

УДК 631.48

Е.А. ЖАРИКОВА

## Слабоизученные потенциально опасные химические элементы в почвах урбанизированных территорий юга Приморья

*Рассмотрено содержание и профильное распределение Rb, Sr, Zr, Nb, La, Y, Sc в почвах Владивостока и Уссурийска. Содержание большинства исследованных тяжелых металлов в городских почвах превышает их содержание в почвах заповедников Приморья и кларк в почвах. Выявлены повышенные, по сравнению с почвообразующей породой, концентрации стронция, скандия и циркония (в Уссурийске) в верхних горизонтах. Содержание скандия и лантана превышает кларки литосферы, почв мира и почв городов. Городские почвы являются источником вторичного загрязнения сопредельных сред.*

*Ключевые слова: редкие тяжелые металлы, кларк, урбаноземы.*

**Poorly studied potentially dangerous elements in soils of urban areas in the South of Primorye.**  
E.A. ZHARIKOVA (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok).

*The content and vertical distribution of Rb, Sr, Zr, Nb, La, Y, Sc in the soils of Vladivostok and Ussuriysk are reviewed. The quantity of the majority of the studied heavy metals in urban soils exceeds their content in the soils of Primorye reserves and clarks in soils. The elevated concentrations (compared to a soil-forming material) of strontium, scandium and zirconium (in Ussuriysk) were revealed in the surface horizons. The content of Sc and La exceeds the clarks of the lithosphere, the soils of the world and the soils of cities. Urban soils are sources of secondary pollution of the adjoining environments.*

*Key words: rare heavy metals, clark, urban soils.*

Выявлению и нормированию содержания в почвах нескольких «традиционных» элементов-загрязнителей (ртути, цинка, меди, никеля, хрома, свинца и др.) посвящены многочисленные публикации, но большинству тяжелых металлов (ТМ) уделяется мало внимания, несмотря на то что они могут представлять потенциальную угрозу для экосистем и здоровья человека. Рубидий, стронций, цирконий, ниобий, лантан, иттрий, скандий относятся к литофильным элементам, слабо изученным биологически и экогеохимически [8, 9]. Они очень широко используются при производстве сталей и сплавов (в качестве легирующих добавок), каталитических нейтрализаторов автомобильных выхлопных газов, высокотемпературных топливных элементов, а также содержатся в виде примесей в сельскохозяйственных удобрениях (преимущественно фосфорных), строительных материалах (цемент, шпатлевка, стекло), керамике и т.д. [20]. Поступая в окружающую среду из антропогенных источников, эти элементы становятся биологически доступными,

---

ЖАРИКОВА Елена Анатольевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник (Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток).  
E-mail: ejarikova@mail.ru

Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-05-00086-А).

что вызывает озабоченность, поскольку они могут нарушить балансовое равновесие био-геохимического цикла и оказать неблагоприятное воздействие на целостность почвенной и водных экосистем [17, 18, 27]. Использование лантанидов в земледелии способствует усилению биологической активности почв, но повышенное содержание лантана в почвах вызывает ингибирование роста корней культурных растений [3]. Интенсивное использование минеральных удобрений в Китае привело к значительному увеличению содержания тяжелых и редких металлов в почве, воде и продуктах питания, что считается потенциальной экологической проблемой.

Общепринятого мнения о степени токсичности этих элементов не существует, хотя имеются сведения о том, что они могут представлять собой угрозу для здоровья человека в случае как повышенного, так и пониженного геохимического фона [24, 25]. Высокое содержание в почве стронция способствует риску развития рака желудка человека. Очаги бешенства животных приурочены к районам с низким валовым содержанием в почвах циркония [21]. В Китае в регионах с высоким содержанием редкоземельных металлов, в частности иттрия, отмечается снижение коэффициента интеллектуальности у детей [9]. У лабораторных мышей, помещенных в условия с повышенным содержанием редкоземельных элементов (РЗЭ) из угольной пыли, обнаружены изменения в составе ДНК и крови и выявлено поражение печени [19].

РЗЭ (La, Y, Sc и др.) могут прямо или косвенно воздействовать на биохимические и физиологические процессы, поэтому в последнее время они широко используются в мире в качестве кормовых добавок и стимуляторов роста при выращивании птицы и свиней. Несмотря на то что большая их часть, поступившая с пищей, выводится, в небольших количествах они могут проникать в кровеносные сосуды и, следовательно, в различные органы человека. Установлено, что заметное повышение содержания редких элементов в крови и волосах взрослого населения и детей может являться причиной различных заболеваний [25].

