

УДК 502.55

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ РАНЖИРОВАНИЕ СЕЛИТЕБНЫХ ЗОН РЯДА КУРОРТНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ РФ ПО ТРЕМ ОЦЕНОЧНЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ

© 2017 г. И. С. Помеляйко

Северо-Кавказский федеральный университет, филиал г. Пятигорск.
ул. 40 лет Октября, д. 56, г. Пятигорск, Ставропольский край, 357700 Россия.
E-mail: irinapomelyayko@rambler.ru

Поступила в редакцию 20.01.2016 г.

Рассмотрены три различных показателя (Z_n , Z_f , Z_k) оценки степени загрязнения почв тяжелыми металлами. Значения суммарных показателей загрязнения должны коррелировать между собой. В рамках оценки экологического состояния городской территории выполнены геохимические исследования почв курортов Кавказских Минеральных Вод, по результатам которых рассчитаны Z_n , Z_f , Z_k . В статье выполнено сопоставление загрязнения тяжелыми металлами почв селитебных зон Кисловодска, Ессентуков и Железноводска с аналогичными показателями, рассчитанными для 27 крупных промышленных городов РФ по трем оценочным критериям. Результаты свидетельствуют, что при эколого-геохимической оценке территории населенного пункта применение лишь одного из оценочных критериев может привести к ложному заключению о степени опасности загрязнения почв.

Ключевые слова: экологический мониторинг, суммарный показатель загрязнения почв, оценочный критерий, Кавказские Минеральные Воды, ранжирование.

Одним из результатов экологического мониторинга (ЭМ) является расчет комплексного показателя, характеризующего качество исследуемой природной среды (воздуха, воды, почвы, биоты и т.д.). Для расчета данного показателя необходимо сопоставление результатов аналитических измерений контролируемых веществ с их регламентируемыми величинами, поскольку само по себе значение концентрации элемента не дает представления о качестве исследуемой среды. Определив, к примеру, что валовое содержание кадмия в почвах составляет 2.2 мг/кг, нельзя сделать вывод допустимо ли оно без сравнения с нормативным либо эталонным значением. В связи с этим при проведении ЭМ регламентируемые величины загрязняющих веществ (ЗВ) имеют огромное значение. В большинстве природных сред, например атмосфера, поверхностная и подземная гидросфера в качестве данных величин выступает предельно допустимая концентрация (ПДК) химического вещества. Особняком стоит оценка степени химического загрязнения почв, для которой в РФ разрешено применять три расчетных показателя. Их основное различие — в величине, к которой

приводит фактическое содержание элемента (C) в почве данной территории.

В первом случае концентрация химического вещества приводится к его ПДК (ОДК) [5, 13]:

$$H_c = \frac{C}{C_{\text{пдк}}}, \quad (1)$$

где H_c — коэффициент концентрации загрязнения почвы; C — фактическое содержание загрязняющего вещества; $C_{\text{пдк}}$ — ПДК данного загрязняющего вещества. Во втором — к фоновому содержанию [5, 13, 19]:

$$K_c = \frac{C_i}{C_{\text{ф}}}, \quad (2)$$

где K_c — коэффициент концентрации химического вещества; C_i — фактическое содержание элемента; $C_{\text{ф}}$ — среднее фоновое содержание химического вещества. В третьем — к кларку данного элемента в почве [7]:

$$K = \frac{C}{C_k}, \quad (3)$$

где C_k — среднее (кларковое) содержание загрязняющего вещества в почвах мира.

Главные нормативы, позволяющие оценивать степень загрязнения почвы химическим веществом, — их ПДК [2] и ориентировочно допустимая концентрация (ОДК) [3]. Данные нормативы разработаны на основе комплексных экспериментальных исследований опасности опосредованного воздействия вещества на здоровье человека с учетом его токсичности, эпидемиологических исследований и международного опыта нормирования. Согласно [5], почвы, в которых обнаружено превышение 1 ПДК, должны быть отнесены к сильно загрязненным либо к средне загрязненным. Основным недостаток гигиенических нормативов ПДК и ОДК — незначительное число загрязняющих веществ, для которых они разработаны. Так, ГН 2.1.7.2041-06 лимитирует валовое содержание ПДК 30 химических веществ, а ГН 2.1.7.2511-09_ОДК — всего 7 элементов. В результате допустимые концентрации в почве для таких загрязняющих веществ, как бериллий, барий, бор, висмут, молибден, олово, селен, стронций, отсутствуют.

Согласно МУ 2.1.7.730-99 и СанПиН 2.1.7.1287-03, концентрации в почве ЗВ сравнивают с их фоновыми уровнями (Φ) либо с кларками (K). Массовая доля тяжелых металлов (ТМ) на уровне ЗФ или более служит показателем загрязнения почвы данным ТМ. Согласно СанПиН 2.1.7.1287-03, чем выше концентрация и класс опасности ТМ в почве, тем больше она загрязнена.

Поскольку почвы населенных пунктов в большинстве случаев содержат не одно, а несколько химических веществ, оценку степени опасности их загрязнения комплексом ТМ проводят по суммарному показателю загрязнения. Расчет суммарного показателя загрязнения почв с учетом ПДК (ОДК) по аналогии с существующими Z_Φ и Z_K [5, 7, 13] автор предлагает назвать Z_n :

$$Z_n = \frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n}, \quad (4)$$

где $C_{1,2,\dots,n}$ — фактические концентрации нормируемых химических веществ; $\text{ПДК}_{1,2,\dots,n}$ — ПДК(ОДК) данных химических веществ.

Расчет суммарного показателя загрязнения Z_Φ (с учетом фона) рассчитывается по формуле [13, 19]

$$Z_\Phi = \sum_{i=1}^n (K_{c_i} + \dots K_{c_n}) - (n-1), \quad (5)$$

где K_c — коэффициент концентрации вещества, определяется по формуле (2); n — число суммируемых элементов.

Формула (5) имеет определенные ограничения. Ее с осторожностью следует применять в случае, когда почвы обеднены микроэлементами, а фоновая концентрация ТМ ниже предела обнаружения [7].

Согласно разработанной оценочной шкале [13], показатель загрязнения почв Z_Φ позволяет выделить зоны риска для здоровья населения.

Для населения, переезжающего из районов с низкими фоновыми массовыми долями ТМ в почвах в техногенные районы с их высокими фоновыми массовыми долями и еще не адаптировавшегося к местным условиям, рекомендуется применять оценку степени опасности загрязнения почв ТМ, установленную по показателю загрязнения Z_K [7].

