47	11.8	-	1.5	8	1.9	-	-		
Pb	19.5/311	62.3	-	7	8.9	1.9	-	130	0.15/2.40	0.47
Cd	0.02/7.8	0.52	-	5.8	0.089	1	-	2	0.01/3.9	0.26

Примечания. m – среднее, min – минимум, max – максимум.

В городских почвах наибольшей вариабельностью отличаются Zn ($C_v=129\%$), Pb ($C_v=92\%$), Cd ($C_v=259\%$), т.е. элементы с высокими КК.

Исходя из представлений о том, что при нормальном распределении показатели среднего значения и медианы примерно равны, полученные данные свидетельствуют о неравномерном распределении изученных элементов на территории города (табл. 3).

Практически для всех элементов среднее арифметическое значение концентраций выше, чем медиана. Наибольшую асимметрию имеют массивы данных по содержанию кадмия и цинка, что объясняется наличием отдельных проб с высоким содержанием кадмия и цинка (7.8 и 739 мг/кг соответственно).

Кроме того, причиной отмеченного неравномерного распределения изученных элементов

Таблица 3. Числовые характеристики валовых содержаний ТМ в почвах Благовещенска (мг/кг)

Элемент	min/max	См	Стандартное отклонение	Медиана	Асимметрия	КР	КК
Промышленная зона							
Cu	10/72	26.5	17.2	22.0	2.40	-	2.9
Zn	32/739	153	210	96.5	2.93	-	4.9
Mn	204/1647	703	470	526	1.19	-	8.9
Cr	27/117	61.6	25.4	58.0	1.00	-	2.3
Ni	6/62	27.4	16.3	24.5	0.97	-	2
Co	4/47	14.6	12.6	10.0	2.20	-	1.8
Pb	22.4/311	86.0	91.4	43.6	2.11	-	9.7
Cd	0.06/7.80	0.87	2.10	0.22	3.49	-	9.8
Транспортная зона							
Cu	18/34	26.4	6.95	25.0	0.057	-	2.9
Zn	22/110	63.0	31.5	60.0	0.46	-	2
Mn	151/843	433	259	369	1.06	-	5.5
Cr	19/167	55.4	62.7	29.0	2.19	-	2.1
Ni	10/31	16.8	8.58	16.0	1.47	-	1.2
Co	5/19	11.0	5.61	10.0	0.61	-	1.4
Pb	19.5/125	57.8	41.1	49.1	1.37	-	6.5
Cd	0.09/2.00	0.50	0.84	0.13	2.22	-	5.6
Селитебная зона							
Cu	15/35	22.2	5.96	21.0	1.01	-	2.5
Zn	42/191	73.1	43.6	58.5	2.64	-	2.4
Mn	425/871	588	140	551	0.85	-	7.4
Cr	14/200	67.6	51.1	49.5	2.19	-	2.5
Ni	12/35	21.8	7.83	20.0	0.53	-	1.6
Co	4/17	9.8	4.05	10.0	0.48	-	1.2
Pb	19.6/79.9	43.0	19.8	38.9	0.68	-	4.8
Cd	<0.04/0.6	0.19	0.14	0.15	1.31	-	2.1
Рекреационная зона							
Cu	22/36	28.3	7.09	27	0.82	-	3.1
Zn	75/118	97.7	21.6	100	-0.48	-	3.2
Mn	348/1248	738	462	617	1.10	-	9.3
Cr	42/50	46.3	4.04	47	-0.72	-	1.7
Ni	8/34	18.7	13.6	14	1.36	-	1.3
Co	4/14	10.3	5.51	13	-1.67	-	1.3
Pb	27.3/99.4	58.4	37.1	48.5	1.12	-	6.6
Cd	<0.04/0.44	0.23	0.21	0.23	0.00	-	2.6

в почвах Благовещенска, возможно, могут быть и достаточно часто встречающиеся образцы с низкими содержаниями ТМ, характерными, как правило, для искусственных почвогрунтов легкого гранулометрического состава.

Функциональные зоны города слабо различаются уровнями содержания ТМ в почвах (см. табл. 3). Особенность Благовещенска – вкрапленная локализация предприятий промышленности и топливно-энергетического комплекса по территории города. Поэтому разделить воздействие промышленных выбросов от выбросов энергетических предприятий, малых топливных установок, частного печного отопления, автотранспорта трудно из-за наложения сфер их влияния. Кроме того, наличие крупных рек Амура и Зеи способствует возникновению локальных конвекционных перемещений воздушных масс, влияющих на перераспределение поллютантов.

Наибольшее загрязнение ТМ характерно для почв промышленной зоны – $Cd_{9,8}$, $Pb_{9,7}$, $Mn_{8,9}$, $Zn_{4,9}$, $Cu_{2,9}$. Особенно наглядно это проявилось для кадмия и свинца. В промышленной зоне накопление этих элементов обусловлено их наличием в химическом составе выбросов предприятий разных отраслей. Локализация аномалий ТМ в городских промзонах отмечена во многих работах [6, 30, 35, 38]. Почвы транспортных зон и жилой застройки загрязнены слабее. Так, в урботехноземах и урбаноземах (собственно транспортной зоны аккумулируются $Pb_{6,5}$, $Cd_{5,6}$, $Mn_{5,5}$. Очевидно, что загрязнение придорожных почв связано с воздействием автотранспорта. В селитебной зоне ТМ в почву поступают как при выпадении поллютантов с техногенными выбросами промышленности и автотранспорта, так и при применении различных торфо-компостных смесей при разбивке газонов, поэтому здесь также высоки уровни накопления Mn и Pb .

