

УДК 550.42

## ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ГОРОДСКИХ ЛАНДШАФТОВ

*Е. А. Гончаров, Д. И. Пигалин, Н. Г. Шурков*

Поволжский государственный технологический университет,  
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3  
E-mail: GoncharovEA@volgatech.net

*Приведены результаты геохимических исследований почв промышленной зоны г. Йошкар-Олы. Впервые получены данные о содержании и распределении в поверхностном слое почвы (0 – 10 см) таких элементов, как: As, Cr, Co, Sb, Br, Ba, Rb, Cs, Sr, Hf, Ta, Sc, Tb, Sm, Eu, La, Ce, Yb, Lu, U, Th, Au, Ag. Проведено сравнение содержания элементов промышленных городских ландшафтов с природными территориями и данными других исследователей. Повышенные среднегородские концентрации ( $K_c > 1,1$ ) выявлены у Ca, Cs, Sb, Br, Au, Zn, Eu, Cr и Fe, при этом техногенные аномалии установлены для Ca, Sb, Br, Au, Zn, Cr и Fe. Оценка суммарного загрязнения изученными элементами почв промышленной зоны г. Йошкар-Олы показала относительно благополучную обстановку.*

**Ключевые слова:** химический элемент; литогеохимическое опробование; городской ландшафт; почва; техногенное загрязнение.

**Введение.** Почвенный покров города – сложная и неоднородная природно-антропогенная биогеохимическая система. Наряду с застроенными участками распространены антропогенно-изменённые и естественные почвы (во дворах, в парках, на бульварах, пустырях). Продукты техногенеза, выпадая на земную поверхность, накапливаются в верхних горизонтах почв, изменяют их химический состав и вновь включаются в природные и техногенные циклы миграции. Как правило, современные уровни загрязнения почв формируются в течение последних 20 – 50 лет и являются наиболее стабильными индикаторами длительного техногенного воздействия, поэтому литогеохимическая индикация и картографирование являются одним из основных методов оценки экологического состояния городов [1].

Группой исследователей отмечается недостаточная геохимическая изученность городских почв, например, практически отсутствуют данные о редких и

редкоземельных элементах в почвах урбанизированных территорий городов России и зарубежья [2, 3]. В частности, по г. Йошкар-Оле опубликованы данные о незначительном перечне тяжёлых металлов (Pb, Zn, Cd и Cu) и радионуклидов (K-40 и Cs-137) [4], что не позволяет в полной мере выполнять оценку полиэлементного загрязнения почвы.

В связи с этим была поставлена **цель** – получение новых эмпирических данных о содержании ряда щелочных, щёлочно-земельных, редкоземельных и переходных металлов, в т.ч. радионуклидов, а также пниктогенных и галогенных элементов для оценки характера их распределения и уровня техногенного воздействия на почвы г. Йошкар-Олы.

Актуальность данных исследований также обусловлена сложностью экологического нормирования почв, следовательно, и оценки уровней техногенного воздействия, вследствие значительного варьирования почвенных свойств и видов тех-

© Гончаров Е. А., Пигалин Д. И., Шурков Н.Г., 2015.

**Ссылка на статью:** Гончаров Е. А., Пигалин Д. И., Шурков Н.Г. Эколого-геохимическая оценка почвенного покрова городских ландшафтов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1 (25). – С. 87-97.

ногенных воздействий. Поэтому одним из основных подходов в решении данной проблемы представляется определение региональных нормативов, или фоновых концентраций, для конкретных почвенно-экологических условий.

**Материал и методика.** На первом этапе разрабатывалась геоинформационная система для почвенно-геохимических исследований, включающая цифровую модель рельефа (ЦМР), построенную по данным топографической радиолокационной съёмки SRTM, и геологическую основу, которая позволила выделить геоморфологические и геологические особенности территории города. На рис. 1 приведена карта рельефа юго-западной (промышленной) части г. Йошкар-Олы.

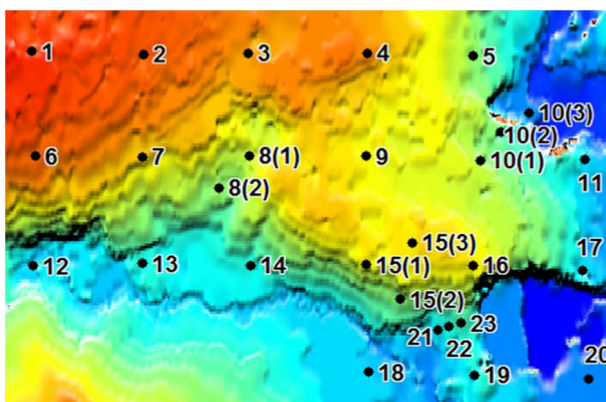


Рис. 1. 3D-визуализация рельефа юго-западной (промышленной) части г. Йошкар-Олы и точки опробования

Данный участок представлен поймами (на рис. 1 выделены оттенками синего) реки Малая Кокшага (восточная часть рис. 1) и её правого притока реки Нолька (южная часть рис. 1), сложенными современными аллювиальными отложениями (пески, алевриты, глины), и надпойменными террасами (мончаловский-осташковский горизонты первой надпойменной террасы (на рис. 1 – жёлто-оранжевые тона) и микулинский-калининский горизонты второй надпойменной террасы (на рис. 1 – оранжевые тона), образованными неоплейстоценовыми аллювиальными отложениями (пески, алевриты, глины) с преобладанием песчаных

фракций. В северо-западной части рассматриваемой территории – участок террасовидной равнины (лихвинский горизонт – подмосковный надгоризонт), сложенный озёрно-аллювиальными отложениями песчаного и суглинистого состава (на рис. 1 – оттенки красного). На данных отложениях сформировались аллювиальные и дерново-слабо- и среднеподзолистые почвы.

