

**Янин Е.П. Особенности распределения химических элементов в почвах промышленных зон // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2009, № 9, с. 62–69.**

Интенсивность воздействия техногенеза на городскую среду, степень и качественный состав техногенного загрязнения достаточно надежно фиксируются уровнями содержания химических элементов в почвах, в которых формируются техногенные геохимические аномалии, пространственно отражающих устойчивые зоны загрязнения [1, 4, 6, 9]. В большинстве случаев наиболее интенсивные и комплексные геохимические аномалии наблюдаются в почвах промышленных (производственных) зон (промплощадок). Это обуславливает необходимость организации здесь специальных исследований по изучению химического состава почв, особенностей распределения и форм нахождения в них химических элементов. Результаты таких исследований учитываются при определении качественного состава техногенного загрязнения, оценке и прогнозе степени его эколого-гигиенической опасности, при проведении ОВОС и экоаудита, определении масштабов накопленного экологического ущерба и решении очередности санационных мероприятий, при разработке природоохранных мероприятий и обосновании технических решений по ремедиации (очистке) загрязненных территорий [3, 5, 7, 13].

В настоящем сообщении систематизируются результаты исследований, выполненных в пределах промышленных зон г. Саранска – крупного индустриального центра России, который по интенсивности накопления и уровням содержания различных поллютантов в городской среде, интенсивности и протяженности техногенных геохимических аномалий, их комплексности, а также по общей структуре и масштабам загрязнения территории относится к неблагоприятным в экологическом отношении городам страны [2, 8, 11, 12, 15] (табл. 1).

Таблица 1. Структура загрязнения территории г. Саранска по степени опасности (значениям суммарного показателя загрязнения  $Z_c$  в верхнем слое почв) [11]

Категория загрязнения	$Z_c$	Относительная доля от площади города, %
Допустимая	< 16	~ 25
Умеренно опасная	16 – 32	~ 50
Опасная	32 – 128	~ 20
Чрезвычайно опасная	> 128	~ 5

Наиболее интенсивным и комплексным по составу загрязнением отличаются территории промышленных (производственных) зон (промзон). Так, в почвах территорий предприятий г. Саранска установлены высокие концентрации широкого круга химических элементов (рис. 1, табл. 2). В общем случае уровень загрязнения почв и качественный состав техногенных аномалий (геохимических ассоциаций) во многом обусловлены массой пылевых выбросов, продолжительностью периода функционирования предприятия и степенью концентрирования химических элементов в промышленной пыли, образующейся в ходе технологических процессов и поступающей в атмосферу [11, 14]. Как правило, воздействие конкретного завода (вида производства) обуславливает формирование в почвах его территории специфич-

ческой по качественному составу и особенно по количественному соотношению концентраций химических элементов (значений их  $K_C$  – коэффициентов концентрации относительно фонового содержания) геохимической ассоциации.