Исследования, проведенные сотрудниками Томского политехнического университета, показывали, что минеральный состав зольного остатка организма человека напрямую связан с ландшафтно-геохимической спецификой территории проживания и факторами техногенеза. Было высказано предположение, что повышенное содержание Sc, Rb в организме людей в Ростове-на-Дону связано с использованием углей, обогащенных этими элементами, а высокое содержание Sr, Y и Zr в организме жителей Новокузнецка и Zr, Nb, Rb, Sr – Екатеринбурга и Норильска отражает состав среды обитания (влияние, с одной стороны, выбросов промышленных предприятий, а с другой – состава используемых в металлургическом производстве руд). Таким образом, вследствие наложения природных и техногенных факторов формируется множество сложных ассоциаций элементов в организме человека, изменяются его функциональные особенности, происходит истощение адаптационных резервов, вызванных интенсивным и длительным влиянием комплекса неблагоприятных экологических факторов [10, 11].

Высокая производственно-бытовая нагрузка на окружающую среду в городах, где сосредоточено большинство населения, способствует загрязнению всех компонентов природы в черте города, при этом главным аккумулятором большинства поллютантов являются почвы. Они благодаря своей способности депонировать и длительное время сохранять привнесенные вещества определяют биогеохимическую ситуацию в городах. Необходимо также учитывать и то обстоятельство, что урбанизированные техногенные ландшафты являются относительно «молодыми», поэтому адаптационные механизмы у живых организмов на данных территориях, в том числе у людей, довольно слабы. Доказано, что возрастание в городах пылевой нагрузки многократно способствует увеличению распространения бронхиальной астмы, конъюнктивита и других заболеваний, а риски для здоровья населения городов от систематического поступления РЗЭ через кожные покровы и систему дыхания исследованы недостаточно [4, 24]. Дети в возрасте от 1 года до 6 лет, относящиеся к физиологически наиболее уязвимой группе населения, способны орально поглощать

внутри до 100 мг почвы в сутки, поэтому токсикологические риски непосредственного попадания в организм различных поллютантов для них особенно высоки [17, 21].

Исследования атмосферных взвесей над дальневосточными городами выявило наличие большого количества нано- и микрочастиц, обладающих повышенной реакционной активностью, в том числе частиц различных металлов [5]. Поэтому изучение содержания и распределения РЗЭ и других слабоизученных тяжелых металлов в городских почвах, где они аккумулируются, представляет особый интерес.

Содержание ТМ в почвах зависит от состава материнских пород, особенностей процессов выветривания и почвообразования, содержания органического вещества и глинистых минералов, гранулометрического состава, кислотнo-щелочных условий в почве. Высокая сорбционная способность почв и низкая подвижность в них этих элементов позволяют им накапливаться в случае антропогенного привнесения и служить индикатором загрязнения окружающей среды [3].

Сведения о содержании и распределении вышеупомянутых тяжелых металлов в почвах Приморья фрагментарны и касаются только заповедных территорий [26], информация о содержании скандия, ниобия, цезия и лантана в почвах отсутствует. Цель работы – получение новых данных о некоторых слабоизученных потенциально опасных химических элементах в почвах урбанизированных территорий юга Приморья. Были поставлены следующие задачи: определить содержание и особенности распределения Rb, Sr, Zr, Nb, La, Y, Sc в почвах различных функциональных зон Владивостока и Уссурийска, выявить отличительные черты исследованных городских почв по отношению к почвам других населенных пунктов и мира.

### **Объекты и методы исследования**

Город Владивосток (603 тыс. жителей, населенный пункт регионального значения) расположен в южной части п-ова Муравьев-Амурский, имеющей довольно сложный рельеф: преобладает мелкосопочник с округлыми вершинами и пологими склонами. Территория сложена вулканогенными, вулканогенно-осадочными и осадочными породами, поэтому почвообразующей породой выступает преимущественно грубообломочный элювий плотных пород с небольшим количеством мелкозема.