Полевые исследования выполнялись в соответствии с методиками геохимического опробования почв и радиологического обследования населённых пунктов: литогеохимическое опробование выполнено по регулярной сетке с шагом 1 км, с уточнением вокруг крупных предприятий (рис. 1), пробы грунта отбирались методом конверта из поверхностного слоя (0 – 10 см), предварительно очищенного от верхнего дернового слоя; пробоподготовка включала сушку проб, удаление включений, просеивание через сито с отверстиями Ø 1 мм и измельчение на виброистирателе; подготовленные навески анализировались на базе аккредитованной лаборатории Томского политехнического университета методом инструментального нейтронно-активационного анализа [2]; в точках опробования также проводилась гамма-съёмка портативным спектрометром «Мультирад» и отбор проб почвы для лабораторного гамма-спектрометрического анализа стандартным пробоотборником Ø 40 мм на глубину 10 и 20 см, далее пробы почвы высушивались, просеивались и анализировались на базе аккредитованной лаборатории радиационного контроля Поволжского государственного технологического университета.

При этом изучались следующие параметры:

- методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) – массовая концентрация (валовое содержание) элементов в почве (щелочные металлы – Na, Rb, Cs; щёлочно-земельные металлы – Ca, Sr, Ba, Ra; пниктогены – As, Sb; галогены – Br; переходные металлы: Ag, Au,

Zn, редкоземельные элементы (Sc и лантаноиды: La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu), актиноиды (Th, U), Hf, Ta, Cr, Fe и Co);

- методом гамма-спектрометрического анализа – удельная активность природных ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) и техногенных ( $^{137}\text{Cs}$ ) радионуклидов в почве.

По данным гамма-спектрометрической съёмки рассчитывались:

- поверхностная плотность загрязнения почвы радионуклидами  $P$  (кБк/м<sup>2</sup>) по формуле (1):

$$P = (A_{\text{уд}} \cdot m) / S, \quad (1)$$

где  $A_{\text{уд}}$  – удельная активность радионуклида в почвенном слое, кБк/кг;  $m$  – масса почвенного послойного образца, отобранная с фиксированной площади, кг;  $S$  – площадь пробоотбора, м<sup>2</sup>; с учётом параметров пробоотборника ( $\varnothing$  40 мм) и количества отбираемых кернов (в каждой точке опробования 8 кернов) формула (1) примет вид:

$$P = 100 \cdot A_{\text{уд}} \cdot m; \quad (2)$$

- показатель эффективной удельной активности естественных радионуклидов (ЕРН)  $A_{\text{эфф}}$  (Бк/кг) по формуле (3)\*:

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra}} + 1,3 A_{\text{Th}} + 0,09 A_{\text{K}}, \quad (3)$$

где  $A_{\text{Ra}}$ ,  $A_{\text{Th}}$ ,  $A_{\text{K}}$  – удельные активности  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$ , Бк/кг;

- массовая концентрация  $C$  (мг/кг) радиоактивных изотопов в почвенном слое 0 – 10 см по формуле (4):

$$C = A_{\text{уд}} \cdot A \cdot T_{1/2} \cdot 1,16^{-1} \cdot 10^{-17}, \quad (4)$$

где  $A_{\text{уд}}$  – удельная активность радионуклида в почвенном слое 0 – 10 см, Бк/кг;  $A$  – массовое число радионуклида,  $T_{1/2}$  – период полураспада в часах.

При этом оценка содержания  $\text{K}$  в почве проводилась по  $^{40}\text{K}$ , который составляет 0,0117 % от природного калия [5], а содержание  $\text{Ra}$  – по  $^{226}\text{Ra}$  как основному наиболее долгоживущему изотопу (так, например, концентрация  $^{228}\text{Ra}$  при условии радиоактивного равновесия будет составлять при-

мерно  $4 \times 10^{-10}$  доли от концентрации материнского радионуклида  $^{232}\text{Th}$ , т.е. концентрацией  $^{228}\text{Ra}$  в почве можно пренебречь).

Далее результаты анализов подвергались статистической обработке – рассчитывались описательные статистики. Для выявления аномальных участков на исследуемой территории по каждому элементу из выборки удалялись (при наличии) заведомо аномальные значения. При условии удаления аномальных значений наиболее часто встречаемое содержание химического элемента можно считать его геохимическим фоном, а утроенное значение среднего квадратичного отклонения («правило 3s») – использовать как критерий аномальности [1].

Для оценки полиэлементного загрязнения почв рассчитывался суммарный показатель загрязнения почв  $Z_c$ , представляющий собой сумму превышений коэффициентов концентрации над единичным (фоновым) содержанием по формуле (5) [1, 6]:

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1), \quad (5)$$

где  $K_c$  – коэффициент концентрации (отношение содержания химического элемента в оцениваемом объекте к его фоновому содержанию);  $n$  – число химических элементов с  $K_c > 1$ .

**Результаты и их обсуждение.** Результаты обработки данных измерений для промышленной территории г. Йошкар-Олы приведены в табл. 1, 2 и на рис. 2.