Высокое содержание ТМ в рекреационных зонах города обусловлено их близким расположением к автодорогам с активным транспортным движением – $Mn_{9,3}$, $Pb_{6,6}$, $Zn_{3,2}$, $Cu_{3,1}$.

В Благовещенске преобладают почвы с концентрацией ТМ ниже ПДК⁵ и ОДК⁶ (см. табл. 2). В гумусово-аккумулятивном горизонте почв города средние значения $K_o < 1$. Наименьший коэффициент опасности среди ТМ зафиксирован для меди.

Превышение ПДК для почв по Mn отмечено только в урботехноземах (т. 22 в районе судостроительного завода), где концентрация Mn составила 1647 мг/кг (ПДК 1500 мг/кг). В этой же

точке содержание Cd превышает ОДК в 3.9 раза, что, вероятно, обусловлено техногенным загрязнением почвы, связанным с выбросами завода "Амурский металлист". В 1.2-2.2 раза превышена ОДК для почв по Cr в урбаноземах Благовещенска (т. 2, 15, 18, 24), что отражает специфику сталеплавильного производства (т. 2), а также мелких предприятий по деревообработке и производству мебели (т. 24 – район спичфабрики), где Cr выщелачивается из красок и пропитанной ими древесины [2]. Максимальное содержание Cr (200 мг/кг) отмечено в урбаноземах т. 18, что, возможно, обусловлено влиянием полигона бытовых отходов (по розе ветров). Максимальная концентрация Zn зафиксирована в индустриоземах т. 10 (Белогорье, силикатный завод) – 739 мг/кг, что превышает ОДК для почв в 3.4 раза. Повышенные концентрации Zn отмечены в урботехноземах промышленной зоны (до 165 мг/кг). Источниками накопления Zn на данных территориях могут быть промышленные выбросы, коррозия металлических частей зданий и автотранспортное загрязнение. На урботехноземах набережной р. Амура (т. 3), где содержание Zn в почве составляет 191 мг/кг, оказывают влияние находящийся рядом электроаппаратный завод и пылевые потоки с Северо-Западного Китая [14].

Максимальные валовые концентрации Pb зафиксированы в индустриоземах т. 24 – 177 мг/кг и т. 10 – 311 мг/кг с превышением ОДК в 1.3 и 2.4 раза соответственно. Концентрация Pb в гумусовых горизонтах связана с образованием стабильных Pb^{2+} -органических комплексов [1, 34]. В Благовещенске Pb попадает в почву при сгорании жидкого топлива, разрушении аккумуляторных пластин и частично с отходами предприятий деревообрабатывающей промышленности (т. 24) (Pb_3O_4 – свинцовый сурик, пигмент красок) [2]. Концентрации Cu и Ni в урбаноземах Благовещенска не превышают ОДК для почв.

По суммарному показателю загрязнения Zc установлено, что 33% исследованных площадок Благовещенска имеют низкий, не опасный уровень загрязнения (табл. 4). Средний, умеренно опасный уровень загрязнения ($Zc = 16-32$) выявлен на 49% пробных площадок, расположенных в промышленной и транспортной зонах, а также в Первомайском парке, где источниками загрязнения почв ТМ являются нефтебаза и котельные. Опасный уровень загрязнения почв ТМ ($Zc = 32-128$) отмечен в 6 точках, наибольший уровень которого достигает в точках 24 ($Zc = 51$), 10 ($Zc = 61$), 22 ($Zc = 123$).

Таким образом, уровень загрязнения исследованных почв Благовещенска невысок, $Zc < 32$ имеют 82% площади, высокое содержание ТМ выяв-

⁵ ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. М.: Изд-во стандартов, 2006. 7 с.

⁶ ГН 2.1.7.2042-06. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. М.: Изд-во стандартов, 2006. 27 с.

Таблица 4. Суммарные показатели загрязнения почв на территории Благовещенка

Zc				Zct				Zct(r)			
min/max		m		min/max		m		min/max		m	
4.4/123.2		25.1		6.2/162.9		30.6		5.3/53.6		19.4	
Шкала оценки загрязнения почв				Шкала оценки загрязнения почв				Шкала оценки загрязнения почв			
<16	16-32	32-128	>128	<16	16-32	32-128	>128	<16	16-32	32-128	>128
33.3%	48.5%	18.2%	0%	18.2%	54.6%	24.2%	3%	39.4%	54.5%	6.1%	0%

Примечания. m – среднее, min – минимум, max – максимум.

лено только на отдельных участках. Несколько повышенные концентрации ТМ приурочены в основном к промышленным зонам, а высокими уровнями загрязнения характеризуются локальные места.