Расчет суммарного показателя загрязнения Z_K (с учетом кларков) рассчитывался по формуле [7]

$$Z_K = \sum_{i=1}^n (K_i + \dots K_n) - (n-1), \quad (6)$$

где K — коэффициент концентрации вещества, определяется по формуле (3); n — число суммируемых элементов.

Показатель загрязнения почв Z_K , подобно показателю Z_n , позволяет привести фактические концентрации ЗВ к единым стандартизованным значениям данных веществ.

При эколого-геохимической оценке территории населенного пункта может применяться каждая из данных методик. Наибольшее распространение в последние годы получила оценка степени загрязнения почв с учетом фона (Z_Φ). В идеале значения суммарных показателей загрязнения, рассчитанные по трем данным методикам, должны коррелировать. В противном случае применение лишь одного из данных оценочных критериев (Z_n , Z_Φ , Z_K) может привести к ложному заключению о степени опасности загрязнения почв исследуемой территории.

В рамках оценки экологического состояния городской территории автором были выполнены геохимические исследования почв курортов КМВ — Кисловодска, Ессентуков и Железноводска [10, 16, 17]. Были установлены ЗВ, концентрации которых превышали значения ПДК, фона и кларка в почвах курортов. Рассчитаны показатели, позволяющие определить эколого-геохимическое состояние грунтов (табл. 1).

Отбор проб почв в пределах городской черты гг. Ессентуки, Железноводск, Кисловодск прово-

Таблица 1. Результаты геохимического анализа проб грунтов, отобранных на территории селитебных зон курортов КМВ

Показатель	ПДК (ОДК), мг/кг	Фон	Кларк [1]	Средняя многолетняя концентрация в селитебной зоне, мг/кг		
				Железноводск	Ессентуки	Кисловодск
Свинец	130	10	10	19	36.4	42.7
Кадмий	2	0.4	0.5	0.46	1.51	2.19
Ртуть	2.1	0.02	0.01	0.04	0.1	0.24
Цинк	220	52.5	50	62.5	103.5	127.7
Медь	132	12	20	18	58	76
Никель	80	24	40	24.5	28.5	60
Z_n				0.83	3.06	4.01
Z_ϕ				4.58	22.40	28.01
Z_k				1.08	9.85	13.90

дили в период с 2011 по 2014 г. Мониторинг грунтов осуществлялся на ключевых участках методом конверта (3 × 3 м) с глубиной отбора 0.1 м. Пробы отбирались весной и осенью на регламентируемых функциональных зонах (ФЗ): территории детских площадок, рекреационные и селитебные зоны, I зоны санитарной охраны водоемов, вблизи крупных автомагистралей и железнодорожного полотна, на приусадебных участках и в промышленной зоне. Плотность отбора в рамках данного исследования составила 1 проба/5 км², что допустимо, поскольку были обследованы все функциональные зоны курортов. Количество опытных площадок (ОП) в: Кисловодске – 14, Ессентуках – 14, Железноводске – 12. С каждой площадки отбиралась одна объединен-

ная проба, составленная из 5 точечных. За время проведения мониторинга количество отобранных образцов составило в Кисловодске – 112, Ессентуках – 112, Железноводске – 96. Всего было выполнено 320 химических анализов по 21 показателю. Это вещества 1–2 класса опасности: Pb, Hg, Cd, Zn, Ni, Be, Cu, As, F; вещества с повышенным в почвах региона КМВ природным содержанием: Ba, Sr; индикаторы различного вида загрязнений: нефтепродукты (НФ), фосфаты (Ф), Al, NH₄⁺, NO₃⁻, Se, Mn; показатели радиоактивности пород зоны аэрации: цезий-137, стронций-90; кислотность среды (рН). Определения проводились методом эмиссионного анализа в аккредитованной лаборатории аналитического центра г. Ессентуки, являющейся филиалом Государ-

Таблица 2. Места заложения опытных площадок в г. Кисловодске

Номер площадки	Место заложения опытной площадки	Функциональная зона
1	Фоновая проба, Курортный парк, г. Малое Седло	рекреационная
2	ул. Фоменко, ЗАО “Байсад”	промышленная
3	ул. Седлогорская	селитебная
4	ул. Желябова (косогор возле скв. № 23)	транспортная
5	пос. Новокирловский	зона сельскохозяйственного назначения
6	ул. Азербайджанская	селитебная
7	АЗС на въезде	АЗС
8	пос. Луначарского	зона сельскохозяйственного назначения
9	пойма р. Белая	первая зона санитарной охраны водоемов
10	ул. Героев Медиков	территория детской площадки
11	пр. Победы	транспортная
12	ул. Промышленная	промышленная
13	ул. Пушкина, вблизи железнодорожного полотна	транспортная
14	ул. Катыхина	селитебная