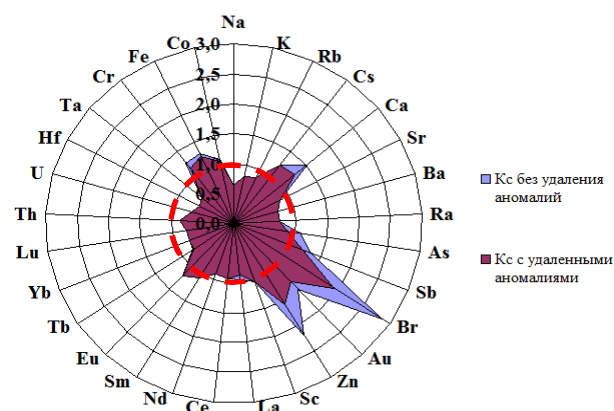


Рис. 2. Коэффициенты концентраций химических элементов в почвах промышленной зоны г. Йошкар-Олы относительно фона

\* СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009» (утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 г. № 47)

Таблица 1

## Содержание изучаемых химических элементов в компонентах литосферы

Химический элемент	Кларк в земной коре [7], мг/кг	Кларк в горных породах, мг/кг		Содержание в почвах [2, 5, 7, 8], мг/кг	Содержание в почвах населенных пунктов [2, 3], мг/кг	Содержание на природных территориях, прилегающих к г. Йошкар-Оле, мг/кг
		глина [7, 8]	песчаник [5, 7, 8]			
Na	25000	6600	3300-17000	4600-13400	5800	7770
K	25000	22800-26600	10700-11000	13100-20000	13400	12660
Rb	150	120-200	40-60	17,2-100	58,0	56,9
Cs	3,7	5-12	0,1-2	0,3-5,0	n×10	1,272
Ca	39600	25300	13000-39100	4000-14000	53800	8200
Sr	340	300-450	20-140	100-675	70-458	87
Ba	650	500-800	10-300	100-560	853,0	321
Ra	n×10 <sup>-6</sup>	-	-	8×10 <sup>-7</sup>	-	4,77×10 <sup>-7</sup>
As	1,7	6-13	1-1,2	4,0-8,2	15,9	3,05
Sb	0,5	1,2-2	0,01-0,05	0,25-1,0	1,0	0,346
Br	2,1	5-10	1-20	1,0-10,0	8,8	0,50
Ag	0,07	0,07-0,1	0,003-0,25	0,01-0,5	0,4	<0,2
Au	0,0043	0,001-0,004	0,0005-0,007	0,001-0,005	0,008	0,006
Zn	80	80-120	15-30	31-82,5	158	42,3
Sc	10	12-15	1-3	5,0-15,8	9,4	5,52
La	29,0	30-90	17-40	17,3-50	34,0	16,08
Ce	70	50-80	25-92	33,4-61,5	28-59	38,20
Nd	37,0	23-35	16-38	20-33	-	15,18
Sm	8,0	6-6,5	4-10	3,9-8,0	3,0-5,7	2,51
Eu	1,3	1-1,8	0,7-2	1,0-1,9	0,6-1,6	0,411
Tb	4,3	0,9-1,1	1,6-2	0,1-1,1	0,3-1,0	0,506
Yb	0,33	2,6-3,6	1,2-4,4	0,9-4,0	2,4	2,53
Lu	0,8	0,7	0,8-1,2	0,16-0,4	0,2-0,4	0,345
Th	13,0	9,6-12	1,7-5	3,4-10,5	-	5,45
U	2,5	3-4	0,45-1,3	0,5-11,0	-	2,84
Hf	1,0	2,8-6	3-6	3,8-5,9	3-7	12,15
Ta	2,5	0,8-3,5	0,01-1,5	0,16-2,7	1,5	0,907
Cr	83,0	80-120	35	18,0-230	80-100	199,9
Fe	64500	33000-47000	9800-30000	13300-38000	22300	13400
Co	18,0	14-20	0,3-10	3,5-15,3	14,1	7,74

Таблица 2

## Результаты статистической обработки данных инструментального нейтронно-активационного анализа

Химический элемент	Кларк в земной коре [7], мг/кг	x, мг/кг	min, мг/кг	max, мг/кг	s	V, %	Городской фон, мг/кг	Порог положительной аномалии, мг/кг
Na	25000	5019	1500	8930	1697	33,8	5019	10111
K	25000	10146	3363	16518	3964	39,1	10146	22039
Rb	150	48,0	11,2	80,9	14,8	30,9	48,0	92,4
Cs	3,7	1,553	0,493	2,830	0,434	27,9	1,553	2,854
Ca	39600	12479	2200	29600	6338	50,8	10300	19504
Sr	340	71,6	20,0	159,0	37,2	51,9	71,6	183,1
Ba	650	237,6	75,0	400,0	75,2	31,6	237,6	463,2
Ra	n×10 <sup>-6</sup>	3,51×10 <sup>-7</sup>	1,89×10 <sup>-7</sup>	5,59×10 <sup>-7</sup>	1,12×10 <sup>-7</sup>	32,0	3,51×10 <sup>-7</sup>	6,87×10 <sup>-7</sup>
As	1,7	3,26	0,05	11,39	2,85	87,4	2,66	8,09