Расчеты суммарного показателя загрязнения верхнего слоя почвенного покрова Благовещенска с учетом коэффициента токсичности ТМ свидетельствуют о том, что почвы города в основном относятся к категории “умеренно опасные” – 54.6% (см. табл. 4). Повышение суммарного коэффициента обусловлено тем, что 5 элементов из 8 изучаемых относятся к I классу опасности.

Значения показателя суммарной техногенной загрязненности почв Zct(r) – промежуточные между значениями показателей Zct и Zc (см. табл. 4). Уменьшение Zct(r) происходит за счет математического нивелирования наиболее высоких величин Kc Cd, Pb и Zn.

Согласно комплексному показателю суммарного загрязнения, учитывающего среднее геометрическое коэффициентов Kc и токсичность тяжелых металлов, только 6.1% почв города относятся к категории опасных, остальные почвы – к категории умеренно опасных и неопасных (см. табл. 4). В опасные попадают почвы в окрестностях спич-фабрики, Белогорья и судостроительного завода, т.е. в них происходит накопление химических веществ антропогенного происхождения в количествах, представляющих опасность для живых организмов. Опасная ситуация создается тогда, когда химические вещества в почве накапливаются в составе подвижных соединений, которые могут переходить в состав атмосферы или гидросферы, а затем поступать в живые организмы или непосредственно усваиваться растениями на месте загрязнения. Поэтому информативным показателем загрязнения почв ТМ являются содержание подвижных соединений ТМ в почвах и доля подвижных форм от валового содержания. В табл. 5 приведены данные по концентрации подвижных форм металлов в почвах Благовещенска.

Водорастворимая фракция ТМ считается более агрессивной, характеризующей степень под-

вижности элементов в почве, их миграционную активность в ионной форме и часто используется для оценки возможных масштабов загрязнения гидросферы. На долю этой фракции в урбанизированных Благовещенска приходится от 0 до 5.3 % от валового количества Cu, Zn, Cr, Mn, Ni, Co, Pb и Cd. Доля водорастворимого Pb на площадке около ЗАО “Асфальт” достигает 3.3% от его валового содержания, Cd на набережной р. Амура в жилой зоне – 5.26%. Согласно гигиеническим нормативам⁷, для водорастворимой фракции урбанизированных Благовещенска наблюдается превышение ПДК_в Mn (0.1 мг/дм³) в 2-22 раза практически для всех мест отбора проб (см. табл. 5). Превышение ПДК_в Ni (0.02 мг/дм³) в 1.5-16 раз отмечено на 88 % исследованных площадок, а по Pb и Co – в половине исследованных образцов, отобранных в черте города.

Средние значения содержаний подвижных форм Cu, Zn, Cr, Mn, Ni, Pb и Cd, извлекаемых водной вытяжкой, в верхнем почвенном горизонте превысили фон в 2-10 раз. Исключение составляет Co, содержание которого в фоновой водной вытяжке выше.

Специфически сорбированная фракция ТМ, выделенная экстрагированием ацетатно-аммонийным буфером (рН 4.8), характеризует резервный запас подвижных форм элементов и их биологическую доступность. В эту фракцию входят металлы, специфически сорбированные и бывшие в составе труднорастворимых соединений. Под специфически сорбированными ионами ТМ, входящими в состав твердофазных соединений, понимается вся их совокупность, удерживаемая почвенными компонентами за счет связей, отличных от ионных [11].

В вытяжку ацетатно-аммонийным буфером из почв переходит в среднем в 3-175 раз больше подвижных форм ТМ, чем в водорастворимую фракцию.

⁷ ГН 2.1.5. 1315-03. Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. <http://docs.cntd.ru/document/901862249> (дата обращения 24.06.2019).

Таблица 5. Концентрации подвижных форм металлов в почвах Благовещенска

элемент	Фракция I, мг/кг			Фракция I, % от валового содержания			Фракция II, мг/кг			Фракция II, % от валового содержания		
	Город		Фон	Город		Фон	Город		фон	Город		Фон
	min/max	m	m	min/max	m	m	min/max	m	m	min/max	m	min/max
Cu	<0.01/0.17	0.059	0.03	<0.01/1.13	0.28	0.33	<0.01/0.9	0.38	<0.01	<0.01/7	1.85	<0.01
Zn	0.03/0.3	0.11	0.05	0.02/0.36	0.18	0.16	0.80/390	19.26	0.6	2.5/52.8	11.2	1.9
Mn	0.03/2.22	0.39	0.18	<0.01/0.31	0.06	0.22	8.50/229	43.31	12.5	1.44/15.1	6.9	15.8
Cr	<0.02/0.45	0.06	<0.02	<0.02/1.07	0.14	<0.02	<0.02/1	0.36	<0.02	<0.02/2.73	0.8	<0.02
Ni	<0.02/0.32	0.099	<0.02	<0.02/1.88	0.53	<0.02	<0.02/2.4	0.76	<0.02	<0.02/17.1	3.8	<0.02
Co	<0.02/0.35	0.10	0.22	<0.02/4.29	1.10	2.75	<0.02/2.1	0.32	<0.02	<0.02/19.1	3.2	<0.02
Pb	<0.02/1.4	0.17	<0.02	<0.02/3.31	0.34	<0.02	<0.02/120	5.85	<0.02	<0.02/38.6	5.8	<0.02
Cd	<0.002/0.08	0.0082	<0.002	<0.002/5.26	1.15	<0.002	0.005/1.02	0.078	<0.002	5/42.2	20.6	<0.002

Примечания: m – среднее, min – минимум, max – максимум.