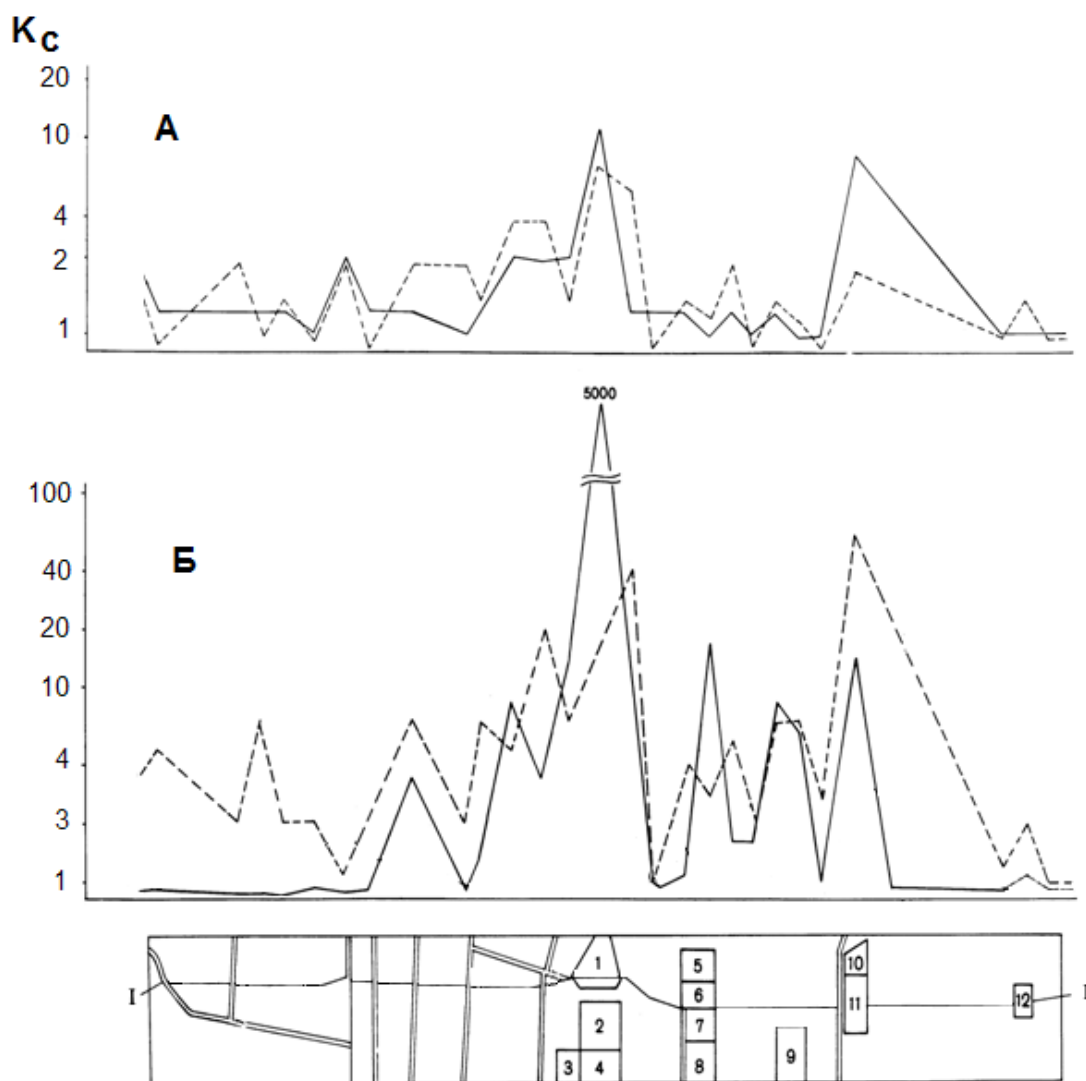


Рис. 1. Распределение значений коэффициентов концентрации ( $K_C$ ) тяжелых металлов в верхнем слое почв г. Саранска: А – молибден (сплошная линия) и цинк (пунктир); Б – ртуть (сплошная линия) и свинец (пунктир) [2].

Цифрами на схеме показано расположение промышленных (производственных) зон заводов: 1 – СЭЛЗ (электроламповый завод), 2 – «Биохимик», 3 – «Электровыпрямитель», 4 – приборостроительного, 5 – автопромоборудования, 6 – автосамосвалов, 7 – кабельного, 8 – инструментального, 9 – КПД (крупнопанельного домостроения), 10 – ВНИИИС (Институт источников света), 11 – СИС-ЭВС (специальных источников света и электровакуумного стекла), 12 – телевизионного; I-I – линия профиля.

Максимальный уровень техногенного воздействия (как по комплексности, так и по уровням концентрирования химических элементов) закономерно наблюдается для промзон заводов, отличающихся значительными по объему пылевыми выбросами, высокими концентрациями многих элементов в промышленной пыли и(или) более длительным (по сравнению с другими предприятиями) периодом функционирования. Установлено, что качественный состав техногенных аномалий в почвах конкретной промзоны неплохо соотносится с тако-

вым в пылевых выбросах данного завода [14]. Естественно, что данные по составу пылевых выбросов (промышленной пыли, поступающей в городскую среду) отражают ситуацию на момент опробования, тогда как почвы кумулируют многолетнее воздействие источников загрязнения. Кроме того, заметное количество промышленной пыли и связанных с ней химических элементов, участвуя в процессах атмосферной циркуляции, распространяются и затем осаждаются на более значительной по площади территории, в том числе за пределами промышленной зоны. Определенное количество содержащихся в осевшей на почвы пыли поллютантов выносятся за пределы промзон в составе поверхностного (талого, дождевого, поливочного) стока. Интересно отметить, что почвы в пределах многих промзон отличаются (как и промышленная пыль) пониженными (по сравнению с природными почвами) содержаниями ряда литофильных элементов (Sc, Ti, Zr, Ga, Y и др.), что указывает на участие в формировании химического состава почв пылевых выбросов [14]. Обращают на себя внимание высокие уровни концентрирования целой группы тяжелых металлов в почвах вблизи типографии (Sb, Pb, Ag, Sn), поступление которых в городскую среду может быть в значительной степени связано с неорганизованными и вентиляционными выбросами пыли, образующейся в ходе типичных для данного производства процессов. В почвах некоторых промзон (СЭЛЗ, «Биохимик», типография, СИС-ЭВС) отмечены концентрации Hg, Pb, V, Sb, превышающие гигиенические нормативы (ПДК).