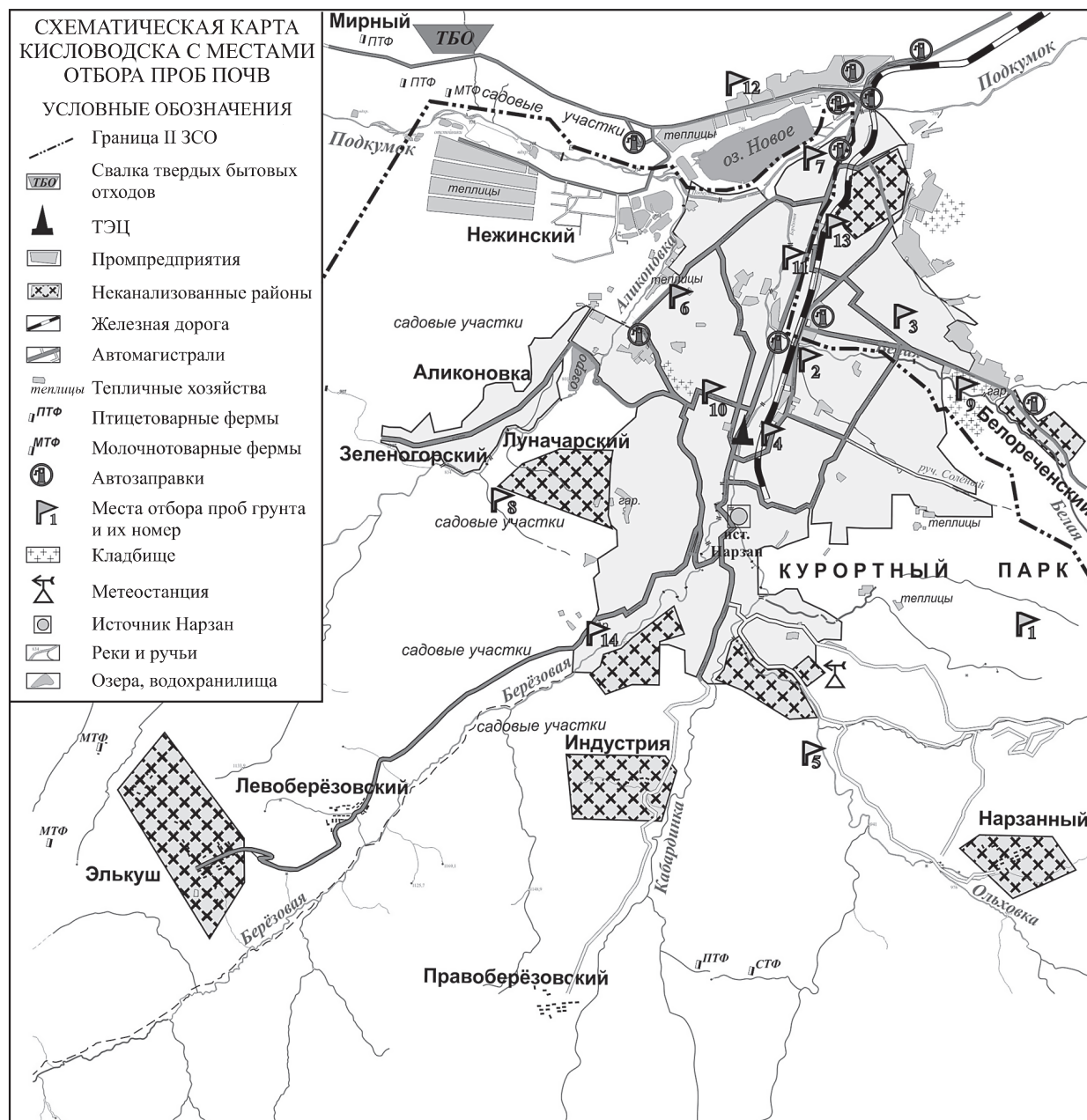


Рис. 1. Места заложения опытных площадок для отбора проб грунта в г. Кисловодске.

ственного регионального центра стандартизации, метрологии и испытаний в г. Пятигорске. За фон принимались параметры грунта, отобранного на юго-востоке Кисловодска в курортном парке на горе Малое Седло (высотная отметка 1219 м). Такая территория получает минимальное антропогенное воздействие и является автономной. Полученный аналитический материал был подвергнут статистической обработке и сгруппирован по функциональным зонам в программных пакетах Microsoft Excel. Почвенно-геохимическое картографирование выполнено в пакете CorelDRAWX6.

Средний уровень pH в исследованных грунтах – 7.6 (слабощелочная реакция среды). При данной реакции среды свинец имеет низкую относительную подвижность, цинк – очень низкую, а кадмий вообще не переходит в подвижное состояние [8]. Грунты курортов КМВ хорошо сорбируют ТМ. По данным [10], первый период полужизни ТМ сильно варьирует: Zn – от 70 до 510 лет, Cd – от 13 до 1100 лет, Cu – от 310 до 1500 лет и Pb – от 740 до 5900 лет. Необходимо обратить внимание и на повышенное содержание в почвах курортов КМВ бария (2800 мг/кг) и стронция (240 мг/кг). По мнению ряда исследо-

Таблица 3. Величины концентраций элементов в различных функциональных зонах Кисловодска на начало и конец экологического мониторинга

Функциональная зона	Концентрация элемента, мг/кг													
	Pb	Cd	Hg	Ni	Zn	As	Cu	F	Sr	Ba	Mn	HФ	Ф	NH ₄
Промышленная (ОП № 2, № 12)*	26.5	1.42	0.09	23.50	93.50	2.30	40.00	0.44	191.00	500.00	150.80	116.70	13.32	8.30
	39.4	1.63	0.28	68.00	141.70	3.35	88.50	0.68	206.00	750.00	495.30	139.70	100.60	19.00
Селитебная (ОП № 3, № 6, № 14)	27.30	1.42	0.12	29.00	82.50	1.80	31.00	0.44	167.00	330.00	549.70	55.00	5.55	4.17
	44.17	2.07	0.24	64.00	141.10	4.76	78.00	0.55	229.00	2800.00	364.50	164.80	14.80	12.27
Водоохранная зона (ОП № 9)	12.50	1.67	0.03	18.00	50.60	1.39	8.93	0.55	227.00	450.00	102.79	16.00	2.41	7.08
	22.50	2.00	0.06	50.00	92.50	1.00	23.00	0.68	227.00	4310.00	2940.80	93.00	3.70	9.60
Железная дорога (ОП № 13)	42.75	1.09	0.10	55.00	97.80	2.20	39.00	0.48	202.00	250.00	187.20	69.30	8.70	8.18
	51.00	1.74	0.34	50.00	145.00	4.20	79.50	0.35	220.00	600.00	500.0	134.30	28.10	6.60
Автомагистраль (ОП № 4, № 11)	24.17	1.42	0.01	29.00	111.10	4.76	21.00	0.55	167.00	420.00	549.70	95.00	5.55	6.30
	48.75	1.98	0.20	28.50	112.20	5.10	38.20	0.55	213.00	310.00	450.00	204.80	14.80	7.08
Почвы с/х (ОП № 5, № 8)	21.88	0.95	0.03	24.50	23.00	4.51	10.50	0.85	127.00	270.00	683.20	8.60	6.29	6.25
	30.60	2.19	0.12	23.00	30.00	6.80	12.50	1.10	240.00	380.00	480.00	19.40	11.10	2.50
АЗС (ОП № 7)	32.13	2.00	0.03	21.50	98.88	5.10	34.00	0.55	200.00	310.00	450.00	105.00	2.59	7.15
	49.80	2.15	0.09	20.30	127.70	5.23	76.00	0.65	201.00	300.00	464.40	155.70	3.33	7.08
Детская площадка (ОП № 10)	10.00	0.74	0.03	18.50	100.00	2.80	13.60	0.30	148.00	430.00	99.19	37.70	5.55	3.00
	11.25	0.74	0.04	19.50	115.20	2.90	13.50	0.30	162.10	420.00	102.20	42.00	5.60	1.56
Рекреационная зона (ОП № 1)	10.00	1.06	0.02	24.00	45.00	1.40	12.00	0.32	158.00	350.00	317.30	11.80	1.11	8.30
	13.00	1.00	0.02	25.00	52.50	2.20	15.50	0.25	125.00	280.00	520.00	13.00	2.30	4.17

*В скобках даны номера опытных площадок; концентрация элемента дробь: в числителе — данные за апрель 2011 г., в знаменателе — за октябрь 2014 г.