Окончание таблицы 2

Химический элемент	Кларк в земной коре [7], мг/кг	x, мг/кг	min, мг/кг	max, мг/кг	s	V, %	Городской фон, мг/кг	Порог положительной аномалии, мг/кг
Sb	0,5	0,461	0,148	1,311	0,241	52,2	0,410	0,853
Br	2,1	1,426	0,067	14,361	2,796	196,0	0,964	4,860
Ag	0,07	<0,2	-	0,6	-	-	<0,2	<0,2
Au	0,0043	0,009	0,002	0,026	0,005	54,4	0,008	0,016
Zn	80	91,7	14,2	286,3	67,8	73,9	67,0	139,0
Sc	10	5,71	1,69	8,86	1,39	24,3	5,71	9,87
La	29,0	15,25	4,95	26,56	4,70	30,8	13,91	24,17
Ce	70	35,13	12,70	51,40	9,379	26,7	35,13	63,27
Nd	37,0	13,57	5,75	22,82	3,95	29,1	13,57	25,41
Sm	8,0	2,68	0,95	5,31	0,82	30,7	2,68	5,14
Eu	1,3	0,494	0,199	0,896	0,166	33,6	0,494	0,992
Tb	4,3	0,396	0,080	0,714	0,128	32,4	0,384	0,728
Yb	0,33	1,89	0,49	2,93	0,57	30,4	1,89	3,62
Lu	0,8	0,263	0,061	0,460	0,092	35,1	0,263	0,540
Th	13,0	4,71	1,29	7,27	1,30	27,7	4,71	8,6
U	2,5	1,99	0,38	3,25	0,67	33,8	1,99	4,00
Hf	1,0	7,5	2,7	12,5	2,4	31,4	7,5	14,6
Ta	2,5	0,604	0,166	1,108	0,224	37,1	0,604	1,276
Cr	83,0	252,5	150,5	476,0	93,0	36,8	228,6	442,1
Fe	64500	17321	5300	30900	4782	27,6	16422	26946
Co	18,0	8,50	2,82	13,90	2,24	26,4	8,15	13,85

Положительные аномалии концентрации элементов установлены для Ca, As, Sb, Br, Ag (содержание Ag выше порога чувствительности ИНАА было выявлено только в одной точке, поэтому указанный элемент был исключён из дальнейшего анализа), Au, Zn, La, Sm, Cr, Fe, Co и носят единичный характер (наблюдаются не более чем в 1 – 2 точках опробования), но в то же время оказывают влияние на увеличение средних концентраций элементов (на рис. 2 – сиреневая область диаграммы), и, как правило, исключаются из статистической обработки геохимической информации или заменяются на средние значения [1, 3]. В результате статистической обработки были определены «городские фоны» (средние концентрации элементов с исключением положительных аномалий), которые используются для расчёта коэффициентов концентрации (относительно концентрации элементов на природной (фоновой) территории – рис. 2) и для сравнения геохимических особенностей разных территорий (населённых

пунктов), и были определены пороговые значения положительных аномалий («городской фон» + 3s) содержания элементов в городских почвах.

Сравнивая полученные нами значения содержания элементов на природных территориях, прилегающих к г. Йошкар-Оле, с данными других исследователей [2, 5, 7, 8], следует отметить, что концентрации большинства из них соответствуют фоновому содержанию в почвах, пониженное содержание отмечено у Sr, Br, Nd, Sm и Eu, что соответствует элементному составу песчаных почвообразующих пород. Повышенные природные концентрации выявлены только у Au и Hf, что необходимо учитывать при оценке техногенных территорий.

При сопоставлении средних концентраций элементов на техногенных территориях с природными концентрациями можно сделать следующие выводы:

- пониженное содержание ( $K_c < 0,9$ ) в почвах промышленной зоны г. Йошкар-Олы характерно для Na, K, Rb, Sr, Ba, Ra,

Tb, Yb, Lu, Th, U, Hf и Ta, что в первую очередь связано с изменением почвенного покрова в процессе строительства (увеличением песчаной фракции);

- содержание, соответствующее природному ( $K_c 0,9 - 1,1$ ), – для As, Sc, La, Ce, Nd, Sm и Co; в то же время у четырёх элементов (As, La, Sm и Co) отмечены единичные пробы с аномальными концентрациями техногенного характера;

- повышенные средние концентрации ( $K_c > 1,1$ ) выявлены у Ca, Cs, Sb, Br, Au, Zn, Eu, Cr и Fe, при этом техногенные аномалии установлены для Ca, Sb, Br, Au, Zn, Cr и Fe.

Наличие повышенных концентраций таких элементов, как: Ca, Cs, As, Sb, Au, La, Sm, Eu, Cr, Co и Fe [9, 10] может быть объяснено деятельностью широко распространённых в недавнем прошлом котельных на твёрдом топливе, что подтверждается данными микроскопических исследований почвенных образцов (наличием частичек сажи). Повышенное содержание Ca и Fe характерно для городских ландшафтов в связи с деятельностью предприятий стройиндустрии (также Sb при производстве кирпича [1]), металлообработки, строительства зданий и дорог [1, 2]. Источниками загрязнения Zn является гальваническое производство (также Cr [1]), полупроводниковая и электротехническая (также Au) промышленность. Источником брома могут быть фармацевти-

ческое производство [2], автомобильный транспорт (также Sb [1]) и лесные пожары (перенос аэральных впадений).

В целом средние концентрации элементов в почвах промышленной зоны г. Йошкар-Олы либо значительно ниже (большинство изученных элементов) концентраций в почвах населённых пунктов России и мира [3], либо соответствуют таковым (Sr, Au, Ce, Sm, Lu и Hf) [2]. Исключение из изученных элементов составляет Cr, содержание которого в 2,3 – 2,8 раза выше, чем средние значения, характерные для городских почв России и мира. При этом необходимо учитывать значительный вклад природного Cr (около 80 %).