Для гумусовых горизонтов фоновых незагрязненных почв доля подвижных соединений, извлекаемых ацетатно-аммонийным буфером, составляет в среднем (в %) для Cu – <0.01, Zn – 1.9, Mn – 15.8, Cr – <0.02, Ni – <0.02, Co – <0.02, Pb – <0.02, Cd – <0.002. Из табл. 5 видно, что подвижность соединений ТМ в городских почвах в несколько раз выше, особенно сильно это проявляется для кадмия, цинка, свинца. По степени извлечения подвижных форм соединений, относящихся к фракции II, изученные ТМ в почвах Благовещенска составляют следующий ряд: Cd > Zn > Mn > Pb > Ni > Co > Cu > Cr.

Сравнение полученных данных с ПДК подвижных форм ТМ показывает (см. табл. 5), что превышение ПДК зафиксировано для Pb, Mn, Zn, в основном это участки промышленной и транспортной зон. Для Cu, Ni и Cr превышений ПДК не отмечено.

Таким образом, Pb, Mn, Zn либо поступают в почву в виде более подвижных соединений, либо трансформируются в них при загрязнении почв ТМ. Тогда как Cu, Ni и Cr в почвах представлены в основном менее подвижными соединениями.

Опасность загрязнения почв подвижными формами ТМ можно оценить с помощью использования нормативов оценки риска включения ТМ в пищевые цепи [27], соотнося суммы концентраций подвижных фракций элемента (водорастворимой, ацетат-аммонийной), выраженных в % от его валового содержания со шкалой рисков включения ТМ в пищевые цепи. Эти фракции считаются наиболее опасными, поскольку способны быстро переходить в почвенные растворы и включаться в миграцию по пищевым цепям [37]. Шкала рисков включения ТМ в пищевые цепи имеет следующую градацию: риск отсутствует – менее 1%, низкий – 1-10%, средний – 10-30%, высокий – 30-50%, очень высокий риск – более 50% [27].

По сравнению с фоновыми в городских почвах на 21% увеличилась подвижность Cd, на 11% – Zn, на 6% – Pb и на 1-4% – Cu, Co, Cr, Ni. Подвижность Mn уменьшилась на 9% (табл. 6). Наибольшую опасность представляют Cd и Zn, которые, согласно нормативам оценки риска, имеют средний риск включения металла в пищевые цепи. Повышенная мобильность Cd, Zn и Pb может способствовать загрязнению экосистем трансграничной р. Амура за счет поднятия уровня грунтовых вод на территории города.

Таким образом, при оценке опасности загрязнения городских почв необходимо учитывать не только валовые концентрации, но и содержание подвижных форм поллютантов.

Таблица 6. Суммарное содержание подвижных форм тяжелых металлов в фоновых и городских почвах Благовещенска (% от валового содержания)

Почвы	Cu	Zn	Mn	Cr	Ni	Co	Pb	Cd
фоновые	0,3	2	16	0	0	3	0	0
городские	2	11	7	1	4	3	6	21

ВЫВОДЫ

1. Техногенное воздействие на окружающую среду в Благовещенске привело к изменению физико-химических свойств почв: подщелачиванию почвенного покрова, увеличению содержания органического вещества, обменных оснований, подвижных форм биогенных элементов. Валовые содержания изученных ТМ в почвах Благовещенска превышают их концентрации в почвах фоновой территории урочища Мухинка и характеризуются пространственной неоднородностью распределения поллютантов в верхнем слое почв. Наиболее высокие почвенные концентрации ТМ приурочены в основном к промышленным зонам.

2. Уровень загрязнения исследованных почв Благовещенска невысок ($Z_c < 32$), крайне высокое содержание ТМ выявлено только в отдельных точках. Для почв Благовещенска наиболее характерно загрязнение кадмием, цинком, марганцем, свинцом, медью и в меньшей степени – кобальтом, никелем и хромом.