Таблица 4. Диапазон концентраций элементов в почве г. Кисловодска

№ п/п	Элемент	Минимальная концентрация (C_{\min}), мг/кг	Средняя по городу концентрация ($C_{\text{ср}}$), мг/кг	Максимальная концентрация (C_{\max}), мг/кг	Фоновая концентрация ($C_{\text{ф}}$), мг/кг
1	pH	6.63	7.64	8.00	6.63
2	Нефтепродукты	8.60	75.25	164.80	11.8
3	Аммонийный азот	1.96	7.30	19.00	4.17
4	Стронций	125.00	201.23	240.00	125.0
5	Фосфаты	1.11	15.72	100.60	1.11
6	Свинец	10.00	34.4	74.00	10.0
7	Мышьяк	1.00	3.61	6.80	2.2
8	Кадмий	0.74	1.85	2.49	1.0
9	Никель	10.00	27.04	68.00	24.0
10	Ртуть	0.01	0.24	0.54	0.02
11	Барий	250.00	896.15	4310.0	280.0
12	Цинк	45.00	92.04	145.0	45.0
13	Медь	8.93	44.19	98.00	12.0
14	Фтор	0.25	0.58	1.10	0.25
15	Алюминий	0.38	7.68	21.50	0.78
16	Марганец	99.19	407.43	683.2	317.30

Таблица 5. Распределение поллютантов в грунтах различных функциональных зон

Функциональная зона	Величина Z_c	Категория загрязнения грунтов	Поллютанты, концентрации которых в данной ФЗ выше средних по городу
Промышленная зона	37.7–108.1	Опасная	Pb, Hg, Zn, Ni, HФ, Ba, фосфаты
Железная дорога	36	Та же	Cd, Ni, Cu, Hg, Sr, фосфаты
Авто и ж/д магистрали, южная селитебная зона	22–30	Умеренно опасная	HФ, Hg, Pb, Se, Sr, Cd, NO ₃
АЗС	22	Та же	HФ, Cd, Cu, Pb, Zn
Селитебная зона	19–21	- " -	NH ₄ , Ba, Pb, Sr, As, HФ, фосфаты
Зона санитарной охраны реки	20	- " -	NH ₄ , NO ₃ , Ba, Sr
Почвы с/х	16–17	- " -	Cd, Al, Mn, As, F, Sr, фосфаты
Детская площадка	10.5	Допустимая	NO ₃

вателей [1], в России опасность присутствия бария в почвах недооценена. Избыток бария, особенно в сочетании с избытком стронция, что свойственно почвам региона КМВ, может привести к нарушению кальциевого обмена и тяжелому поражению костной системы. Поскольку геохимические исследования проводились по трем городам-курортам КМВ, результаты мониторинга представляют собой большой блок данных. В рамках данной статьи в качестве примера приведены результаты мониторинга почв г. Кисловодска (рис. 1, табл. 2–5). Места заложения опытных площадок приведены в табл. 2 и на рис. 1.

На следующем этапе исследования было выполнено сопоставление химического загрязнения ТМ почв селитебных зон Кисловодска [15], Эссентуков и Железноводска с аналогичными по-

казателями, рассчитанными для 27 крупных промышленных городов РФ по трем оценочным критериям ($Z_{\text{п}}$, $Z_{\text{ф}}$, $Z_{\text{к}}$).

Для сравнения выбраны города с напряженным и критическим экологическим состоянием (ЭС). Как известно, по совокупности экологических условий города России делятся на пять категорий [4]: 1 – благополучное экологическое состояние, 2 – удовлетворительное, 3 – умеренно напряженное, 4 – напряженное, 5 – критическое. В основу данной градации был положен ряд признаков: объем вредных выбросов в атмосферу и водоемы, класс опасности загрязняющих веществ, уровень превышения ПДК поллютантов в воздухе и почвах, географические условия города.

Согласно данному ранжированию, города-курорты Эссентуки, Железноводск и Кисловодск отнесены к 1-й категории с благополучным ЭС.

К этой категории отнесены только семь городов РФ, к 4-й – 26% городов РФ, к 5-й – 9%. К напряженной и критической категории ЭС отнесены такие крупные промышленные, аграрные центры, узлы авиалиний, шоссейных и железнодорожных путей, как Архангельск, Благовещенск, Волгоград, Воронеж, Москва, Нижний Новгород, Омск, Пермь, Самара, Саратов, Уфа, Челябинск и др. Концентрация химических элементов в почвах селитебных зон данных городов сравнивалась с аналогичными данными, полученными по курортам КМВ. Сравнивалось средневзвешенное содержание валовых форм тяжелых металлов 1–2 классов опасности (Pb, Cd, Hg, Zn, Ni, Cu) в селитебных функциональных зонах городов. Выбор этих шести ТМ обусловлен тем, что, во-первых, для них разработаны соответствующие ПДК (ОДК) в почвах; во-вторых, данные ЗВ включены в стандартный перечень веществ, подлежащих определению [19]. Анализировались данные, полученные в период 2006–2014 гг. Данные для расчетов были взяты из ежегодников загрязнения почв [7], из отчетов о государственном мониторинге, опубликованном в научных статьях [11, 12, 18, 21, 22], и из авторефератов диссертаций [6, 14, 20]. Во всех городах опробовалась верхняя часть почвенных отложений 0–20 см, т.е. максимально трансформированный слой, непосредственно контактирующий с поверхностью. Почвы селитебных зон всех рассматриваемых в статье городов относятся к группе слабощелочных (рН 7.0–7.5).

Для оценки степени взаимосвязи трех оценочных показателей между собой были построены графики. Наибольшие коэффициенты корреляции получены при использовании степенных линий, уравнения которых представлены на рис. 2.

Наиболее сильная прямая связь установлена между переменными $Z_{\text{п}}$ и $Z_{\text{к}}$ ($R = 0.881$). Величина коэффициента корреляции, равная 0.834, между оценочными параметрами $Z_{\text{ф}}$ и $Z_{\text{к}}$ также свидетельствует о прямой сильной связи. Коэффициент корреляции между оценочными показателями $Z_{\text{п}}$ и $Z_{\text{ф}}$ ($R = 0.656$) соответствует прямой средней корреляционной связи.

На следующем этапе исследования было выполнено ранжирование городов по трем ($Z_{\text{п}}$, $Z_{\text{ф}}$, $Z_{\text{к}}$) оценочным показателям загрязнения почв (табл. 6, рис. 3).