Таблица 2. Геохимические ассоциации в почвах промышленных зон г. Саранска [14] \*

Завод, предприятие	$K_c$ относительно фоновое содержания в почвах					
	>300	300-100	100-30	30-10	10-3	3-1,5
СЭЛЗ	Hg	Cd	Pb-Sb-Ag	Mo-Tl-W-Zn	Sn-Cu-Ba-Cr-Ge-Bi-Co	V-Ni-Be-As-B-P
«Биохимик»	Cd	-	-	Cu-Hg-W-Ag	Mo-P-Be-Bi-Zn-Pb	Cr-B-V-Ni-Co-Sn-Li
Типография	Sb	Pb-Ag	Sn-Bi	-	Cd-Hg-Zn	P-Be-Cu-Co
«Электровыпрямитель»	-	W	Mo	Ag-Sn-Cu-Hg	Cd-Ge-Pb-Bi-Zn-Be	Co-B-V-Cr-Li-P
СИС-ЭВС	-	Pb	-	Hg	Mo-W-Cu-V-Zn-Sb	Cd-Ge-Cr-Li-Ag-Bi-B-Sn-Yb-F-As
Литейный	-	-	Bi	-	Pb-Hg-Zn	Cu-Be-V-Co-Mo-W-Cr-Sn-B-Li
Механический	-	-	Sn	W-Cd	Bi-Mo-Pb-Cu-Co-Zn-Be	Hg-V-Cr-Yb-B-P-Ag-Li
Силовой электроники	-	-	-	Mo	W-Bi-Pb-Be	Cd-V-Cu-Sn-P-B
Полупроводниковых изделий	-	-	-	Cd	W-Sb-Hg-Bi-Sn-Be-Pb	Co-V-Cu-Ag-Zn-Yb-B-Li-Ga
Точных прибор	-	-	-	W	Be-Bi-	Pb-B-V-P-Hg-Li-Co-Yb
Инструментальный	-	-	-	W	Mo-Pb-Cu-Sn-Sb	Be-Ag-Co-Hg-As-Zn-B-Yb-V-Cr-F-Li
ТВРЗ	-	-	-	Pb-Zn	Sn-W-Cr-Cd-Cu-Bi-V	Be-Co-Sb-Mo-Ag-Bi-Li
Горводканал	-	-	-	Pb-Cu	P-V-Hg-Ag-Sb-Be	Zn-Co-Mo-F-As-Sn
Хладокомбинат	-	-	-	Ag	Bi-Pb	Co-Zn-V-Li-As-B-P-Cu
Автотранспортное	-	-	-	Pb	Bi-Zn-Sb	Hg-Be-Cu-Cd-V-B-Li
Центральная котельная	-	-	-	Hg	Pb-Be-Bi	Cu-Mo-Zn-Ag-B-Co-Mo-Sn-Yb-Li-P
Кабельный	-	-	-	-	Pb-Bi-Cu-Sn-Mo-P-Sr	Zn-V-Cr
Силовых полупроводников	-	-	-	-	Pb-Bi-Cd-Be	Zn-V-Cu-B-Hg-Mo-Co-W-Li
Автосамосвалов	-	-	-	-	W-Bi-Pb-Be	Cu-B-Yb-Zn-P-Co-V-Li-Ag
КПД	-	-	-	-	Bi-Pb-V-Zn	Co-Be-B-Li-Cu-F-Sn
«Керамик»	-	-	-	-	Pb-Mn	V-Co-Cr-Zn-Cu-Be-Hg-Li-Bi-As-Mo-Ag
Теплоизоляционных материалов	-	-	-	-	Be-Pb-Bi-Cu-Zn	B-Mn-V-Co-W-Li-Yb-Mo-Ag
Пивобезалкогольных напитков	-	-	-	-	Bi-V-Be-Pb-B	Zn-Cu-Co-Ag-Li-Yb-Ge-Ga
Консервный	-	-	-	-	Pb-Hg-Bi-Be-Sn	Zn-B-V-P-Cu-Co-Li-Yb
Мясокомбинат	-	-	-	-	Bi-V	Pb-Co-Be-Zn-Li-Yb-B
Стройтранс	-	-	-	-	Pb-Bi-Be	Zn-V-Cu-P-Co-Ag-B-Li-Yb-Sn
«Резинотехника»	-	-	-	-	Pb-As-V-Sb	Bi-Zn-Co-Hg-Be-Li-Mo-Cu-B-F-Ag