3. В городских почвах по сравнению с фоновой почвой увеличилась подвижность металлов. Наибольшую опасность среди изученных элементов представляют Cd, Pb и Zn, мобильность которых соответствует среднему риску включения в пищевые цепи. Это может привести к загрязнению тяжелыми металлами экосистем трансграничной р. Амура при поднятии уровня грунтовых вод на территории Благовещенска из-за его подтопления водами р. Зеи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Водяницкий Ю.Н.* Методы последовательной экстракции тяжелых металлов из почв – новые подходы и минералогический контроль (аналитический обзор) // Почвоведение. 2006. № 10. С. 1190-1199.
2. *Водяницкий Ю.Н.* Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах. М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2009. 184 с.
3. *Водяницкий Ю.Н.* Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами // Почвоведение. 2010. № 10. С. 1276-1280.
4. *Бородина Н.А.* Техногенное загрязнение тяжелыми металлами урбанизированных почв Амурской области // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2018. №2. С. 43-49.
5. *Григорьев Н.А.* Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.
6. *Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Сорокина О.И., Бажга С.Н.* и др. Эколого-геохимическое состояние почв г. Улан-Батор (Монголия) // Почвоведение. 2011. № 7. С. 771-784.
7. *Кондратьев И.И.* Атмосферный трансграничный перенос загрязняющих веществ из центров эмиссии восточной Азии на юг Дальневосточного региона России // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2008. №1. С. 107-112.
8. *Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Власов Д.В.* Факторы накопления тяжелых металлов и металлоидов на геохимических барьерах в городских почвах // Почвоведение. 2015. № 5. С. 536-553.
9. *Кошелева Н.Е., Дорохова М.Ф., Кузьминская Н.Ю., Рыжов А.В., Касимов Н.С.* Влияние автотранспорта на экологическое состояние почв в Западном административном округе Москвы // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2018. № 2. С. 16-27.
10. *Курганова О.П., Явкина Е.Н., Ситникова Г.В.* Обзор гидрологических особенностей наводнений в Амурской области для выработки комплекса санитарно-противоэпидемических мероприятий по минимизации социальных последствий // Проблемы особо опасных инфекций. 2014. №1. С.29-32.
11. *Ладонин Д.В.* Соединения тяжелых металлов в почвах – проблемы и методы изучения // Почвоведение. 2002. № 6. С. 682-692.
12. *Ладонин Д.В.* Элементы платиновой группы в почвах и уличной пыли Юго-Восточного административного округа г. Москвы // Почвоведение. 2018. № 3. С. 274-283.
13. *Никифорова Е.М., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е.* Многолетняя динамика антропогенной солонцеватости почв ВАО Москвы при использова-

- нии противогололедных реагентов // Почвоведение. 2017. № 1. С. 93-104.
14. Павлова Л.М., Радомская В.И., Юсупов Д.В. Высокотоксичные элементы в снежном покрове на территории г. Благовещенска // Геоэкология. 2015. № 1. С. 27-35.
 15. Павлова Л.М., Радомская В.И., Юсупов Д.В. Высокотоксичные элементы в почвенном покрове на территории г. Благовещенск // Экология и промышленность России. 2015. №5. С. 50-55.
 16. Пляскина О.В., Ладонин Д.В. Загрязнение городских почв тяжелыми металлами // Почвоведение. 2009. № 7. С. 877-885.
 17. Почва, город, экология / Под ред. Г.В. Добровольского. М.: Фонд за экономическую грамотность, 1997. 310 с.
 18. Радомская В.И., Юсупов Д.В., Павлова Л.М. Редкоземельные элементы в атмосферных осадках на территории г. Благовещенска // Геохимия. 2018. № 2. С. 197-206.