Город Уссурийск (194 тыс. жителей, населенный пункт местного значения) расположен в юго-восточной части Раздольно-Ханкайской низменности, в месте слияния рек Раздольная, Раковка, Комаровка. Рельеф представлен долиной р. Раздольная, верхними террасами оз. Ханка, мелкосопочником (отроги Сихотэ-Алиня) и увалами. Территория сложена осадочными, вулканогенными и интрузивными породами, нижнечетвертичная терраса р. Раздольная – глинами и суглинками с прослойкам песка.

Среди нативных почв Владивостока преобладают буроземы типичные и урби-стратифицированные (преимущественно почвы парков), в Уссурийске широко распространены буроземы, дерново-буро-подзолистые почвы и их урби-стратифицированные аналоги. Среди антропогенно преобразованных почв в обоих городах выделяются различные урбаноземы (почвы придомовых и промышленных территорий, огородов, клумб, газонов, скверов, рекультивированных задернованных склонов и т.д.). Большинство исследованных почв содержат повышенное и высокое количество гумуса, имеют слабокислую и нейтральную среду, легкосуглинистый гранулометрический состав с преобладанием пылевато-песчаных фракций и характеризуются хорошей фильтрующей способностью, что может приводить к миграции загрязняющих веществ в сопредельные среды [6, 7].

Образцы отбирали из генетических горизонтов по всему профилю почв на городских территориях различного функционального назначения.

Содержание скандия, рубидия, стронция, иттрия, циркония, ниобия и лантана было определено методом энергодисперсионной рентгенфлуоресцентной спектроскопии (EDX) на спектрометре EDX-800HS-P (Simadzu EUROPA GmbH).

## Результаты исследований

Проведенные исследования показали, что почвы обоих городов практически не отличаются между собой по содержанию скандия, иттрия и ниобия (табл. 1), распределение этих элементов по профилю преимущественно равномерное, хотя отмечена тенденция к небольшому накоплению скандия в поверхностных слоях. Во Владивостоке более высокое содержание скандия отмечено в почвах огородов и придомовых территорий, в Уссурийске – клумб и огородов. Наибольшее количество иттрия и ниобия во Владивостоке выявлено в почвах парков и огородов, Уссурийске – скверов и огородов.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в городских почвах, мг/кг

Химический элемент	Уссурийск (n = 78)	Владивосток (n = 92)	Кларк			Фон (буроземы заповедников Приморья [26])
			земная кора [22]	почвы мира [22]	почвы городов [1]	
Sc	$\frac{13 \pm 0,51}{10-30}$	$\frac{14 \pm 0,54}{10-30}$	11	12	9	–
Rb	$\frac{88 \pm 1,94}{70-110}$	$\frac{70 \pm 1,67}{40-100}$	90	68	58	69
Sr	$\frac{209 \pm 9,14}{69-420}$	$\frac{192 \pm 7,42}{50-320}$	375	175	458	155
Y	$\frac{28 \pm 0,61}{10-40}$	$\frac{27 \pm 0,59}{20-40}$	33	23	23	21
Zr	$\frac{252 \pm 6,70}{170-522}$	$\frac{225 \pm 4,56}{150-330}$	165	267	260	225
Nb	$\frac{17 \pm 0,51}{10-20}$	$\frac{18 \pm 0,46}{10-30}$	20	12	16	–
La	$\frac{43 \pm 1,24}{30-60}$	$\frac{46 \pm 1,43}{30-70}$	30	27	34	–

Примечание. Здесь и в табл. 3 над чертой – среднее арифметическое, под чертой – минимальное и максимальное значения, n – число проб, прочерки – нет данных.

Среднее содержание рубидия, стронция и циркония в почвах Владивостока ниже, чем в почвах Уссурийска, максимум рубидия, стронция отмечен преимущественно в верхних слоях и срединных урбогоризонтах, содержащих печную золу, циркония – в глубине профиля. Наибольшее содержание рубидия и циркония выявлено в естественных почвах городских парков и скверов, стронция – в почвах придомовых территорий и огородов.

Содержание лантана выше в почвах Владивостока, максимум приурочен к глубоким слоям, что характерно для почв гумидной зоны, где активно протекают процессы внутрипочвенного выветривания [3]. При этом в обоих городах в поверхностных горизонтах огородных почв выявлено некоторое его накопление, отмечается также более высокое содержание лантана в горизонтах средней части профиля, содержащих угольный шлак.