\* Объем каждой выборки составляет от 20 до 30 проб, отобранных (по возможности) равномерно в пределах конкретной промышленной (производственной) зоны (промплощадки).

Существенная группа промышленных предприятий отличаются относительно невысоким уровнем концентрирования в почвах их промзон химических элементов ( $K_C$  в пределах 1,5–10). Это, в первую очередь, определяется спецификой данных производств, невысокими уровнями химических элементов в пылевыбросах и(или) незначительными объемами последних (заводы кабельный, автосамосвалов, резинотехнических изделий, предприятия пищевой промышленности). Можно предположить, что с течением времени размеры и интенсивность техногенных аномалий, фиксируемых почвами, будут увеличиваться в зонах влияния практически всех обследованных предприятий.

Важной особенностью распределения химических элементов в почвах промзон является высокая пространственная неоднородность их содержаний, что находит отражение в экстремальных значениях коэффициентов осцилляции (коэффициентов вариации по вариационному размаху) (табл. 3). Тем не менее, что показательно, даже минимальные концентрации некоторых химических элементов превышают их фоновый уровень. Максимальные значения коэффициентов концентрации практически всех элементов характерны для почв промзоны СЭЛЗ. Исключение составляют Pb, W, Cu, Cr, для которых более высокие значения указанного коэффициента наблюдаются в почвах промзоны СИС-ЭВС (производство свинцового стекла). Установлено, что пыль СИС-ЭВС отличается особенно высокими концентрациями именно этих металлов [14]. Отмеченная неоднородность распределения концентраций химических элементов в верхнем слое почв, достаточна типичная для зон техногенного загрязнения, может быть обусловлена дискретностью поставки поллютантов с выбросами и другими отходами, наличием в пределах промзон различных по мощности локальных источников загрязнения, неоднородностями ветрового поля, химического и гранулометрического состава почв, перераспределением поллютантов поверхностным стоком.

Таблица 3. Металлы в почвах промышленных зон заводов СЭЛЗ и СИС-ЭВС, мг/кг [10]

Металл	СЭЛЗ			СИС-ЭВС		
	Среднее	Пределы	Коэффициент осцилляции	Среднее	Пределы	Коэффициент осцилляции
Hg	28,3	0,08–300	1059	0,84	0,015–5	593
Sb	60	30–300	450	3	1,5–5	116
Ag	1,8	0,05–50	2775	0,08	0,05–0,3	312
Tl	4	3–5	50	–	–	–
Ba	2530	100–30000	1181	380	100–1500	368
Cd	6	3–50	783	1	0,3–3	270
Pb	213	10–1000	464	20	10–10000	49950
Zn	950	80–6000	623	280	50–1000	339
Sr	225	30–1000	431	75	30–300	360
Mo	8,7	0,5–100	1143	6,6	1–100	1500
W	9	5–30	277	11	5–70	590
Sn	11,7	1–60	504	5,4	3–30	500
Cu	198	30–300	136	186	30–1000	522
Cr	199	30–2000	990	136	30–2000	1448
Ni	63	20–300	444	49	20–150	265
V	202	70–600	262	345	80–600	150

Следует отметить, что относительно длительное техногенное воздействие (прежде всего, осаждение промышленной пыли) способствует изменению валового химического (сили-

катного) состава верхнего слоя почв промзон и определяет его высокую пространственную неоднородность в пределах небольшого по площади участка территории, что редко наблюдается в естественных условиях (табл. 4). В частности, для почв промзон (по сравнению с фоновыми почвами) характерно увеличение количества глинозема, соединений железа, кальция, магния, органики (показателя ППП), фтора и заметное уменьшение содержания кремнезема.

