

РОССИЙСКО-МОНГОЛЬСКАЯ КОМПЛЕКСНАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ
ЭКСПЕДИЦИЯ РАН И АНМ

JOINT RUSSIAN - MONGOLIAN COMPLEX BIOLOGICAL
EXPEDITION RAS & MAS



МАТЕРИАЛЫ
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, ПОСВЯЩЕННОЙ
50-ЛЕТИЮ СРМКБЭ РАН И АНМ

PROCEEDINGS
OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE DEDICATED TO
THE 50TH ANNIVERSARY OF JRMKBE RAS & MAS



Москва,
23-25 октября 2019 г.

Moscow,
23-25 October, 2019

Редакционный совет: д.б.н. Н.И. Дорофеев, к.б.н. С.Н. Бажа, к.б.н. Ю.И. Дробышев, к.б.н. Е.В. Данжалова, А.В. Андреев, д.и.н. С.-Х.Д. Сыртыпова.

Editorial Board: Dr.Sc. N.I. Dorofeyuk, Dr. S.N. Bazha, Dr. Yu.I. Drobyshev, E.V. Danzhalova, Mr. A.V. Andreev, Dr.Sc. S.-Kh.D. Syrtypova.

Книга представляет сборник материалов Международной конференции, посвященной 50-летию деятельности Совместной (Советско-) Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции РАН и АНМ. Материалы отражают как наработки российских и монгольских сотрудников Экспедиции за много лет, так и результаты самых новых исследований. Тематика докладов очень широка: здесь представлены работы ботаников, зоологов, почвоведов, географов, геохимиков, гидробиологов, специалистов по охране природы и ученых других специальностей.

The book is a collection of materials of the International conference dedicated to the 50th anniversary of the Joint (Soviet-) Russian-Mongolian Complex Biological Expedition of RAS and MAS. The materials reflect both the achievements of the Russian and Mongolian employees of the Expedition for many years, and the results of the latest research. The topics of the reports are very wide: works of botanists, zoologists, soil scientists, geographers, geochemists, hydrobiologists, nature conservationists and scientists of other specialties are presented here.

ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ГОРИЗОНТАХ ПОЧВ Г. ДАРХАНА (МОНГОЛИЯ) И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS IN SURFACE HORIZONS OF SOILS IN DARKHAN (MONGOLIA) AND THEIR INFLUENCE ON POPULATION'S HEALTH

И.В. Тимофеев, Н.Е. Кошелева, А.Л. Энтин
I.V. Timofeev, N.E. Kosheleva, A.L. Entin

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия,
vano-timofeev@yandex.ru
M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, vano-timofeev@yandex.ru

Повышенное содержание токсичных элементов в городской среде оказывает негативное влияние на качество воздуха, воды, почвы, продуктов питания и угрожает здоровью населения. Цель данной работы – оценить риски для здоровья населения г. Дархана (Монголия), связанные с накоплением металлов и металлоидов в поверхностных горизонтах почв. Геохимические исследования 2011-2014 гг. показали, что почвы промышленной зоны содержат повышенные концентрации Pb, Mo, Sb, Zn, W, Cr, As, Cd и Cu. Почвы малоиспользуемых территорий и парковой зоны не загрязнены, индекса геоаккумуляции $I_{geo} < 0$ для всех элементов. Наиболее значительное влияние на здоровье человека оказывают Cr, Pb, W, As и Sb во всех функциональных зонах. Эти элементы обуславливают 97,1-97,4% риска для здоровья. Риск для здоровья взрослых низкий, средние значения индекса опасности HI не превышают 0,14, для детей выявлен средний уровень риска $CHI > 1$ на более чем 60% территории города. Суммарный риск развития рака TR под воздействием As, Cd, Cr и Pb составляет 86–97% от общего риска и вызван в основном пероральным поступлением. Значения TR в Дархане находятся в пределах $1,09–5,68 \cdot 10^{-5}$, что соответствует среднему уровню риска.

Ключевые слова: оценка здоровья населения; потенциально токсичные элементы; городские почвы; Монголия.