Содержание рубидия и циркония в Уссурийске, а стронция и иттрия в обоих городах выше, чем в почвах заповедных территорий южной части Приморья (концентрации химических элементов в которых могут считаться фоновыми [26]).

Для построения геохимических спектров рассчитывали коэффициент концентрации – отношение содержания элемента в верхнем слое почв к кларку в литосфере [22] и коэффициент радиальной дифференциации – отношение содержания элемента в верхнем слое почв к среднему содержанию в почвообразующих породах города. Приоритетные ряды элементов, сгруппированные по величине коэффициентов концентрации и ранжированные по ее убыванию в исследованных городах, различаются и составляют для Владивостока  $La_{(1,5)} > Zr_{(1,4)} > Sc_{(1,3)} > Nb_{(0,9)} > Rb_{(0,8)} = Y_{(0,8)} > Sr_{(0,5)}$ , для Уссурийска  $Zr_{(1,6)} > La_{(1,4)} > Sc_{(1,2)} > Rb_{(1,0)} > Y_{(0,8)} = Nb_{(0,8)} > Sr_{(0,6)}$ .

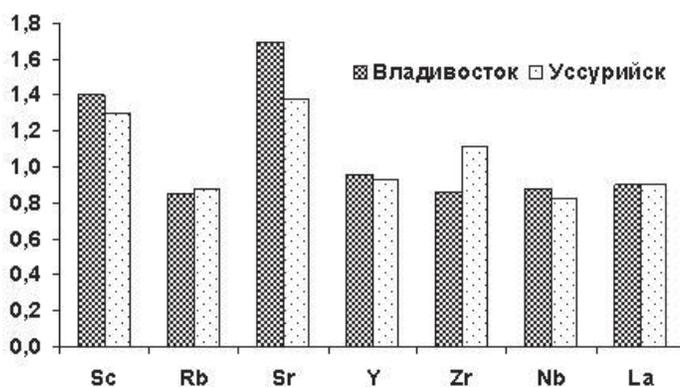


Рис. 1. Коэффициенты радиальной дифференциации слабоизученных потенциально опасных элементов в городских почвах

В процессе урбопедогенеза происходит перераспределение ТМ в профиле почв, о чем свидетельствуют значения коэффициента радиальной дифференциации (рис. 1). В поверхностных слоях большинства городских почв отмечено накопление стронция, скандия и циркония (Уссурийск). Содержание иттрия практически стабильно, количество рубидия, ниобия и лантана в верхнем слое городских почв ниже, чем в почвообразующих породах.

Для выявления геохимических особенностей почв урбанизированных ландшафтов Приморья рассчитывали отношение содержания элемента в верхнем слое городских почв к кларку элемента в почвах мира [22] и отношение содержания элемента в верхнем слое городских почв к кларку элемента в городских почвах [1] (рис. 2).

По сравнению с почвами мира почвы Владивостока содержат больше лантана, ниобия, рубидия, скандия и иттрия, почвы Уссурийска – лантана, иттрия, рубидия и скандия. По сравнению с другими урбанизированными территориями почвы исследованных городов Приморья значительно обогащены скандием, лантаном, рубидием, иттрием и обеднены стронцием. Содержание циркония на территории обоих городов намного ниже кларка в почвах мира и населенных пунктов.

Особенностью почв исследованных урбанизированных ландшафтов является накопление скандия и лантана, содержание которых превышает кларки литосферы, почв мира и почв городов. Это свидетельствует о том, что аккумуляции данных элементов способствуют процессы как педо-, так и урботехногенеза. Содержание рубидия, иттрия и ниобия в количествах меньших, чем кларк литосферы, но больших, чем кларки почв мира и городов, указывает на более интенсивное влияние процессов урботехногенеза. Содержание стронция, большее, чем кларк в почвах мира, но меньшее, чем кларки в литосфере и в почвах городов, подтверждает ограниченный во времени срок урботехногенеза. А на содержание циркония в городских почвах, вероятно, больше влияют процессы педогенеза, поскольку его содержание хотя и превышает кларк литосферы, но меньше кларков в почвах мира и городов.