 19. Саит Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С. и др. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
 20. Юсупов Д.В., Радомская В.И., Павлова Л.М., Трутнева Н.В., Ильенко С.С. Тяжелые металлы в пылевом аэрозоле Северо-западной промышленной зоны г. Благовещенск (Амурская область) // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. №10. С. 906-910.
 21. Шумилова Л.П. Оценка техногенного загрязнения почв Благовещенска // География и природные ресурсы. 2016. № 2. С. 36-45.
 22. Ajmone-Marsan F., & Biasioli M. Trace Elements in Soils of Urban Areas // Water Air Soil Pollut. 2010. 213:121-143.
 23. Barnes R.M. Childhood soil ingestion: How much dirt do kids eat? // Anal. Chem. 1990. V.62. № 19. P. 1023A-1033A.
 24. Bellinger D., Leviton A., Slowman J. Antecedents and correlates of improved cognitive performance in children exposed in utero to low levels of lead // Environmental Health Perspectives. 1990. V. 89. P. 5-11.
 25. Brubaker C.J., Elgovan I.R., Lanphear B.P., Adler C.M., Dietrich K.N., Cecil K.M. Childhood lead exposure decreases adult gray matter volume // Neurotoxicology and Teratology. 2007. V. 29. №3. P. 398.
 26. Clausing P., Brunekreef B., & van Wijnen J.H. (1987). A method for estimating soil ingestion by children // International Archives of Occupational and Environmental Health. 1987. V. 59. №1. P. 73-82.
 27. Ghrefat H.A., Yusuf N., Jamarh A., Nazzal J. Fractionation and risk assessment of heavy metals in soil samples collected along Zerqa River, Jordan // Environmental Earth Sciences. 2012. V. 66. P. 199-208.
 28. Guo P., Xie Z., Li J., Kang C., Liu J. Relationships between fractionations of Pb, Cd, Cu, Zn and Ni and soil properties in urban soils of Changchun // China Chinese Geographical Science. 2005. V. 15. № 2. P. 179-185.
 29. Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update // Chemical Geology. 2008. V. 253. № 3-4. P. 205-221.
 30. Linde M, Bengtsson H, Öborn I. Concentrations and pools of heavy metals in urban soils in Stockholm, Sweden // Water, Air, Soil Pollut (Focus) 2001. №1. P. 83-101.
 31. Linde M., Öborn I., & Gustafsson J.P. Effects of Changed Soil Conditions on the Mobility of Trace Metals in Moderately Contaminated Urban Soils // Water, Air, Soil Pollut. 2007. V.183. P. 69-83.
 32. Mielke H.W., Gonzales C.R., Smith M.K., & Mielke P.W. The urban environment and children's health: soils as an integrator of lead, zinc and cadmium in New Orleans, Louisiana U.S.A. // Environmental Research. 1999. V.81. №2. P. 117-129.
 33. Miguel E. de, Llamas J.F., Chacón E., Berg, T., Larssen S., Røyset O., & Vadset M. Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead // Atmospheric Environment. 1997. V. 31. №17. P. 2733-2740.
 34. Morin G., Ostergren J.D., Juillot F., Ildefonse P., Calas G., Brown J.E. XAFS determination of the chemical form of lead in smelter contaminated soils and mine tailings: Importance of adsorption process // American Mineralogist. 1999. V. 84. P. 420-434.
 35. Pichtel J., Sawyerr H.T., Czarnowska K. Spatial and temporal distribution of metals in soils in Warsaw, Poland. // Environ Pollut. 1997. V. 98. P. 169-174.
 36. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust / Treatise on geochemistry. V. 3. Elsevier Science, 2003. 659 p.
 37. Singh K.P., Mohan D., Singh V.K., & Malik A. Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti river sediments—a tributary of the Ganges, India // J. of Hydrology. 2005. V. 312. №1-4. P. 14-27.
 38. Thuy H.T.T., Tobschall H.J., An P.V. Distribution of heavy metals in urban soils—a case study of Danang-Hoian Area (Vietnam) // Environ Geol. 2000. V.39. P. 603-610.