The increased content of toxic elements in the urban environment negatively affects the quality of air, water, soil, food and threatens public health. The purpose of this work is to assess the health risks of the population of the city of Darkhan (Mongolia) associated with the accumulation of metals and metalloids in the topsoils. Geochemical studies in 2011-2014 showed that the soils of the industrial zone contain increased concentrations of Pb, Mo, Sb, Zn, W, Cr, As, Cd and Cu. The soils of unused areas and park zone are not polluted, the geo-accumulation index $I_{geo} < 0$ for all elements. The most significant effects on human health are exerted by Cr, Pb, W, As, and Sb in all land-use zones. These elements account for 97.1-97.4% of the health risk. The risk to adult health is low, the average values of the HI hazard index does not exceed 0.14; for children, an average risk level with $HI > 1$ is found in more than 60% of the city territory. The total risk of cancer developing TR under the influence of As, Cd, Cr, and Pb is 86–97% of the total risk and is mainly due to oral admission. The TR values in Darkhan range from $1.09–5.68 \cdot 10^{-5}$, which corresponds to an average level of risk.

Key words: health risk assessment; potentially toxic elements; urban soils; Mongolia.

Введение. За последние 60 лет произошел резкий рост городского населения в мире, которое достигло 4,2 млрд., или более 55% населения Земли (UN, 2018). Подобная тенденция свойственна и Монголии, несмотря на то, что экономика страны развивается преимущественно за счет добычи полезных ископаемых и сельского хозяйства. Дархан – третий по величине город Монголии – является крупнейшим промышленно-транспортным узлом на севере страны с населением более 85 тыс. человек (NSO, 2018). Основным источником загрязнения являются выбросы одной из крупнейших в стране ТЭЦ и печей в юрточных кварталах, свойственных только городам Монголии и занимающих значительные площади в пределах города.

Цель данной работы – оценить риски для здоровья населения г. Дархана, обусловленные потенциальнотоксичными элементами (ПТЭ) в поверхностных горизонтах почв. Решались следующие задачи: 1) определить уровни накопления ПТЭ в почвах различных функциональных зон; 2) оценить уровни опасности неканцерогенных и канцерогенных элементов для здоровья детей и взрослых при поступлении почвенных частиц пероральным путем и при контакте с кожей.

Объект исследования. Дархан, административный центр аймака Дархан-Уул, расположен в долине р. Хара, правом притоке р. Орхон, в пределах крупной геоморфологической области – Центрально-Монгольской приподнятой равнины между Сибирской и Китайской платформами (Геологическое ..., 1959). Климат резко-континентальный со значительными колебаниями температуры воздуха ($t_{\text{январь}} = -18 \div -25$ °C, $t_{\text{июль}} = +18 \div 20$ °C), холодной и длительной зимой, резкой сменой сезонов, значительной сухостью воздуха, малым количеством осадков (300-350 мм в год) и их неравномерным распределением по сезонам – основная часть выпадает с мая по сентябрь (Береснева, 2006). Преобладают ветры южного и северного направлений.

На основе мозаик спутниковых снимков GoogleEarth(2018) в пределах города выделено пять функциональных зон: промышленная (I), селитебная с многоэтажной (Rm) и одноэтажной (Rs) застройками, транспортная (T), центральный парк (P), малоиспользуемые территории (U). Промышленная представлена предприятиями по производству строительных материалов, кирпича, пищевой промышленности, кожевенных и железобетонных изделий, нефтебазой, ТЭЦ, металлургическим комбинатом и пр. Более 85% горожан проживает в многоэтажных домах в центральной части города, где сосредоточены административные и офисные здания, учреждения культуры и несколько высших учебных заведений. Остальное население проживает в юртах на окраинах города. Значительную часть города занимают малоиспользуемые территории, которые являются буфером между промышленной и селитебными зонами.

Методы и материалы исследований. Почвенно-геохимическая съемка г. Дархана проводилась летом 2011-2014 гг. Смешанные пробы (126, включая 3 фоновые) отбирались из поверхностного (0-10 см) горизонта по сетке с шагом 500-700 м. Фоновые пробы отбирались в близких ландшафтных условиях в 8-15 км к северу от города, вдали от автомагистралей. Валовое содержание ПТЭ определялось масс-спектральным и атомно-эмиссионными методами с индуктивно-связанной плазмой во ВНИИ минерального сырья им. Н.М. Федоровского на приборах Elan-6100 и Optima-4300 («PerkinElmer», США). В работе подробно рассмотрены 13 приоритетных загрязнителей As, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, V, W, Zn, типичных для промышленно-транспортных центров (Demetriades, Birke, 2015).