Главная роль в повышении содержания исследуемых элементов в городских почвах принадлежит, несомненно, антропогенному воздействию. Судя по полученным данным, одним из основных источников поступления редких и редкоземельных элементов в почвы являются отходы твердого топлива, которое используется в многочисленных котельных и частном секторе, особенно в Уссурийске. Урбаноземы часто содержат в профиле значительное количество угольного шлака как в поверхностных, так и в срединных горизонтах. Между тем в угольных пластах бурогоугольных месторождений юга Дальнего Востока зафиксировано повышенное содержание редкоземельных элементов и скандия (табл. 2). Нельзя также исключать влияние аэральных выбросов ТЭЦ, работающих на твердом топливе [2, 4].

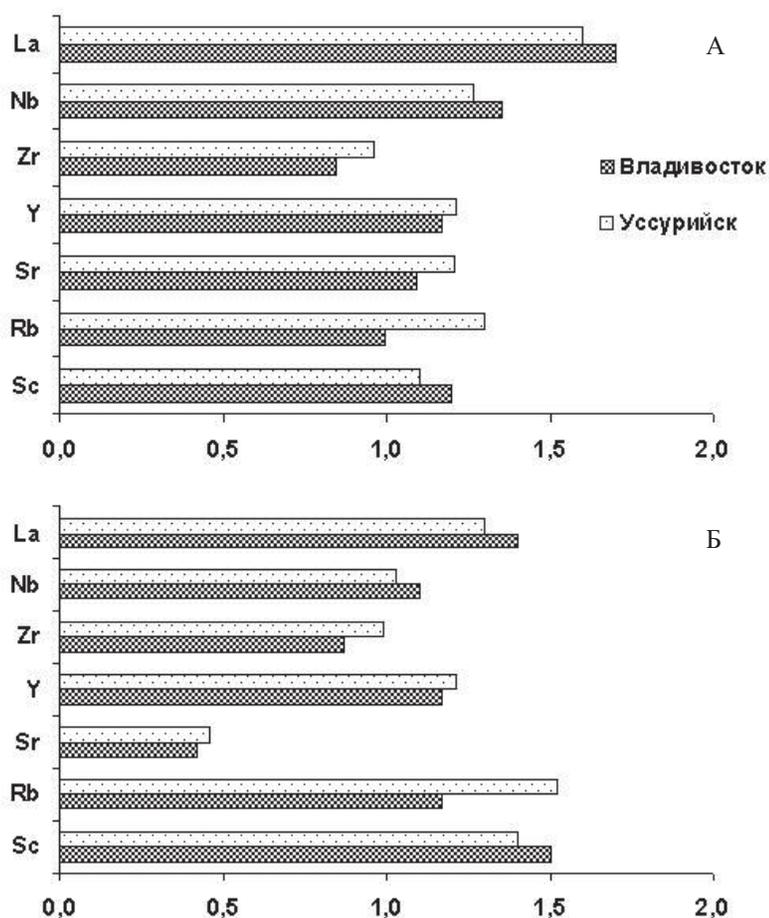


Рис. 2. Отношение содержания элемента в верхнем слое городских почв юга Приморья к кларку элемента в почвах мира (А) и к кларку элемента в городских почвах (Б)

Таблица 2

Содержание элементов в различных буроугольных месторождениях (мг/кг)

Элемент	Кларк для бурых углей [23]	Буреинское [13]	Павловское [12]	Раковское [12, 14]
		Уголь	Зола углей	
Sc	4,1	–	32,4	12,4–50,8
Rb	10	–	–	–
Sr	120	132,4–166,7	–	150–1538,0
Y	8,6	18,6–18,3	838,2–3311,7	320,6
Zr	35	297,2–266,7	–	–
Nb	3,3	6,5–7,3	–	–
La	10	38,1–45,0	115,2–1850,4	177,8–544,7

Примечание. Прочерки – нет данных.

Также в почвы городских приусадебных хозяйств дополнительно поступают кроме печной золы различные мелиоранты, содержащие большое количество элементов-примесей. По имеющимся данным среднее содержание лантана в фосфорных удобрениях составляет 1000 мг/кг [20], а содержание стронция может достигать 1751 мг/кг [3].