Таблица 4. Валовый химический состав верхнего горизонта городских почв, % [14]

Компонент	Местный фон	Территория г. Саранска				
		Жилой район «Светотехника»	Промзона СИС-ЭВС	Промзона СЭЛЗ	Вблизи завода «Резинотехника»	Вблизи ТЭЦ-2
SiO <sub>2</sub>	73,69	73,25	69,43	59,74	65,10	64,56
TiO <sub>2</sub>	0,54	0,42	0,47	0,76	0,56	0,59
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,41	6,39	8,23	14,83	10,03	9,29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,47	0,93	1,14	4,03	3,04	2,77
FeO	2,59	2,08	5,03	1,72	2,15	1,72
MnO	0,20	0,04	0,06	0,09	0,06	0,07
CaO	0,47	0,94	2,20	2,67	1,73	2,04
MgO	0,70	0,90	0,90	1,70	1,10	1,00
Na <sub>2</sub> O	0,55	0,50	0,40	1,13	0,80	0,70
K <sub>2</sub> O	1,48	1,43	1,26	2,36	2,31	1,98
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14	0,14	0,09	0,19	0,27	0,18
H <sub>2</sub> O	4,98	1,76	1,84	2,76	2,28	3,16
S <sub>общая</sub>	< 0,10	0,21	0,20	0,21	0,10	0,10
ППП	7,20	10,45	8,18	7,35	10,09	11,41
CO <sub>2</sub>	0,22	0,22	1,32	1,10	0,66	0,44
Фтор	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04

\* Потери при прокаливании.

Интенсивность и масштабы техногенного загрязнения, во многом связанные с продолжительностью функционирования предприятия, наглядно фиксируются при анализе распределения химических элементов в профиле почв [2, 11]. Например, для Hg, Zn, Mo, Pb, Cu, Ag высокие содержания в почвах промзоны завода СЭЛЗ прослеживаются до глубины 60-80 см. В пределах территории завода СИС ЭВС загрязнение почв для большинства химических элементов наблюдается в основном до глубины 10-15 см, тогда как наличие мощного источника поставки свинца (стекольное производство), дополнительное воздействие автотранспорта и ряда других предприятий определили очень высокие концентрации этого металла в 90-100 см толще почв, причем не только в зоне влияния стекольного производства (рис. 2).

Повышенная экологическая опасность формирующихся в пределах промзон техногенного загрязнения подтверждаются данными по содержаниям в почвах подвижных форм (извлекаемых аммонийно-ацетатной вытяжкой) металлов (табл. 5). Для большинства металлов в техногенных аномалиях наблюдается возрастание абсолютных концентраций указанных форм вплоть до превышения существующих гигиенических нормативов (Pb, Cu, Zn). Показательно, что в почвах промзоны СЭЛЗ доля подвижных форм металлов выше, чем в почвах территорий других заводов. Это, отчасти, может быть связано с особенностями нахождения химических элементов в составе выбросов заводов и более продолжительным периодом

формирования аномалий, в ходе которого «первичные» соединения элементов в условиях окружающей среды могли трансформироваться в подвижные «вторичные».