Загрязнение поверхностных горизонтов городских почв оценивалось с помощью индекса геоаккумуляции $I_{geo} = \log_2 (C_u / 1,5 C_b)$, где C_u и C_b – содержание элемента в городских и фоновых почвах, соответственно. Коэффициент I_{geo} имеет семь классов опасности (Loska, Wiechulla, Korus, 2004; Müller, 1969), причем наивысший 7-ой класс указывает на экстремальное загрязнение, т.е. 100-кратное превышение фоновых концентраций (Forstner и др., 1990).

Риск для здоровья взрослых и детей оценивался с помощью модели, разработанной USEnvironmentalProtectionAgency (US EPA, 1989; US EPA, 2002). Воздействие всех неканцерогенных элементов оценивалось путем расчета индекса опасности $HI = \sum (HQ_{\text{ingest}} + HQ_{\text{dermal}})$, который учитывает поступление загрязненной почвы двумя путями: пероральным (*ingest*) и через кожный покров (*dermal*). Показатель HI имеет четыре уровня: отсутствует (<0.1), низкий ($0.1-1$), средний ($1-10$), высокий (>10). Загрязнение канцерогенными элементами As, Cd, Cr, Pb, попадание которых в организм человека может привести к развитию злокачественных опухолей, оценивалось путем расчета суммарного риска $TR = \sum ILCR_{\text{ingest}} + \sum ILCR_{\text{dermal}}$, где $ILCR$ – вероятность развития рака при влиянии ПТЭ в течение всей жизни человека (RAIS, 2017; US EPA, 1989; US EPA, 2002).

Результаты. Относительно среднемировых концентраций ПТЭ (Kabata-Pendias, 2011)

фоновые почвы характеризуются повышенным в 3 раза содержанием W и пониженным в 1,5-2,9 раза Cu, Cr, Cd, Ni, As, Co, V. Концентрации остальных элементов близки к среднемировым.

В результате техногенного воздействия содержание ПТЭ в поверхностных горизонтах городских почв изменилось. Наиболее загрязнены почвы промышленной зоны (табл. 1), в которых повышено содержание Pb, Mo, Sb, Zn, W, Cr, As, Cd, Cu (элементы расположены в порядке убывания I_{geo}). Среди основных источников ПТЭ стоит выделить чрезвычайно высокое количество пыли, поступающей в атмосферу с выбросами ТЭЦ (Аргучинцев, Аргучинцева, Убонова, 2009), где используется уголь из разрезов Шарынгол и Баганур. Уголь из разреза Шарынгол имеет повышенное в 1.3-7.8 раз относительно кларков (Ketriss, Yudovich, 2009) содержание W-V-Sn-Mo-As-Cr-Ni-Co-Zn-Cu-Pb, а из разреза Баганур – повышенное в 1.2-3 раз содержание W-Mo-Sn. Источниками загрязнения также могут быть выбросы и отходы фабрики кожевенных изделий «Дархан Нэхий», где используются соединения Cr, сульфат и карбонат Na, синтаны, красители, органические и минеральные кислоты, жиры, масла, аммиак, эмульгаторы и др., и Дарханского металлургического комбината. С отходами металлургических предприятий в атмосферу, почву и воду поступают W, Sb, Mo, Pb, Cu, Cr, As (Demetriades, Birke, 2015).

В почвах центральной и северной частей города, где находятся многоэтажная жилая зона и юрточные кварталы, накапливаются Sb, Zn, Pb (табл. 1); незначительно повышено содержание Sn ($I_{geo} = 0.013$) и Cd (0.011). Участки вблизи дорог и крупных перекрестков не загрязнены или загрязнены умеренно, локальные значения I_{geo} для Cu достигают 2.61, Sb – 1.96, Cd – 1.87, Pb – 0.48, Zn – 0.3. Приуроченность локальных аномалий к транспортной зоне и удаленность жилых кварталов от основного южного промышленного кластера позволяет сделать вывод о том, что основным источником загрязнения почв являются продукты эксплуатации автотранспорта, увеличение которого связано с резким ростом городского населения за последние 20 лет с 65,8 до 85,4 тыс. человек (NSO, 2018).