Таблица 3

**Содержание растворенных элементов в пробах снега  
и речной воде Приморья, мкг/л [15, 16]**

Место отбора проб	Sr	Rb
Снег		
Чистые районы Приморья	<u>3,0</u> 0,36–8,6	<u>0,37</u> 0,14–1,07
Города юга Приморья	<u>9,6</u> 3,2–35,0	<u>0,34</u> 0,13–0,77
Окрашенный снег	<u>17,5</u> 5,4–36,1	<u>0,8</u> 0,53–1,24
Речная вода		
Водосборы Амурского и Уссурийского заливов (без городских водотоков)	<u>57,1</u> 18,8–141,8	<u>0,37</u> 0,15–0,89
Городские водотоки (Владивосток и Уссурийск)	<u>536,3</u> 60,0–2990	<u>8,3</u> 0,3–45,9

Определенную роль в увеличении содержания исследуемых элементов в верхнем слое почв играет и трансграничный континентальный перенос с атмосферными осадками. Так, особенностью «оранжевого снега», регулярно привносимого с территории Китая и Монголии, является повышенное содержание микроэлементов, в частности стронция и рубидия (табл. 3).

Увеличение содержания исследованных металлов в почвах урбанизированных ландшафтов юга Приморья способствует, в свою очередь, увеличению их концентрации в других компонентах окружающей среды. Так, в твердых атмосферных осадках, отобранных на территории городов, содержание стронция более чем в 3 раза выше фонового, а в городских водотоках количество растворенного стронция превышает фоновое содержание более чем в 9 раз, рубидия – более чем в 22 раза (табл. 3). Содержание стронция во взвеси рек превышает фоновое значение в 1,33 раза [15].

### Заключение

Содержание рубидия, стронция и циркония в почвах Уссурийска выше, чем в почвах Владивостока, лантана – ниже, скандия и ниобия – одинаково. Количество исследованных элементов в почвах городов выше, чем в фоновых почвах заповедных территорий. Количества стронция, скандия и циркония (в Уссурийске) в верхних горизонтах почв выше, чем в почвообразующей породе. Максимумы большинства исследованных элементов в обоих городах выявлены в почвах придомовых территорий и огородов. Содержание скандия, рубидия, стронция, иттрия, ниобия и лантана в почвах Владивостока и Уссурийска выше, чем кларк в почвах.

Основными источниками поступления данных потенциально опасных элементов являются, вероятно, выбросы предприятий топливного комплекса и сельскохозяйственные мелиоранты. Загрязненные почвы урбанизированных территорий юга Приморья, в свою очередь, выступают источниками вторичного загрязнения атмосферы и городских водотоков и могут служить причиной потенциальной биологической опасности для населения и биоты.

Для уменьшения негативного воздействия от поступления депонированных в почвах городов поллютантов в сопредельные среды и организм человека необходимы: уход за территорией, вывоз загрязненного снега, направление поверхностного стока с запечатанных территорий в ливневую канализацию, повышение травянистого покрытия для снижения площади пылящих участков, улучшение общего состояния городских насаждений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитренных ландшафтов. Ростов н/Д: Изд-во Южного федерал. ун-та, 2013. 380 с.
2. Арбузов С.И., Волостнов А.В., Машенькин В.С., Межибор А.М. Скандий в углях Северной Азии (Сибирь, российский Дальний Восток, Монголия, Казахстан) // Геология и геофизика. 2014. Т. 55, № 11. С. 1649–1660.
3. Водяницкий Ю.Н. Лантаниды почвы и их влияние на растения // Агрехимия. 2012. № 4. С. 84–96.

4. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саг, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. М.: Недра, 1990. 335 с.
5. Голохваст К.С., Соболева Е.В., Никифоров П.А. и др. Нано- и микрочастицы металлов в городской атмосфере (на примере городов Владивосток и Уссурийск) // Химия в интересах устойчивого развития. 2013. № 2. С. 129–134.
6. Жарикова Е.А. Почвы Владивостока: основные характеристики и свойства // Вестн. ДВО РАН. 2012. № 3. С. 67–73.
7. Жарикова Е.А. Эколого-геохимическое состояние почв рекреационных территорий Уссурийска // Вестн. ДВО РАН. 2014. № 5. С. 78–85.
8. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Т. 5. Редкие d-элементы. М.: Экология, 1997. 576 с.
9. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Т. 6. Редкие f-элементы. М.: Экология, 1997. 607 с.
10. Игнатова Т.Н., Барановская Н.В., Рихванов Л.П., Судыко А.Ф. Региональные биогеохимические особенности накопления химических элементов в зольном остатке организма человека // Изв. Том. политехн. ун-та. 2010. Т. 317, № 1. С. 178–183.
11. Рихванов Л.П., Дериглазова М.А., Барановская Н.В. Минералого-геохимический состав зольного остатка организма человека г. Норильска как возможный индикатор элементного состава среды обитания // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328, № 9. С. 67–81.
12. Середин В.В., Кременецкий А.А., Трач Г.Н., Коваленко С.В., Семенов В.Ф. Новый потенциально промышленный тип иттриево-земельной минерализации в юго-западном Приморье // Разведка и охрана недр. 2006. № 9/10. С. 37–42.
13. Сиротский С.Е., Ивашов П.В., Климин М.А. Биогеохимия окружающей среды на территории поселка Чегдомын и в его окрестностях // Биогеохимические и геоэкологические процессы в экосистемах. Вып. 15. Владивосток: Дальнаука, 2005. С. 78–117.
14. Чекрыжов И.Ю., Середин В.В., Арбузов С.И. Редкоземельные элементы и уран в углях Раковской впадины, южное Приморье // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы V Междунар. конф., Томск, 3–16 сентября 2016 г. Томск: Изд-во ТПУ, 2016. С. 703–706.
15. Чудаева В.А., Чудаев О.В. Особенности химического состава воды и взвесей рек Приморья (Дальний Восток России) // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 30, № 2. С. 102–119.
16. Чудаева В.А., Чудаев О.В., Юрченко С.Г. Особенности химического состава атмосферных осадков на юге Дальнего Востока // Водн. ресурсы. 2008. Т. 35, № 1. С. 60–71.
17. Ajmone-Marsan F., Biasioli M., Kralj T., Greman H., Davidson C.M., Hursthouse A.S., Madrid L., Rodrigues S. Metals in particle-size fractions of the soils of five European cities // Environmental Pollution. 2008. Vol. 152 (1). P. 73–81.
18. Boger M., Van Erp Y.H.M., Eichner P. Assessment of the potential toxicity of lanthanum for aquatic organism // Proc. of the 2nd Sino-Dutch Workshop on the Environmental Behavior and Ecotoxicology of Rare Earth Elements and Heavy Metals. Delft: TNO Publ., 1997. P. 14–18.
19. Caballero-Gallardo K., Olivero-Verber J. Mice housed on coal dust-contaminated sand: A model to evaluate the impacts of coal mining on health // Toxicology and Applied Pharmacology. 2016. Vol. 294. P. 11–20.
20. Chen M., Graedel T.E. The potential for mining trace elements from phosphate rock // J. of Cleaner Production. 2015. Vol. 91. P. 337–346.
21. Ljung K., Selinus O., Otabbong E., Berglund M. Metal and arsenic distribution in soil particle sizes relevant to soil ingestion by children // Applied Geochemistry. 2006. Vol. 21 (9). P. 1613–1624.
22. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th ed. Boca Raton: CRS Press, 2011. 548 p.
23. Ketris M.P., Yudovich Ya.E. Estimations of Clarkes for Carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals // Intern. J. Coal Geology. 2009. Vol. 78. P. 135–148.
24. Pagano G., Aliberti F., Guida M., Oral R., Siciliano A., Trifuoggi M., Tommasi F. Rare earth elements in human and animal health: State of art and research priorities // Environmental Research. 2015. Vol. 142. P. 215–220.
25. Redling K. Rare earth elements in agriculture with emphasis on animal husbandry. München: München Univ., Faculty of Veterinary Medicine, 2006. 326 p.
26. Timofeeva Ya.O., Kosheleva Y., Semal V., Burdukovskii M. Origin, baseline contents, and vertical distribution of selected trace lithophile elements in soils from nature reserves, Russian Far East // J. of Soils and Sediments. 2018. Vol. 18. (3). P. 968–982.
27. Wang Z., Lu P., Liu D. Initial assessment of the effects of rare earth elements on soil integrity // Proc. of the 2nd Sino-Dutch Workshop on the Environmental Behavior and Ecotoxicology of Rare Earth Elements and Heavy Metals. Delft: TNO Publ., 1997. P. 1–5.