По величине ранга города делились на три группы: 1 – высоко опасная категория (ВК) загрязнения почв; 2 – опасная категория (ОК) загрязнения почв; 3 – умеренно опасная категория (УК) загрязнения почв. Соответственно первые

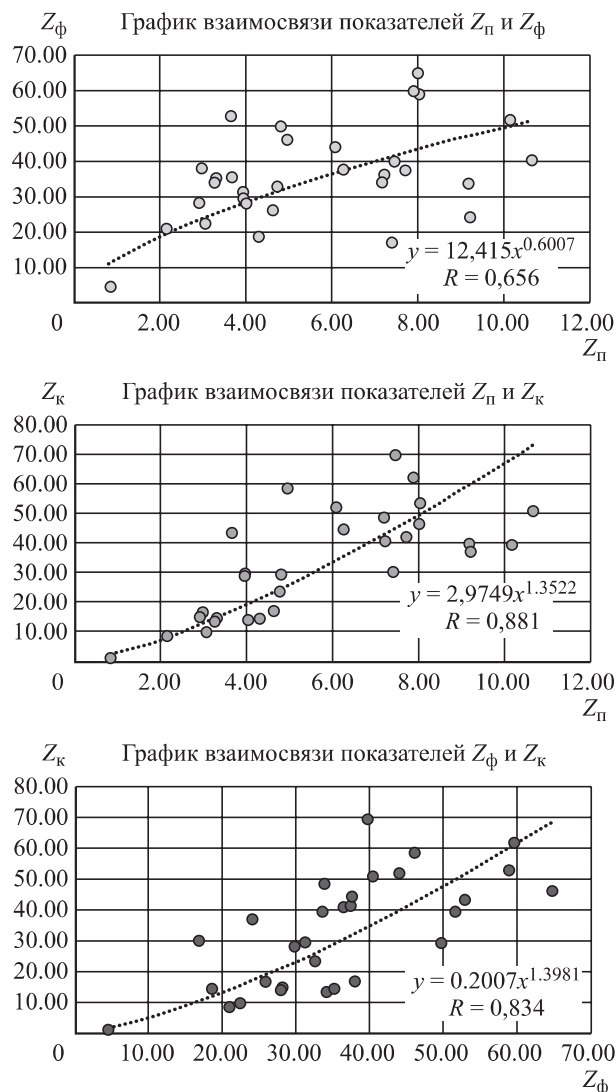


Рис. 2. Графики взаимосвязи оценочных критериев суммарных показателей загрязнения почв.

10 городов (см. табл. 6) были отнесены к 1-й категории, города с рангом от 11 до 20 – ко 2-й категории, а с рангом от 21 до 30 – к 3-й категории.

Анализируя результаты ранжирования, можно сделать выводы.

1. Ранги ряда городов: Омск, Ижевск, Тольятти, Ульяновск, Уфа, по разным оценочным показателям существенно отличаются друг от друга. К примеру, категория загрязнения почв г. Омска варьирует от высоко опасной ($Z_{\text{п}}$) до опасной ($Z_{\text{к}}$) и умеренно опасной ($Z_{\text{ф}}$).

2. По трем оценочным критериям ($Z_{\text{п}}$, $Z_{\text{ф}}$, $Z_{\text{к}}$) к 1-й высоко опасной категории загрязнения почв отнесены пять городов: Иркутск, Пенза, Челябинск, Екатеринбург, Саратов; ко 2-й опасной категории загрязнения почв отнесены города: Пермь

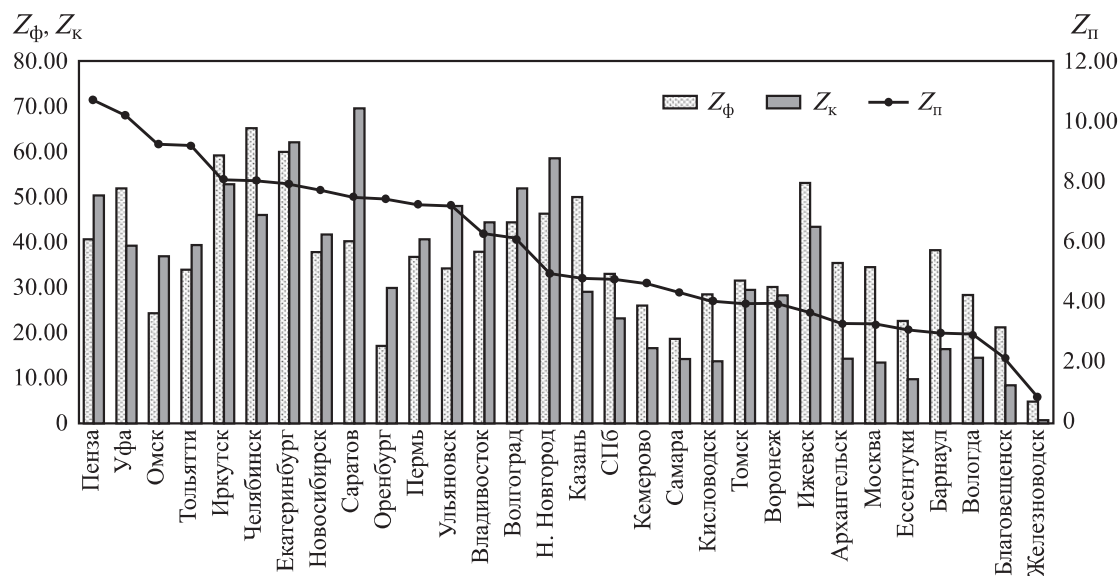


Рис. 3. Диаграммы загрязнения почв ряда городов РФ, построенные с учетом различных оценочных показателей ($Z_{\text{п}}$, $Z_{\text{ф}}$, $Z_{\text{к}}$).

и Санкт-Петербург; к 3-й умеренно опасной категории загрязнения почв отнесены четыре города: Благовещенск, Вологда, Essentuki и Железноводск.

3. Таким образом, только для 11 из 30 городов выявлена сходимость значений суммарных показателей загрязнения, рассчитанных по трем методикам, что составляет лишь 37%.