Таблица 1

Содержание ПТЭ в поверхностных горизонтах фоновых почв и почв различных функциональных зон г. Дархана

Функц. зона (кол-во проб)	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Cd	Sn	Sb	W	Pb
B (n=3)	<u>86*</u> 85–89	<u>25</u> 24–27	<u>7.6</u> 6,8–8,2	<u>16</u> 14–17	<u>14</u> 12–14	<u>61</u> 55–63	<u>4.1</u> 3,9–5,4	<u>0.91</u> 0,9–1,1	<u>0.2</u> 0,2–0,2	<u>3.2</u> 3,1–3,2	<u>0.53</u> 0,52–0,54	<u>4.4</u> 4,2–6,7	<u>19</u> 18–19
I (n=23)	<u>99.2</u> 60–210	<u>46.6</u> 20–130	<u>8.3</u> 5,8–20	<u>21.6</u> 13–87	<u>22.2</u> 8,8–78	<u>115</u> 36–490	<u>8.07</u> 2,3–18	<u>2.03</u> 0,88–4,8	<u>0.34</u> 0,14–1,5	<u>2.96</u> 2,1–5	<u>1.1</u> 0,49–4	<u>9.63</u> 2,1–22	<u>55.3</u> 16–490
Rm (n=13)	<u>98</u> 74–130	<u>47.1</u> 22–48	<u>9.1</u> 4,7–10	<u>21.2</u> 11–23	<u>20.2</u> 11–35	<u>69.4</u> 54–310	<u>8.02</u> 2,4–9,1	<u>1.74</u> 0,68–2,9	<u>0.23</u> 0,15–1,1	<u>2.66</u> 1,9–29	<u>0.74</u> 0,44–3,1	<u>11.1</u> 1,2–16	<u>18.3</u> 17–37
Rs (n=18)	<u>86.8</u> 58–120	<u>32.1</u> 20–54	<u>7.02</u> 4,4–10	<u>15.2</u> 9,1–21	<u>18.5</u> 12–34	<u>82.3</u> 37–160	<u>5.22</u> 2,1–8,6	<u>1.19</u> 0,68–2,3	<u>0.23</u> 0,14–0,61	<u>3.18</u> 1,7–13	<u>0.99</u> 0,51–2,7	<u>5.03</u> 1,3–11	<u>29.9</u> 14–79
T (n=13)	<u>95.8</u> 62–150	<u>31.9</u> 22–52	<u>6.69</u> 4,8–8,9	<u>14.2</u> 9,3–18	<u>24.2</u> 9,9–140	<u>66.3</u> 41–110	<u>5.09</u> 2,7–7,6	<u>1.17</u> 0,63–2,2	<u>0.17</u> 0,13–0,26	<u>2.25</u> 1,6–3,3	<u>0.72</u> 0,49–1,2	<u>4.30</u> 0,98–10	<u>24.3</u> 18–39
P (n=2)	104	35	9,05	27,5	19,5	68,5	5,3	1,71	0,19	2,65	0,62	12,4	21,5
U (n=54)	<u>98</u> 50–160	<u>47.1</u> 13–290	<u>9.1</u> 4,1–16	<u>21.2</u> 8,3–130	<u>20.2</u> 9,6–45	<u>69.4</u> 37–110	<u>8.02</u> 2,8–30	<u>1.74</u> 0,64–5,8	<u>0.23</u> 0,13–1,7	<u>2.66</u> 1,8–5,6	<u>0.74</u> 0,4–4,5	<u>11.1</u> 1,7–63	<u>18.3</u> 12–65

* в числителе – среднее содержание, в знаменателе – мин – макс. В – фоновые пробы.

Почвы незастроенных участков и парковой зоны, расположенной на равном удалении от южного и северного промышленных кластеров, не загрязнены, значения $I_{geo} < 0$ (табл. 1). На склоне южной экспозиции, обращенном к южному кластеру промышленной зоны, выявлена локальная аномалия W, Cr, Mo, As, Cu с $I_{geo} = 0.014-0.54$. Ее конфигурация имеет вытянутую поперек склона форму – ПТЭ, поступающие с выбросами промышленных предприятий, переносятся на 500-1500 м на север преобладающими южными ветрами и осаждаются из атмосферы, когда на пути воздушного потока встречается естественная преграда – отрог мелкосопочника.