На городских почвах содержание техногенных радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  значительно ниже, чем на природной территории (табл. 3).

На природных территориях цезий аэральные выпадений сконцентрирован в поверхностном слое почвы (70 – 90 % техногенных радионуклидов сосредоточено в верхнем 0 – 10 см слое), что соответствует ранее полученным данным [11]. На техногенных территориях распределение цезия в слое 0 – 20 см становится равномерным (с учётом плотности сложения почвы) в результате трансформации почв при строительных работах и перемешивания (или заменой) поверхностного загрязнённого слоя, что может служить показателем нарушения почвенного покрова.

Таблица 3

#### Результаты статистической обработки данных гамма-спектрометрического анализа

Радионуклид	Содержание радионуклида на природных территориях, прилегающих к г. Йошкар-Оле		Содержание радионуклида в почве (в слое 0-10 см) промышленной зоны г. Йошкар-Олы						
	Удельная активность в слое 0-10 см, Бк/кг	Содержание в единицах массы, мг/кг	$\bar{x}$ , Бк/кг	min, Бк/кг	max, Бк/кг	s	V, %	Порог положительной аномалии, Бк/кг	Содержание в единицах массы, мг/кг
$^{40}\text{K}$	40,4-384,0	0,16-1,48	295,1	102,0	501,0	115,7	39,2	642,1	0,39-1,93
$^{226}\text{Ra}$	5,0-17,5	$(1,4-4,8) \times 10^{-7}$	12,8	6,9	20,5	4,2	34,3	24,6	$(1,9-5,6) \times 10^{-7}$
$^{232}\text{Th}$	1,6-18,9	0,4-4,2	15,9	6,2	27,0	6,1	38,6	34,2	1,5-6,7
$^{137}\text{Cs}$	11,0-23,5	$(3,4-7,3) \times 10^{-9}$	2,6	0,0	6,4	2,1	80,4	9,0	$(0,0-2,0) \times 10^{-9}$

У естественных радионуклидов ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) отмечена тенденция к увеличению содержания на промышленной территории, что связано в первую очередь со значительной долей пойменных участков, для которых характерны повышенные концентрации естественных радионуклидов [11], и с использованием привозных строительных материалов (грунтов, щебня). Распределение природных радионуклидов по почвенному профилю повсеместно имеет равномерный характер. Сопоставление данных гамма-спектрометрии и ИНАА показало, что доля техногенного радиоактивного  $^{137}\text{Cs}$  в среднем составляет  $5,5 \times 10^{-8} \%$  от валового цезия, измеренного методом ИНАА. Следовательно, отсутствует корреляция между данными сравниваемых методов измерений. По Th, наоборот, прослеживается тесная положительная связь, что говорит о преобладании  $^{232}\text{Th}$  в валовом содержании данного элемента.

В целом, положительные техногенные аномалии содержания радионуклидов отсутствуют, содержание техногенного  $^{137}\text{Cs}$  соответствует уровням глобальных радиоактивных выпадений [12], а естественных изотопов – их природному содержанию в почвообразующих породах.

С целью характеристики пространственного распределения элементов и радиационных параметров для каждой точки

опробования были рассчитаны показатели полиэлементного химического загрязнения Zc, эффективной удельной активности природных радионуклидов и плотности поверхностного загрязнения почвы техногенным  $^{137}\text{Cs}$ .

Проблемой при использовании показателя Zc является определение фонового уровня содержания элементов. В качестве фонового уровня могут быть использованы ПДК, кларки элементов в почве (земной коре), фоновые концентрации на природных территориях (расположенных в аналогичных ландшафтно-геохимических условиях, что и территории с техногенным воздействием). В данной работе в качестве критериального уровня содержания элементов было использовано среднее содержание элементов в почвах природных территорий, прилегающих к г. Йошкар-Оле и расположенных в аналогичных ландшафтных условиях, что и территории обследованной промышленной зоны (табл. 1, 2).

В геоинформационной системе были построены карты значений суммарного показателя Zc, применяемого для оценки полиэлементного химического загрязнения почвы (рис. 3), и эффективной удельной активности природных радионуклидов (рис. 4) и поверхностной плотности загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  (рис. 5).