4. Кларковое и фоновое содержания элементов в почвах ряда городов существенно разнятся. Для большинства городов характерно соотношение $Z_{\text{ф}} > Z_{\text{к}}$. К ним могут быть отнесены города Казань (1.7 раз), Вологда (1.9 раз), Кисловодск (2 раза), Барнаул (2.3), Архангельск (2.4 раза), Москва (2.5 раз), Благовещенск (2.5 раз), Железноводск (4.2 раза). Почвы, являющиеся для данных городов фоновыми, содержат существенно меньшие концентрации химических веществ (Pb, Cd, Hg, Zn, Ni, Cu), чем их кларковые величины. Для городов Саратов, Омск и Оренбург справедливо обратное соотношение $Z_{\text{к}} > Z_{\text{ф}}$. Соответственно в этих городах почвы содержат в 1.5–1.8 раз большие концентрации Pb, Cd, Hg, Zn, Ni, Cu по сравнению с кларковыми величинами.

5. Согласно разработанной оценочной шкале [14], по суммарному показателю загрязнения $Z_{\text{ф}}$ почвы селитебных зон 19 городов соответствуют *опасной категории* загрязнения. При данном показателе загрязнения грунтов увеличивается как общая заболеваемость населения, так и число детей с хроническими заболеваниями и нарушениями сердечно-сосудистой системы. Почвы еще 10 городов, в число которых входят Омск и Орен-

бург, по суммарному показателю загрязнения $Z_{\text{ф}}$ соответствуют *умеренно опасной категории*, что ведет к увеличению общей заболеваемости. Наименьший показатель загрязнения выявлен в почвах Железноводска. Только почвы селитебной зоны этого города относятся к *допустимой категории*, а заболеваемость детей характеризуется наиболее низким уровнем и минимальной частотой встречаемости функциональных отклонений.

6. Величины суммарного показателя загрязнения почв $Z_{\text{п}}$ с учетом ПДК (ОДК) и $Z_{\text{ф}}$ с учетом фона не обладают достоверной корреляционной связью.

7. Среднее содержание ЗВ в почвах курортов Кисловодск и Essentuki практически соответствует их концентрации в крупных промышленных городах с напряженным и критическим экологическим состоянием.

Подводя итог всему вышеизложенному, можно отметить, что при эколого-геохимической оценке территории населенного пункта, особенно селитебных зон, применение лишь одного из оценочных критериев ($Z_{\text{п}}$, $Z_{\text{ф}}$, $Z_{\text{к}}$) может привести к ложному заключению о степени опасности загрязнения почв. На сегодняшний день для достоверной оценки ЭС почв городской территории необходимо использование всех трех оценочных критериев. При существенном расхождении полученных значений необходимо ориентироваться на величину суммарного показателя загрязнения почв с учетом ПДК (ОДК), поскольку только он отражает воздействие данного уровня загрязне-

Таблица 6. Ранжирование по трем оценочным показателям загрязнения почв ряда городов РФ

Суммарный показатель загрязнения почв с учетом:								
ПДК (ОДК)			фонового содержания			кларкового содержания		
№	Город	Z _п	№	Город	Z _ф	№	Город	Z _к
1	Пенза	10.66	1	Челябинск	64.72	1	Саратов	69.51
2	<i>Уфа</i>	10.16	2	Екатеринбург	59.51	2	Екатеринбург	61.93
3	<i>Омск</i>	9.21	3	Иркутск	58.85	3	Нновгород	58.64
4	<i>Тольятти</i>	9.17	4	<i>Ижевск</i>	52.77	4	Иркутск	53.00
5	Иркутск	8.04	5	<i>Уфа</i>	51.60	5	Волгоград	51.82
6	Челябинск	7.99	6	Казань	49.74	6	Пенза	50.61
7	Екатеринбург	7.88	7	Нновгород	46.01	7	<i>Ульяновск</i>	48.17
8	Новосибирск	7.70	8	Волгоград	43.96	8	Челябинск	46.15
9	Саратов	7.45	9	Пенза	40.30	9	Владивосток	44.62
10	Оренбург	7.40	10	Саратов	39.75	10	<i>Ижевск</i>	43.30
11	Пермь	7.22	11	Барнаул	38.01	11	Новосибирск	41.71
12	<i>Ульяновск</i>	7.18	12	Владивосток	37.68	12	Пермь	40.69
13	Владивосток	6.26	13	Новосибирск	37.43	13	<i>Тольятти</i>	39.79
14	Волгоград	6.08	14	Пермь	36.34	14	<i>Уфа</i>	39.42
15	Нновгород*	4.94	15	Архангельск	35.26	15	<i>Омск</i>	37.00
16	Казань	4.79	16	Москва	34.14	16	Оренбург	30.12
17	СПб	4.75	17	<i>Ульяновск</i>	33.92	17	Томск	29.50
18	Кемерово	4.63	18	<i>Тольятти</i>	33.64	18	Казань	29.31
19	Самара	4.29	19	СПб	32.51	19	Воронеж	28.60
20	Кисловодск	4.01	20	Томск	31.25	20	СПб	23.58
21	Томск	3.93	21	Воронеж	29.79	21	Кемерово	16.94
22	Воронеж	3.92	22	Вологда	28.12	22	Барнаул	16.67
23	<i>Ижевск</i>	3.66	23	Кисловодск	28.01	23	Вологда	14.64
24	Архангельск	3.28	24	Кемерово	25.86	24	Архангельск	14.56
25	Москва	3.27	25	<i>Омск</i>	24.12	25	Самара	14.36
26	Ессентуки	3.06	26	Ессентуки	22.40	26	Кисловодск	13.90
27	Барнаул	2.95	27	Благовещенск	20.98	27	Москва	13.59
28	Вологда	2.90	28	Самара	18.57	28	Ессентуки	9.85
29	Благовещенск	2.14	29	Оренбург	16.89	29	Благовещенск	8.50
30	Железноводск	0.83	30	Железноводск	4.58	30	Железноводск	1.08

*Нновгород – Нижний Новгород; жирным курсивом выделены те города, ранг которых по разным оценочным критериям (Z_п, Z_ф, Z_к) существенно различается.