REFERENCES

1. Vodyanitskii, Yu.N. *Metody posledovatel'noi ekstraktsii tyazhelykh metallov iz pochv - novye podkhody i mineralogicheskii kontrol' (analiticheskii obzor)* [Methods of sequential extraction of heavy metals from soils: new approaches and the mineralogical control (a review)]. *Pochvovedenie*, 2006, no. 10, pp. 1190-1199. (in Russian)

2. Vodyanitskii, Yu.N. *Tyazhelye i sverkhlyazhelye metally i metalloidy v zagryaznennykh pochvakh* [Heavy and super heavy metals and metalloids in polluted soils]. Moscow, Dokuchaev Soil Science, 2009, 184 p. (in Russian)
3. Vodyanitskii, Yu.N. *Formuly otsenki summarnogo zagryazneniya pochv tyazhelymi metallami i metalloidami* [Equations for assessing the total contamination of soils with heavy metals and metalloids]. *Pochvovedenie*, 2010, no. 10, pp. 1276-1280. (in Russian).
4. Borodina, N.A. *Tekhnogennoe zagryaznenie tyazhelymi metallami urbanizirovannykh pochv Amurskoi oblasti* [Technogenic pollution of urbanized soils of the Amur region by heavy metals]. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk*, 2018, no. 2, pp. 43-49. (in Russian).
5. Grigor'ev, N.A. *Raspredelenie khimicheskikh elementov v verkhnei chasti kontinental'noi kory* [The distribution of chemical elements in the upper part of continental crust], Yekaterinburg, Ural Branch of RAS, 2009, 382 p. (in Russian)
6. Kasimov, N.S., Kosheleva, N.E., Sorokina, O.I., Bazha, S.N., Gunin, P.D., Enh-Amgalan, S. *Ekologo-geokhimicheskoe sostoyanie pochv g. Ulan-Bator (Mongoliya)* [Ecological and geochemical state of soils in Ulaan-Baatar (Mongolia)]. *Pochvovedenie*, 2011, no. 7, pp. 771-784. (in Russian).
7. Kondrat'ev, I.I. *Atmosfernyi transgranichnyi perenos zagryaznyayushchikh veshchestv iz tsentrov emissii vostochnoi Azii na yug Dal'nevostochnogo regiona Rossii* [Atmospheric transboundary transfer of pollutants from the East Asia emission centers to the southern Far-Eastern region of Russia]. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk*, 2008, no.1, pp. 107-112. (in Russian).
8. Kosheleva, N.E., Kasimov, N.S., Vlasov, D.V. *Faktory nakopleniya tyazhelykh metallov i metalloidov na geokhimicheskikh bar'erakh v gorodskikh pochvakh* [Factors of the accumulation of heavy metals and metalloids at geochemical barriers in urban soils]. *Pochvovedenie*, 2015, no. 5, pp. 536-553. (in Russian).
9. Kosheleva, N.E., Dorokhova, M.F., Kuz'minskaya, N.Yu., Ryzhov, A.V., Kasimov, N.S. *Vliyanie avtotransporta na ekologicheskoe sostoyanie pochv v Zapadnom administrativnom okruge Moskvy* [Impact of motor vehicles on the ecological state of soils in the western district of Moscow]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*, 2018, no 2, pp. 16-27. (in Russian).
10. Kurganova, O.P., Yavkina, E.N., Sitnikova, G.V. *Obzor gidrologicheskikh osobennostei navodnenii v Amurskoi oblasti dlya vyrabotki kompleksa sanitarno-protivoepidemicheskikh meropriyatii po minimizatsii sotsial'nykh posledstviy* [Review of hydrological peculiarities of floods in the Amur region with the purpose to establish a set of sanitary measures for minimization of social consequences]. *Problemy osobo opasnykh infektsii*, 2014, no. 1, pp. 29-32. (in Russian).
11. Ladonin, D.V. *Soedineniya tyazhelykh metallov v pochvakh – problemy i metody izucheniya* [Heavy metal compounds in soils: problems and methods of study]. *Pochvovedenie*, 2002, no. 6, pp. 682-692. (in Russian).
12. Ladonin, D.V. *Elementy platinovoi gruppy v pochvakh i ulichnoi pyli Yugo-Vostochnogo administrativnogo okruga g. Moskvy* [Platinum-group elements in soils and street dust of the South-eastern administrative district of Moscow]. *Pochvovedenie*, 2018, no. 3, pp. 274-283. (in Russian).
13. Nikiforova, E.M., Kasimov, N.S., Kosheleva, N.E. *Mnogoletnyaya dinamika antropogennoi solontsevatsii pochv VAO Moskvy pri ispol'zovanii protivogoleednykh reagentov* [Long-term dynamics of anthropogenic solonchicity in soils of the Eastern okrug of Moscow under the impact of deicing salts]. *Pochvovedenie*, 2017, no. 1, pp. 93-104. (in Russian).
14. Pavlova, L.M., Radomskaya, V.I., Yusupov, D.V. *Vysokotoksichnye elementy v snezhnom pokrove na territorii g. Blagoveshchenska* [High-toxic elements in snow cover in the Blagoveshchensk territory]. *Geokologiya*, 2015, no. 1, pp. 27-35. (in Russian).
15. Pavlova, L.M., Radomskaya, V.I., Yusupov, D.V. *Vysokotoksichnye elementy v pochvennom pokrove na territorii g. Blagoveshchensk* [High-toxic elements in the soil cover in the territory of town of Blagoveshchensk]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2015, no. 5, pp. 50-55. (in Russian).
16. Plyaskina, O.V., Ladonin, D.V. *Zagryaznenie gorodskikh pochv tyazhelymi metallami* [Heavy metal pollution of urban soils]. *Pochvovedenie*, 2009, no. 7, pp. 877-885. (in Russian).
17. *Pochva, gorod, ekologiya* [Soil, city, ecology]. Dobrovol'skii, G.V., Ed., Moscow, Economic Literacy Foundation Publ., 1997. 310 p.
18. Radomskaya, V.I., Yusupov, D.V., Pavlova, L.M. *Redkozemel'nye elementy v atmosfernykh osadkakh na territorii g. Blagoveshchenska* [Rare-earth elements in the atmospheric precipitation of the Blagoveshchensk city]. *Geokhimiya*, 2018, no. 2, pp. 197-206. (in Russian).
19. Saet, Yu.E., Revich, B.A., Yanin, E.P., Smirnova, R.S., Basharkevich, I.L., Onishchenko, T.L., Pavlova, L.N., Trefilova, N.Ya., Achkasov, A.I., Sarkisyan, S.Sh. *Geokhimiya okruzhayushchei sredy* [Environmental geochemistry]. Moscow, Nedra, 1990. 335 p. (in Russian).
20. Yusupov, D.V., Radomskaya, V.I., Pavlova, L.M., Trutneva, N.V., Il'enok, S.S. *Tyazhelye metally v pyl'evom aerozole Severo-zapadnoi promyshlennoi zony g. Blagoveshchensk (Amurskaya oblast')* [Heavy metals in dust aerosols of the northwest industrial area of Blagoveshchensk (Amur region)]. *Optika atmosfery i okeana*, 2014, no. 10, pp. 906-910. (in Russian).