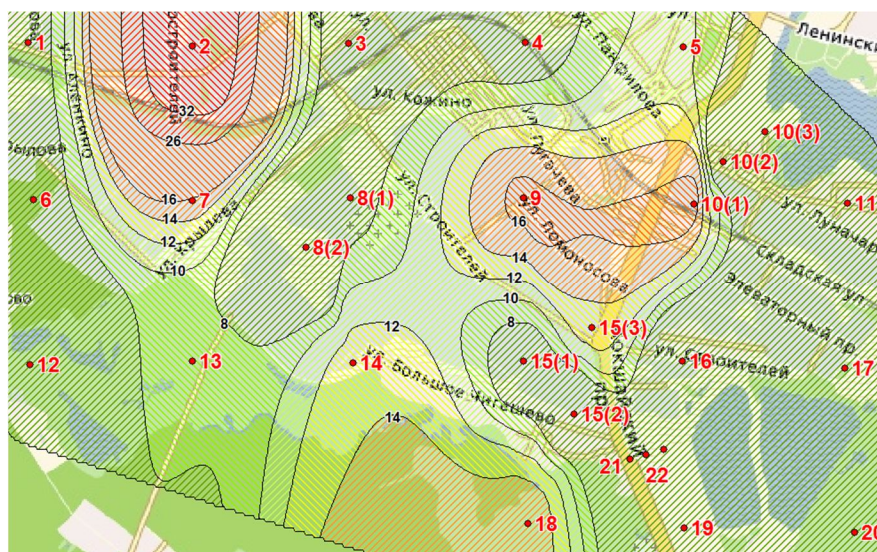


Рис. 3. Карта показателя полиэлементного загрязнения Zc

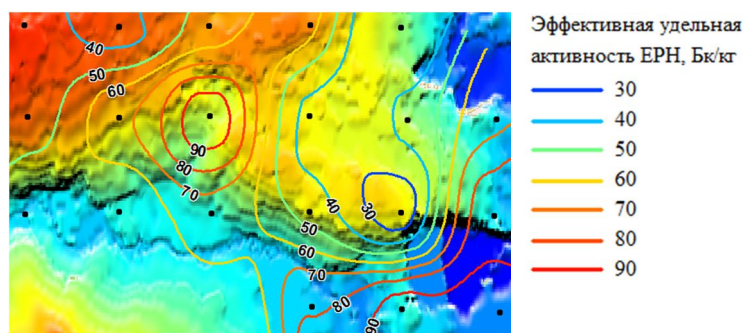


Рис. 4. Карта эффективной удельной активности естественных радионуклидов ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ )

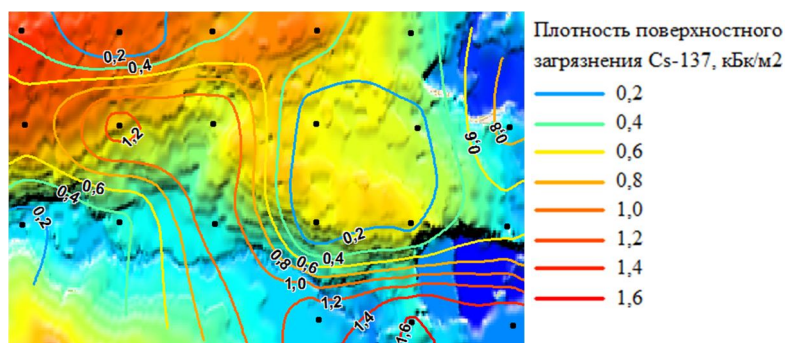


Рис. 5. Карта поверхностной плотности загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$

По величине суммарного показателя загрязнения  $Z_c$  [6] большая часть изученной территории относится к территориям с низкой степенью загрязнения –  $Z_c < 16$  (среднее значение для промышленной зоны 8,5).

Средняя степень загрязнения ( $Z_c$  16 – 17) установлена в районе ул. Ломоносова и ул. Карла Маркса (на рис. 3 – точки 9 и 10), которая обусловлена элементами Вг, Zn, Са, Au, Sb и Сг. Повышенный уровень содержания ( $Z_c$  15,4) по всем элементам отмечается в пойме реки Нолька (на рис. 3 – точка 18), занимающей самый низкий гипсометрический уровень в системе геохимически сопряженных ландшафтов промышленной территории г. Йошкар-Олы).

Максимальный уровень загрязнения (классифицируемый как средняя и высокая степень загрязнения  $Z_c$  от 16 до 37) по изученному спектру химических элементов выявлен на участке от ул. Машиностроителей до ул. Крылова (на рис. 3 – линия точка 2 – точка 7), на котором сконцентрированы металлообрабатывающие производства и гаражные кооперативы. Основной вклад здесь вносят Вг и Zn, а также Са, As, Sb и Fe.

Анализируя данные пространственного распределения радионуклидов, следует от-

метить их повышенное содержание в геосистемах низшего гипсометрического уровня с механически ненарушенным почвенным покровом (в этих условиях наблюдается максимальное содержание техногенного цезия и естественных радионуклидов ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$ ). Минимальное содержание радионуклидов характерно для автоморфных элювиальных участков. В целом по уровню содержания ЕРН (максимальные значения  $A_{эфф} < 95$  Бк/кг) почвогрунты г. Йошкар-Олы соответствуют нормам радиационной безопасности (370 Бк/кг).

### Выводы

1. Впервые для г. Йошкар-Олы проведена геохимическая оценка содержания широкого спектра химических элементов, при этом концентрация большинства элементов обусловлена природными факторами и близка к содержанию в песчаных породах.

2. Пониженное содержание ( $K_c < 0,9$ ) в почвах промышленной зоны г. Йошкар-Олы характерно для Na, K, Rb, Sr, Ba, Ra, Tb, Yb, Lu, Th, U, Hf и Ta, что в первую очередь связано с изменением почвенного покрова в процессе строительства (увеличением песчаной фракции).

3. Содержание, соответствующее при-



родному (Кс 0,9 – 1,1), установлено для As, Sc, La, Ce, Nd, Sm и Co; в то же время у четырёх элементов (As, La, Sm и Co) отмечаются пробы с аномальными концентрациями техногенного характера.

4. Повышенные среднегородские концентрации (Кс > 1,1) выявлены у Ca, Cs, Sb, Br, Au, Zn, Eu, Cr и Fe, при этом техногенные аномалии установлены для Ca, Sb, Br, Au, Zn, Cr и Fe.