ния исследуемой территории на здоровье человека. В перспективе необходима разработка ПДК (ОДК) для тех химических элементов, которые в настоящее время их не имеют. Учитывая специфику

и народнохозяйственное значение, а также запреты, действующие в I и II зонах санитарной охраны городов-курортов КМВ, для них должны быть разработаны специальные нормативы ПДК (ОДК).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Водяницкий Ю. Н.* Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах // Почвоведение. 2012. № 3. С. 368–375.
2. ГН 2.1.7.2041-06 Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2006.
3. ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. № 14121 от 23.06.2009 г.
4. Города России: энциклопедия / Гл. ред. Г. М. Лаппо. М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. 559 с.
5. ГОСТ 17.4.3.06-86. Охрана природы. Почвы. Общие требования к классификации почв по влиянию на них химических загрязняющих веществ. М.: Изд-во стандартов, 1986. 3 с.
6. *Дабыхов М. В.* Экологическая оценка техногенно загрязненных почв урбанизированных территорий и промышленных зон г. Нижнего Новгорода // Автореф. дис. ... доктор. биол. наук. Н. Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2011. 46 с.
7. Ежегодник. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2013 году. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2014. 114 с.
8. *Ильин В. Б., Сысо А. И.* Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.
9. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 439 с.
10. *Малков А. В., Першин И. М., Помеляйко И. С. и др.* Кисловодское месторождение углекислых минеральных вод: системный анализ, диагностика, прогноз, управление. М.: Наука, 2015. 283 с.
11. *Ларионов М. В.* Особенности накопления техногенных тяжелых металлов в почвах городов Среднего и Нижнего Поволжья // Вестник Томск. гос. ун-та. 2013. № 368. С. 189–194.
12. *Мельникова А. Д., Васильев П. А., Хомяков Д. М.* Изучение содержания тяжелых металлов и бенз(а)пирена в почвах Северного административного округа Москвы // АгроЭкоИнфо (электронный журнал). 2011. № 2. http://agroecoinfo.narod.ru/journal/TEXT/RUSSIAN/nomer_2011_2.html
13. МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. М.: Минздрав России, 1999.
14. *Никитина М. В.* Эколого-химическая оценка загрязнения тяжелыми металлами основных урбандолиндов г. Архангельска // Автореф. дис. канд. хим. наук. Архангельск: Поморский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, 2011. 20 с.
15. *Помеляйко И. С., Лопатина Т. Н.* Сравнительный анализ экологического состояния крупных промышленных городов РФ и курорта федерального значения // Социология города. 2015. № 2. С. 55–75.
16. *Помеляйко И. С.* Оценка эколого-геохимического состояния пород зоны аэрации курорта Кисловодск // Изв. вузов. Геология и разведка. 2012. № 2. С. 42–48.
17. *Помеляйко И. С.* Системный анализ экологического состояния зоны гипергенеза урбанизированных территорий (на примере курорта федерального значения Кисловодска) // Автореф. дис. ... канд. тех. наук. Пятигорск: Пятигорский гос. гуманитарно-технол. ун-т, 2012. 21 с.
18. *Радомская В. И., Радомский С. М.* Состояние почвенного покрова Благовещенска // Вестник Амурского гос. ун-та. 2008. Вып. 41. С. 78–81.
19. СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2005.
20. *Спиридонова И. В.* Оценка накопления тяжелых металлов в почвах урбандолиндов Волгограда // Автореф. дис. канд. биол. наук. Волгоград: Волгоград. гос. техн. ун-т, 2009. 26 с.
21. *Сухачева И. Ф., Орлова Л. Е., Исакова О. Н. и др.* Санитарно-гигиеническое состояние почвы территории г. Самары как возможный риск здоровью населения // Изв. Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 1 (6). С. 1516–1523.
22. *Шекоян С. В., Епринцев С. А.* Анализ экотоксикологического состояния территории г. Воронеж // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2014. Т. 19. № 5. С. 1365–1367.

REFERENCES

1. Vodyanitskii, Yu. N. *Normativy soderzhaniya tyazhelykh metallov i metalloidov v pochvakh* [Standards of heavy metals and metalloids in soils]. *Pochvovedenie*, 2012, no. 3, pp. 368–375 (in Russian).
2. GN2.1.7.2041-06. *Gigienicheskie normativy. Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve* [GN2.1.7.2041-06 Hygienic standards. Maximum allowable concentration (MPC) of chemicals in soil]. Moscow Federal Center of Hygiene and Epidemiology, 2006. (in Russian).
3. GN2.1.7.2511-09. *Orientirovochno dopustimye kontsentratsii (ODK) khimicheskikh veshchestv v pochve* [The approximate permissible concentrations (APC) of chemicals in soil]. *Byulleten normativnykh aktov federal'nykh organov ispolnitel'noi vlasti* [Bulletin of normative acts of federal executive authorities], no. 14121 dated 23.06.2009 (in Russian).
4. *Goroda Rossii: entsiklopediya* [Cities of Russia: Encyclopedia]. Lappo, G.M., Ed.-in-chief, Moscow, Bol'shaya Ros-