21. Shumilova, L.P. *Otsenka tekhnogenogo zagryazneniya pochv Blagoveshchenska* [Assessing technogenic pollution of soils in Blagoveshchensk]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2016, no. 2, pp. 36–45. (in Russian).
22. Ajmone-Marsan, F., Biasioli, M. Trace Elements in Soils of Urban Areas. *Water Air Soil Pollut.*, 2010, no. 213, pp. 121–143.
23. Barnes, R.M. Childhood soil ingestion: How much dirt do kids eat? *Anal. Chem.*, 1990, vol. 62, no. 19, pp. 1023A–1033A.
24. Bellinger, D., Leviton, A., Slowman, J. Antecedents and correlates of improved cognitive performance in children exposed in utero to low levels of lead. *Environmental Health Perspectives*, 1990, vol. 89, pp. 5–11.
25. Brubaker, C.J., Elgovan, I.R., Lanphear, B.P., Adler, C.M., Dietrich, K.N., Cecil, K.M. Childhood lead exposure decreases adult gray matter volume. *Neurotoxicology and Teratology*. 2007, vol. 29, no. 3, pp. 398.
26. Clausing, P., Brunekreef, B., van Wijnen, J.H. A method for estimating soil ingestion by children. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 1987, vol. 59, no. 1, pp. 73–82.
27. Ghrefat, H.A., Yusuf, N., Jamarh, A., Nazzal, J. Fractionation and risk assessment of heavy metals in soil samples collected along Zerqa River, Jordan. *Environmental Earth Sciences*, 2012, vol. 66, pp. 199–208.
28. Guo, P., Xie, Z., Li, J., Kang, C., Liu, J. Relationships between fractionations of Pb, Cd, Cu, Zn and Ni and soil properties in urban soils of Changchun, China. *Chinese Geographical Science*, 2005, vol. 15, no. 2, pp. 179–185.
29. Hu, Z., Gao, S. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update. *Chemical Geology*, 2008, vol. 253, no. 3–4, pp. 205–221.
30. Linde, M., Bengtsson, H., Öborn, I. Concentrations and pools of heavy metals in urban soils in Stockholm, Sweden. *Water, Air, Soil Pollut (Focus)*, 2001, no. 1, pp. 83–101.
31. Linde, M., Öborn, I., Gustafsson, J.P. Effects of Changed Soil Conditions on the Mobility of Trace Metals in Moderately Contaminated Urban Soils. *Water, Air, Soil Pollut.*, 2007, vol. 183, pp. 69–83.
32. Mielke, H.W., Gonzales, C.R., Smith, M.K., Mielke, P.W. The urban environment and children's health: soils as an integrator of lead, zinc and cadmium in New Orleans, Louisiana U.S.A. *Environmental Research*, 1999, vol. 81, no. 2, pp. 117–129.
33. Miguel, E. de, Llamas, J.F., Chacón, E., Berg, T., Larssen, S., Røyset, O., Vadset, M. Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: un-leaded petrol and urban lead. *Atmospheric Environment*, 1997, vol. 31, no. 17, pp. 2733–2740.
34. Morin, G., Ostergren, J.D., Juillot, F., Ildefonse, P., Calas, G., Brown, J.E. XAFS determination of the chemical form of lead in smelter contaminated soils and mine tailings: Importance of adsorption process. *American Mineralogist*, 1999, vol. 84, pp. 420–434.
35. Pichtel, J., Sawyerr, H.T., Czarnowska, K. Spatial and temporal distribution of metals in soils in Warsaw, Poland. *Environ Pollut.*, 1997, vol. 98, pp. 169–174.
36. Rudnick, R.L., Gao, S. Composition of the continental crust. *Treatise on geochemistry*, Vol. 3. Elsevier Science, 2003. 659 p.
37. Singh, K.P., Mohan, D., Singh, V.K., Malik, A. Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti river sediments—a tributary of the Ganges, India. *Journal of Hydrology*, 2005, vol. 312, no. 1–4, pp. 14–27.
38. Thuy, H.T.T., Tobschall, H.J., An, P.V. Distribution of heavy metals in urban soils—a case study of Danang-Hoian Area (Vietnam). *Environ Geol.*, 2000, vol. 39, pp. 603–610.

ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC CONTAMINATION IN AN URBAN TERRITORY BY THE EXAMPLE OF BLAGOVESHCHENSK CITY

© 2019 V. I. Radomskaya^{1,*}, N. A. Borodina^{1,**}

¹*Institute of Geology and Nature Management, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Relochnyi per. 1, Blagoveshchensk, 675000 Russia*

^{*}*E-mail: radomskaya@ascnet.ru,*

^{**}*E-mail: borodina53@yandex.ru*

The distribution of heavy metals (HM) was analyzed in soils of Blagoveshchensk. The main physicochemical features (pH, the content of organic substance, mobile forms of phosphorus and potassium, the exchangeable cations of calcium and magnesium, as well as the total content of Cu, Cr, Ni, Co, Pb, Mn, Cd, Zn) were studied in soil samples. The anthropogenic influence on the urban environment transforms the physicochemical properties of soils: alkalizes the soil cover, increases the organic matter content, exchangeable bases, and mobile forms of biogenic elements. The total content of studied HM in the soils of Blagoveshchensk exceeds their concentrations in soils of the Mukhinka background territory and shows the spatial heterogeneity of pollutants' distribution in the upper soil layer. As proceeds from the comparison of the studied elements' concentrations with their MPC/APC, the most polluted territories are confined to industrial zones. Four elements, i.e., Mn, Pb, Cd and Zn, are accumulated in urban soils. However, Cu, Ni, Co, Cr accumulation is not so important. The calculation results of total contamination index in the upper soil cover layer in Blagoveshchensk taking into account the HM toxicity coefficient prove that Blagoveshchensk soils are mainly classified as moderately hazardous and nonhazardous.

The evidence on the total content of HM do not allow making conclusion about their geochemical behavior in soils and about possible transition to neighbor environment. That is why the most mobile and easily mobilized forms of heavy metals, i.e., water-soluble and specifically adsorbed forms, were extracted using the method of successive extractions. The mobility of metals was established to be higher in the urban soils as compared to the background soils. Among the studied elements, Cd, Pb and Zn proved to be the most hazardous, with their mobility being close to the average risk of being included in the nutrition chains. This may lead to the contamination of Amur cross-boundary river ecosystems with heavy metals in case the groundwater level rises in the Blagoveshchensk territory due to its waterlogging by the Zeya River water.

Keywords: *urban territory, heavy metals, total soil contamination, concentration coefficient, mobile forms.*

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019679-93>