5. В целом средние концентрации элементов в почвах промышленной зоны г. Йошкар-Олы либо значительно ниже (большинство изученных элементов) концентраций в почвах населённых пунктов России и мира, либо соответствуют таковым (Sr, Au, Ce, Sm, Lu и Hf); исключение из изученных элементов составляет Cr, содержание которого в 2,3 – 2,8 раза выше, чем средние значения, характерные для городских почв России и мира (при этом вклад природного Cr составляет около 80 %).

6. По величине суммарного показателя загрязнения Zc большая часть изучен-

ной территории относится к территориям с низкой степенью загрязнения (Zc < 16); средняя степень загрязнения (Zc 16 – 17) установлена в районе ул. Ломоносова и ул. Карла Маркса (обусловлена элементами Br, Zn, Ca, Au, Sb и Cr), высокая степень загрязнения (Zc до 37) выявлена на участке от ул. Машиностроителей до ул. Крылова (основной вклад вносят Br и Zn, а также Ca, As, Sb и Fe).

7. В распределении техногенных радионуклидов <sup>137</sup>Cs решающую роль на территории города играет строительная трансформация грунтов; распределение естественных радионуклидов (K-40, Ra-226, Th-232) зависит от минералогического состава почвогрунтов и положения в каскадной ландшафтно-геохимической системе; в целом положительных аномалий в распределении радионуклидов на изученной территории не выявлено; содержание естественных радионуклидов соответствует нормам радиационной безопасности, а техногенного <sup>137</sup>Cs – уровням глобальных радиоактивных выпадений.

**Исследования выполнялись в рамках гранта Русского географического общества (тема «Геохимическая характеристика почв территории г. Йошкар-Олы»).**

#### Список литературы

1. Перельман, А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. – М.: Астрель 2000, 1999. – 768 с.
2. Язиков, Е.Г. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв / Е.Г. Язиков, А.В. Таловская, Л.В. Жорняк. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 264 с.
3. Алексеенко, В.А. Химические элементы в геохимических системах. Кларк почв селитебных ландшафтов: монография / В.А. Алексеенко, А.В. Алексеенко. – Ростов н/Д: издательство Южного федерального университета, 2013. – 388 с.
4. Доклад об экологической ситуации в Республике Марий Эл за 2012 год. – Йошкар-Ола: ГУП РМЭ «Типография Правительства Республики Марий Эл», 2013. – 219 с.
5. Reimann, C. Chemical elements in the environment: factsheets for the geochemist and environmental scientist / C. Reimann, P. Caritat. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998. – 398 p.
6. Сает, Ю.Е. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сает, Б.А. Ревич, Е. П. Янин и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
7. Справочник по геохимии / Г.В. Войткевич, А.В. Кокин, А.Е. Мирошников, В.Г. Прохоров. – М.: Недра, 1990. – 480 с.
8. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
9. Рихванов, Л.П. Общие и региональные проблемы радиозащиты / Л.П. Рихванов. – Томск: Изд-во ТПУ, 1997. – 384 с.
10. Арбузов, С.И. Геохимия редких элементов в углях Сибири / С.И. Арбузов, В.В. Ершов. – Томск: Изд. дом «Д-Принт», 2007. – 468 с.
11. Гончаров, Е. А. Распределение техногенных и естественных радионуклидов в лесных экосистемах заповедника «Большая Кокшага» / Е. А. Гончаров, Д. И. Пигалин // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – № 4 (20). – С. 76-87.
12. Atlas of cesium deposition of Europe after the Chernobyl accident. - Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1998. – CD-ROM.

Статья поступила в редакцию 05.02.15.

**Информация об авторах**

**ГОНЧАРОВ Евгений Алексеевич** – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой экологии, почвоведения и природопользования Института леса и природопользования, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – природопользование, радиоэкология, геохимия окружающей среды. Автор 63 публикаций. E-mail: GoncharovEA@volgatech.net

**ПИГАЛИН Дмитрий Иванович** – магистрант Института леса и природопользования, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – природопользование, радиоэкология, геохимия окружающей среды. Автор пяти публикаций. E-mail: pigalin.dima@yandex.ru

**ШУРКОВ Николай Геннадьевич** – магистрант Института леса и природопользования, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – радиоэкология. E-mail: shurkovniron@mail.ru

UDK 550.42

**ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF SOIL COVER  
IN THE URBAN AREAS****E. A. Goncharov, D. I. Pigalin, N. G. Shurkov**

Volga State University of Technology,  
3, Lenin Sq, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation  
E-mail: GoncharovEA@volgatech.net