- siskaya entsiklopediya Sci. Publ., 1998, 559 p. (in Russian).
5. GOST 17.4.3.06-86. *Okhrana prirody. Pochvy. Obshchie trebovaniya k klassifikatsii pochv po vliyaniyu na nikh khimicheskikh zagryaznyayushchikh veshchestv*. [Standard 17.4.3.06-86. Protection of Nature. Soils. General requirements to the classification of soils by the effect of chemical pollutants on them]. Moscow, Izd. Standartov, 1986, 3 p. (in Russian).
 6. Dabakhov, M. V. *Ekologicheskaya otsenka tekhnogenno zagryaznykh pochv urbanizirovannykh territorii i promyshlennykh zon g. Nizhnego Novgoroda*. [Environmental assessment of technogenic contaminated soil in urban areas and industrial zones of Nizhny Novgorod]. Extended abstract Doctoral Diss. (Biol), Nizhny Novgorod, Nizhegorodskaya State Agricultural Academy, 2011. 46 p. (in Russian).
 7. *Ezhegodnik. Zagryaznenie pochv Rossiiskoi Federatsii toksikantami promyshlennogo proiskhozhdeniya v 2013 godu*. [Annual report. Soil contamination in the Russian Federation with toxicants of industrial origin in 2013]. Obninsk, FGBU VNIIGMI-MTsD, 2014, 114 p. (in Russian).
 8. Il'in, V.B., Syso, A. I. *Mikroelementy i tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh Novosibirskoi oblasti*. [Trace elements and heavy metals in soils and plants of Novosibirsk region]. Novosibirsk, Izd. SO RAN, 2001, 229 pp. (in Russian).
 9. Kabata-Pendias, A., Pendias, X. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh* [Trace elements in soils and plants]. Translated from English. Moscow: Mir, 1989. 439 pp. (in Russian).
 10. Malkov, A.V., Pershin, I.M., Pomelyaiko, I.S. et al. *Kislovodskoe mestorozhdenie uglekislykh mineral'nykh vod: sistemnyi analiz, diagnostika, prognoz, upravlenie*. [Kislovodsk deposit of carbonic mineral waters: system analysis, diagnosis, prediction, and management]. Moscow: Nauka, 2015, 283 p. (in Russian).
 11. Larionov, M. V. *Osobennosti nakopleniya tekhnogennykh tyazhelykh metallov v pochvakh gorodov Srednego i Nizhnego Povolzh'ya* [Features of accumulation of anthropogenic heavy metals in soils of the cities in Middle and Lower Volga region]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, no. 368, pp. 189–194 (in Russian).
 12. Mel'nikova, A.D., Vasil'ev, P.A., Khomyakov, D. M. *Izuchenie sodержaniya tyazhelykh metallov i benz(a)pirena v pochvakh Severnogo administrativnogo okruga Moskvy* [The study of heavy metals and benzo (a) pyrene in the soil of the Northern administrative district in Moscow]. *AgroEkoInfo* (online journal), 2011, no. 2. Available at: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/TEXT/RUSSIAN/номер_2011_2.html (in Russian).
 13. MU2.1.7.730-99. *Gigienicheskaya otsenka kachestva pochvy naseleennykh mest*. [Hygienic assessment of soil quality in residential areas]. Moscow: Minzdrav Rossii, 1999 (in Russian).
 14. Nikitina, M. V. *Ekologo-khimicheskaya otsenka zagryazneniya tyazhelymi metallami osnovnykh urbolandshaftov g. Arkhangel'ska. Avtoref. dis. kand. khim. nauk*. [Ecological-chemical estimation of heavy metal contamination of main urban landscapes in Arkhangelsk. Extended abstract of Cand. Sci. (Chem.) Dis.]. Arkhangelsk, Lomonosov Pomor State University, 2011. 20 p. (in Russian).
 15. Pomelyaiko, I.S., Lopatina, T. N. *Sravnitel'nyi analiz ekologicheskogo sostoyaniya krupnykh promyshlennykh gorodov RF i kurorta federal'nogo znacheniya* [Comparative analysis of the environment in large industrial cities of the Russian Federation and the Federal resort city]. *Sotsiologiya goroda*, 2015, no. 2, pp. 55–75 (in Russian).
 16. Pomelyaiko, I. S. *Otsenka ekologo-geokhimicheskogo sostoyaniya porod zony aeratsii kurorta Kislovodsk*. [Assessment of environmental and geochemical status of soils and rocks in the aeration zone at Kislovodsk resort]. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*, 2012, no. 2, pp. 42–48 (in Russian).
 17. Pomelyaiko, I. S. *Sistemnyi analiz ekologicheskogo sostoyaniya zony gipergeneza urbanizirovannykh territorii (na primere kurorta federal'nogo znacheniya Kislovodsk)*. *Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk*. [System analysis of the ecological state of the supergene zone in urbanized areas (by the example of Kislovodsk Federal resort). Extended abstract of Cand. Sci. (Techn.) Diss.]. Pyatigorsk State Humanitarian University of Technology, 2012. 21 p. (in Russian).
 18. Radomskaya, V.I., Radomskii, S. M. *Sostoyanie pochvennogo pokrova Blagoveshchenska*. [Status of soil cover in Blagoveshchensk]. *Vestnik Amurskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2008, vol. 41, pp. 78–81 (in Russian).
 19. SanPiN2.1.7.1287-03. *Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy. Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k kachestvu pochvy*. [Sanitary rules and regulations. Sanitary requirements to the quality of the soil]. Moscow: Federal Center of Hygiene and Epidemiology, 2005.
 20. Spiridonova, I. V. *Otsenka nakopleniya tyazhelykh metallov v pochvakh urbolandshaftov Volgograda. Avtoref. dis. kand. biol. nauk*. [Estimation of heavy metal accumulation in soils of urban landscapes in Volgograd. Extended abstract of Cand. Sci. (Biol.) Diss.]. Volgograd State Technical University, 2009. 26 p. (in Russian).
 21. Sukhacheva, I.F., Orlova, L.E., Isakova, O.N., et al. *Sanitarno-gigienicheskoe sostoyanie pochvy territorii g. Samary kak vozmozhnyi risk zdorov'yu naseleniya* [The sanitary condition of soils in Samara as the possible risk to public health]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*. 2010, vol. 12, no. 1 (6), pp. 1516–1523 (in Russian).
 22. Shekoyan, S.V., Eprintsev, S. V. *Analiz ekotoksikologicheskogo sostoyaniya territorii g. Voronezh*. [Ecotoxicological analysis of the Voronezh city condition]. *Vestnik Tambovskogo Universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2014, vol. 19, no. 5, pp. 1365–1367 (in Russian).

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL RANKING OF RESIDENTIAL AREAS IN RESORT AND INDUSTRIAL CITIES OF THE RUSSIAN FEDERATION BY THREE SOIL CONTAMINATION CRITERIA

I. S. Pomelyaiko

North Caucasian Federal University, Pyatigorsk branch, ul. 40 let Oktyabrya 56, Pyatigorsk, Stavropol krai, 357700 Russia. E-mail: irinapomelyayko@rambler.ru

The article deals with three different indicators assessing the extent of soil contamination with heavy metals (HM). All of them are applicable for the ecological geochemical assessment of urban areas. The values of total pollution indices calculated using three different algorithms should correlate with each other. Otherwise, the application of one of the evaluation criteria (Z_p , Z_f , Z_c) can lead to a false conclusion on the degree of soil contamination risk. To assess the ecological status of the urban area, the geochemical studies of soils were performed in Caucasus Mineral Water (CMW) resorts. The pollutants were revealed in the resort soils, with the concentrations exceeding the limit, background and clark values. Environmental monitoring has been carried out for 4 years. The samples were taken twice a year, i.e., in spring and in the fall within the regulated functional zones. The chemical analysis of soils was carried out by 21 parameters. A total of 320 chemical analyzes were performed for the resort towns. Three indicators (Z_p , Z_f , Z_c) describing ecological and geochemical status of soils were calculated. The results of environmental monitoring of soils in Kislovodsk are cited as an example. The calculated values of soil contamination in CMW resorts i.e., Kislovodsk, Yessentuki and Zheleznovodsk, were compared to the similar indices calculated for 27 major industrial cities in the Russian Federation. The average content of pollutants in soils of Kislovodsk and Yessentuki resorts almost corresponds to their concentration in large industrial cities showing tense and critical ecological status. The results indicate that the application of only one evaluation criterion for the ecological and geochemical assessment of settlements may lead to misestimated degree of soil contamination risk. For reliable ecological and geochemical assessment of soils in urban areas, the use of all three evaluation criteria is required. It is necessary to develop the specific limit values for those chemical elements that do not have these values currently. Due to the specifics, economic importance and prohibitions in the sanitary protected areas of CMW resort towns, the specific limit values should be developed for them.

Key words: *ecological monitoring, total index of soil contamination, evaluation criterion, Caucasus Mineral Water, ranking.*