Проглатывание частиц загрязнённой почвы при потреблении пищи, во время детских игр, прогулок и т.д. является основным путем поступления неканцерогенных элементов как у взрослого человека, так и у ребенка. Анализ значений HQ показал, что в организм взрослого человека пероральным путем поступает 86,2-99,7% всех исследуемых ПТЭ, а в организм ребенка – 89,9-99,7%. Аналогичные результаты были получены и другими авторами (Li и др., 2014). Оценка риска по суммарному индексу HI , учитывающему оба пути поступления загрязненных почвенных частиц в организм человека, показала, что наибольшее воздействие, вне зависимости от функциональной зоны, оказывают Co, V, Cr, Pb, W, As, Sb, на долю которых приходится 97,1-97,4%. Высокие значения HI у Pb, Sb, W, Cr, As обусловлены их повышенным содержанием в почвах ($I_{geo} = 0,26-0,98$), а Co и V – низкими контрольными дозами, что особенно проявляется при анализе детского населения. Последнее отмечалось и в работе (Li и др., 2014).

Во всех функциональных зонах города опасность для здоровья взрослого населения низкая, средние значения $HI \leq 0,14$. Дети имеют более высокую восприимчивость к воздействию загрязнителей на единицу массы вследствие их физиологических и поведенческих особенностей, таких как проглатывание значительного количества почвы во время игр и прогулок на улице, увеличенная желудочно-кишечная абсорбция некоторых веществ, повышенное потребление воздуха на единицу массы и т.д. Во всех функциональных зонах наибольшие значения HI_{child} установлены для Co и V, их сумма составляет 0,67-0,68. Это обусловлено не загрязнением почв, а низкими контрольными (эталонными) дозами. Наивысший уровень опасности для детей выявлен в промышленной зоне ($HI = 1,32$), где дети практически не бывают. На втором и третьем месте находятся парковая зона и малоиспользуемые территории, соответственно.

Пространственное распределение индекса опасности HI для различных категорий населения характеризуется следующими особенностями: участки со средним уровнем опасности для здоровья взрослого человека и локальными максимумами до 0,29 приурочены к северному и южному промышленным кластерам с малой площадью. Среднее значение по городу составляет 0,12. Таким образом, вся территория г. Дархан имеет низкий и незначительный уровни опасности. Для детского населения характерен средний уровень опасности со средним по городу значением HI 1,16. Кроме выделенных для взрослого населения опасных участков, для детей более 60% площади города характеризуется значениями $HI > 1$. Помимо промышленной зоны, где дети бывают редко, это участки с одноэтажной и многоэтажной жилой застройкой на западе и востоке города, включая внутридворовые пространства и территории детских учреждений, а также парки. Лишь на 36% площади зафиксирован низкий уровень опасности.

Суммарный риск развития рака под влиянием четырех канцерогенных элементов As, Cd, Cr, Pb обусловлен в основном пероральным поступлением, на долю которого приходится от 86 до 97% TR . На территории г. Дархан значения TR колеблются в диапазоне $1,09-5,68 \cdot 10^{-5}$, что соответствует среднему уровню риска, достигая максимальных значений в промышленной зоне. Основной вклад вносят Cr и As, на долю которых суммарно приходится 61-95% TR . Эти элементы вызывают рак легких, кожи, почек, предстательной железы, печени, нарушения в строении ДНК и множество других заболеваний (Kim, Kim, Seo, 2015; Żukowska, Biziuk, 2008). Третьим по значимости является Cd, на который приходится в среднем 5-19% TR при повышении в локальных аномалиях вблизи Дарханского металлургического комбината до 38%, кожевенной фабрики – до 34%, в юрточном районе на северо-востоке города – до 34%. Последнее обусловлено использованием бурого угля из разрезов Шарынгол и Баганур.

Особого внимания заслуживает селитебная зона с одноэтажной застройкой на западе и востоке Дархана, где значения TR составляют $2-3 \cdot 10^{-5}$. Источником загрязнения почв являются выбросы бытовых печей, в которых используют бурый уголь. Анализ отношения содержания ПТЭ в золе углей из разрезов Шарынгол и Баганур к их концентрациям в этих углях показал, что в результате сжигания зола углей обогащается As в 16-46, Cr в 4-23, Cd 6-

10, Pb 4.4-13 раз. Ежегодно для бытовых нужд в каждой юрте в среднем используется около 5 тонн угля, 60% которого сжигается в период с ноября по февраль (Guttikunda, 2007). Частицы золы выбрасываются из труб в атмосферу и затем осаждаются на поверхности почвы, накапливаясь в течение полувекового периода существования города.