**Keywords:** *chemical element; bulk rock geochemical sampling; urban landscape; soil; technogenic pollution.*

**ABSTRACT**

**Introduction.** Urban soil landscape is the most stable indicator of a long-term man-made impact. In the scientific literature, there is practically no data about rare and rare earth metals in the urban soil of Russia and other countries. Thus, the **goal** of the research was to obtain the data about the content of a number of chemical elements (Na, K, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Rb, Sr, Ag, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Ra, Th, U) to assess the nature of distribution and the level of man-made impact on the soils in the industrial area of Yoshkar-Ola city. **The method** was intended to elaborate the geoinformation basis for the study area, bulk rock geochemical sampling and the measurement by means of instrumental neutron activation and gamma-spectrometric analyses, statistical processing and calculation of geochemical and radioecological indices (the backgrounds of natural and industrial areas, concentration ration of the elements in the industrial area relative to the natural background (Kc), indices of polyelemental pollution (Zc)). **Results.** In the natural area, concentration of the most elements satisfies the background matter content in the soil, determined by other researchers; nevertheless, there was low content of Sr, Br, Nd, Sm and Eu; and high content of Au and Hf in the area. It is important to take into account this fact to assess the industrial area. In the industrial area, there was low content (Kc<0,9) of Na, K, Rb, Sr, Ba, Ra, Tb, Yb, Lu, Th, U, Hf and Ta; there was close to the indices which were typical for the natural area (Kc 0,9 – 1,1) content of As, Sc, La, Ce, Nd, Sm and Co; and there was high content (Kc>1,1) of Ca, Cs, Sb, Br, Au, Zn, Eu, Cr and Fe; content of the <sup>137</sup>Cs man-caused radioactive nuclides was significantly lower in the industrial area than in the natural area, distribution of the natural radioactive nuclides (<sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th) depended on the mineral composition of the soil and the location in the landscape. Content of Zc was low in the most part of the studied area (mean value Zc 8,5). High level of polyelement pollution was found to be in the two zones (a zone with Zc 16 – 17 and the zone with Zc 16 – 37); it is explained by Br, Zn, Ca, As, Sb and Fe content. **Conclusion:** a summary assessment of the soil pollution in the industrial area of Yoshkar-Ola and a comparison with the data, obtained in some other cities, showed relatively safe environment in the studied city. Concentration of the most elements is explained by the natural factors (they are close to concentration, which is typical for the sandy soil) and soil transformation during the building works.

Researches were carried out within the grant of Russian Geographical Society (topic «Geochemical Characteristics of Soils of Yoshkar-Ola»).

## REFERENCES

1. Perelman A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshafta* [Geochemistry of Landscape]. Moscow: Astreya, 2000, 1999. 768 p.
2. Yazikov E.G., Talovskaya A.V., Zhornyak L.V. Otsenka ekologo-geokhimicheskogo sostoyaniya territoriy g. Tomsk po dannym izucheniya pylaerozoley i pochv [An Assessment of Ecological and Geochemical Condition in Tomsk by the Study Data of Aerosols and Soils]. Tomsk: Izdatelstvo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2010. 264 p.
3. Alekseenko V.A., Alekseenko A.V. *Khimicheskie elementy v geokhimicheskikh sistemakh. Klark pochv selitebnykh landshaftov: monografiya*. [Chemical Elements in Geochemical Systems. Clarke of Soils in the Landscapes Intended for Building: monograph]. Rostov-on-Don: Izdatelstvo Uzhnogo federalnogo universiteta, 2013. 388 p.
4. Doklad ob ekologicheskoy situatsii v Respublike Mariy El za 2012 god [A Report on Ecological Situation in the Republic of Mari El for 2012]. Yoshkar-Ola, 2013. 219 p.
5. Reimann C., Caritat P. Chemical Elements in the Environment: Factsheets for the Geochemist and Environmental Scientist. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998. 398 p.
6. Saet Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P., et al. *Geokhimiya okruzhayushchey sredy* [Geochemistry of Environment.]. Moscow: Nedra, 1990. 335 p.
7. Voitkevich G.V., Kokin A.V., Miroshnikov A.E., Prokhorov V.G. *Spravochnik po khimii* [A Manual on Chemistry]. Moscow: Nedra, 1990. 480 p.
8. Kabata-Pendias A., Pendias Kh. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh* [Microelements in Plants and Soils]. Moscow: Mir, 1989. 439 p.
9. Rikhvanov L.P. *Obshchie i regionalnye problemy radioekologii* [General and Regional Problems of Radioecology]. Tomsk: Izdatelstvo TPU, 1997. 384 p.
10. Arbuzov S.I., Ershov V.V. *Geokhimiya redkikh elementov v uglyakh Sibiri* [Geochemistry of Rare Elements in the Siberia Coal Deposits]. Tomsk: Izdatelstvo «D-Print», 2007. 468 p.
11. Goncharov E. A., Pigalin D.I. Raspredelenie tekhnogennykh i estestvennykh radionuklidov v lesnykh ekosistemakh zapovednika «Bolshaya Kokshaga» [Distribution of Anthropogenic and Natural Radioactive Nuclides in Forest Ecosystems of the «Bolshaya Kokshaga» Natural Reserve]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*. [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2013. № 4. Pp. 76-87.
12. Atlas of Cesium Deposition of Europe after the Chernobyl Cccident. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1998. CD-ROM.

The article was received 05.02.15.

**Citation for an article:** Goncharov E. A., Pigalin D. I., Shurkov N. G. Ecological and geochemical assessment of soil cover in the urban areas. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2015. No 1 (25). Pp. 87-97.

#### Information about the authors

*GONCHAROV Evgeny Alexeyevich* – Candidate of Agricultural Sciences, Head at the Chair of Ecology, Pedology and Nature Management, Institute of Forestry and Nature Management, Volga State University of Technology. Research interests – nature management, radioecology, geochemistry of environment. The author of 63 publications. E-mail: GoncharovEA@volgatch.net

*PIGALIN Dmitry Ivanovich* – student at the Master's program, Institute of Forestry and Nature Management, Volga State University of Technology. Research interests – nature management, radioecology, geochemistry of environment. The author of five publications. E-mail: pigalin.dima@yandex.ru

*SHURKOV Nikolay Gennadiyevich* – student in the Master's program, Institute of Forestry and Nature Management, Volga State University of Technology. Research interests – radioecology. E-mail: shurkovniron@mail.ru