Заключение. В зависимости от уровня антропогенной нагрузки и источников загрязнения, каждая функциональная зона отличается своими приоритетными загрязнителями: в почвах промышленной зоны из-за выбросов ТЭЦ, кожевенной фабрики и металлургического комбината повышены концентрации Pb, Mo, Sb, Zn, W, Cr, As, Cd, Cu; в селитебной и транспортной зонах в результате эксплуатации автотранспорта и сжигания бурого угля накапливаются Sb, Zn, Pb.

Основным путем поступления неканцерогенных и канцерогенных элементов в организм человека является пероральный. Наибольший вред как для взрослых, так и для детей оказывают Pb, Sb, W, Cr, As, Co и V, причем высокие значения индекса опасности *HI* у Pb, Sb, W, Cr, As обусловлены повышенными содержаниями в почвах, а Co и V – низкими контрольными дозами.

Влияние канцерогенных элементов в пределах г. Дархана убывает в ряду Cr>As>Cd>Pb. За более чем 55-летнюю историю развития города суммарный риск развития рака при поступлении ПТЭ пероральным путем и за счет контакта с кожей достиг среднего уровня. Кроме локальных аномалий в промышленной зоне, где дети отсутствуют, а взрослые присутствуют суммарно не более 2 суток в неделю. Повышенного внимания заслуживают юрточные кварталы, где источником загрязнителей являются выбросы бытовых печей, использующих сернистый бурый уголь из разрезов Шарынгол и Баганур.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №18-35-00079\19).

ЛИТЕРАТУРА

1. Аргучинцев В.К., Аргучинцева А.В., Убонова Л.В. Моделирование распределения антропогенных примесей в атмосфере крупных городов Монголии (Улан-Батор, Дархан) // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2009. Т. 1. № 1. С. 12–24.
2. Береснева И.А. Климаты аридной зоны Азии. Москва: Наука, 2006. 288 с.
3. Геологическое строение Монгольской Народной Республики (стратиграфия и тектоника) / Под ред. Ф.К. Шипулина. Ленинград: Гостоптехиздат, 1959. 496 с.
4. Demetriades A., Birke M. Urban Geochemical Mapping Manual: Sampling, Sample preparation, Laboratory analysis, Quality control check, Statistical processing and Map plotting. Brussels: EuroGeoSurveys, 2015. 162 с.
5. Forstner U., Ahlf W., Calmano W., Kersten M. Sediment criteria development. Contributions from environmental geochemistry to water quality management, 1990.
6. Google Earth. Darkhan, Mongolia 48°15'16"N, 103°52'49"E // 2018.
7. Guttikunda S. Urban Air Pollution Analysis for Ulaanbaatar // SIM Work. Pap. 2007. № June. P. 132.
8. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. Fourth Edition. Boca Raton: CRC Press, 2011. 548 p.
9. Ketris M.P., Yudovich Y.E. Estimations of Clarkes for Carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals // Int. J. Coal Geol. 2009. Vol. 78. Is. 2. P. 135–148.
10. Kim H.S., Kim Y.J., Seo Y.R. An Overview of Carcinogenic Heavy Metal: Molecular Toxicity Mechanism and Prevention // J. Cancer Prev. 2015. Vol. 20. Is. 4. P. 232–240.
11. Li Z., Ma Z., van der Kuip T.J., Yuan Z., Huang L. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment // Sci. Total Environ. 2014. Vol. 468–469. P. 843–853.
12. Loska K., Wiechulla D., Korus I. Metal contamination of farming soils affected by industry // Environ. Int. 2004. Vol. 30. Is. 2. C. 159–165.
13. Müller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River // Geol. J. 1969. Vol. 2. P. 108–118.
14. NSO. National statistics office of Mongolia (Электронный ресурс). URL: <http://www.en.nso.mn/>
15. RAIS. The Risk Assessment Information System.
16. UN. United Nations. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. Key facts. , 2018. 2 p.
17. US EPA. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I Human Health Evaluation Manual (Part A) // Off. Emerg. Remedial Response. 1989. Vol. 1. № 540/R/99/005. p. 1–291.
18. US EPA. Supplemental Guidance for Developing Soil Screening // U.S. Environ. Prot. Agency. 2002. December. p.106.
19. Żukowska J., Biziuk M. Methodological Evaluation of Method for Dietary Heavy Metal Intake // J. Food Sci. 2008. Vol. 73. Is. 2. P. R21–R29.