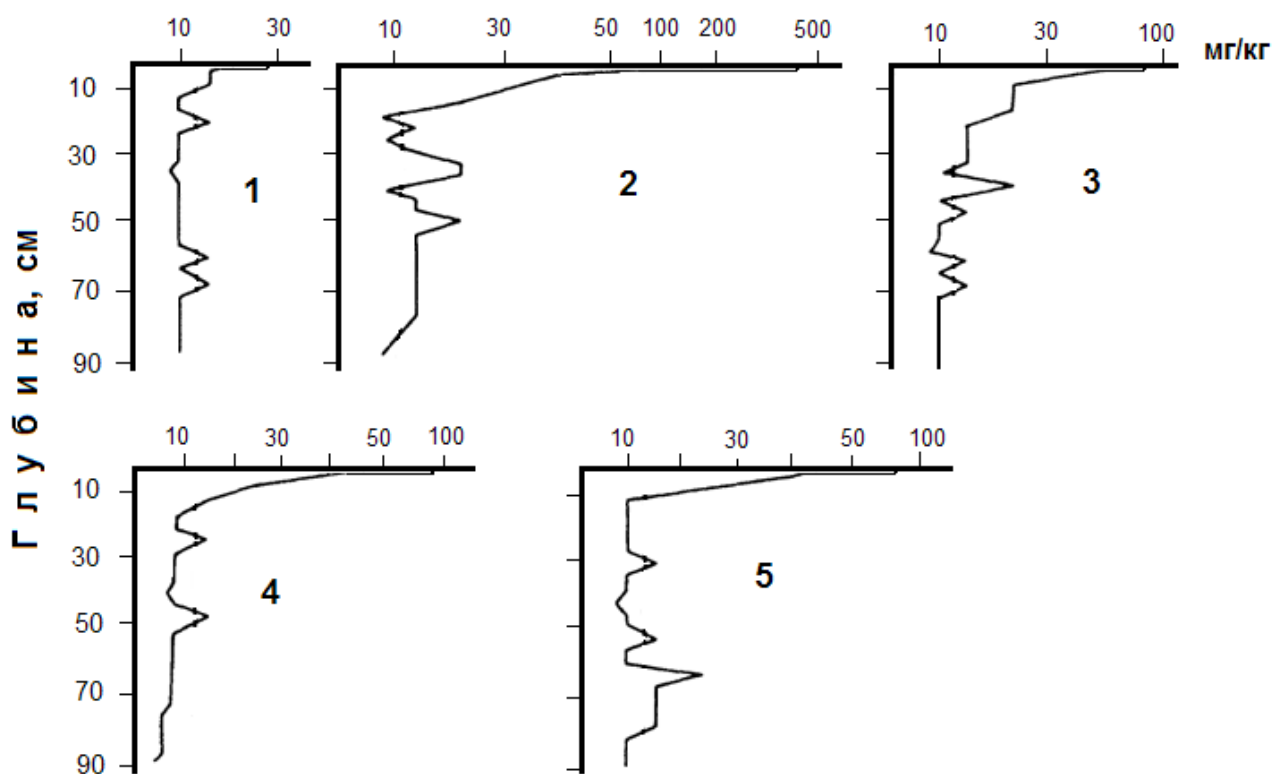


Рис. 2. Свинец в профиле почв г. Саранска (фоновый уровень свинца в почвах составляет 15 мг/кг) [2]

Расположение разрезов: 1 – жилой микрорайон «Светотехника»; 2 – промзона завода СИС-ЭВС; 3 – микрорайон «Северный» (ТЭЦ-2 и зона влияния завода СИС-ЭВС), 4 и 5 – промзона завода СЭЛЗ

Таблица 5. Формы нахождения тяжелых металлов в почвах промзон различных заводов [2, 10]

Металл	СЭЛЗ			«Электровыпрямитель»			Силовой электроники			Силовых полупроводников		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Cu	160	8,4	5,3	100	1,7	1,7	26	0,8	3,1	26	0,1	0,4
Zn	300	10,5	3,5	220	32	14,5	82	1,9	2,3	160	1,6	1
Ni	73	9,6	13	75	2	2,7	46	0,7	1,5	37	0,2	0,5
Cr	80	2,3	2,9	260	2,5	1	80	0,2	0,3	80	0,1	0,1
Cd	5	1,2	24	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Pb	480	36,4	7,6	60	3,9	6,5	30	0,9	3	30	0,2	0,7

Примечание. I – вал, мг/кг; II – ацетатно-аммонийная вытяжка (рН=4,8), мг/кг; III – доля подвижных форм, извлекаемых указанной вытяжкой, %.

Приводимые в данном сообщении материалы свидетельствуют о том, что детальное изучение химического состава почв промзон и особенностей распределения в них широкого круга химических элементов должно стать составной и обязательной частью санитарно-гигиенического мониторинга, инженерно-геоэкологических изысканий и экологических исследований, исполняемых на промышленных предприятиях и в их окрестностях соответствующими службами и организациями.

## Литература

1. Буренков Э.К., Борисенко И.Л., Москаленко Н.Н., Янин Е.П. Экологическая геохимия городских агломераций. – М.: Геоинформмарк, 1991. – 79 с.
2. Буренков Э.К., Янин Е.П., Кижапкин С.А. и др. Эколого-геохимическая оценка состояния окружающей среды г. Саранска. – М.: ИМГРЭ, 1993. – 115 с.
- 3.
- 4.
- 5.
6. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
- 7.
8. Состояние здоровья населения и среды обитания города Саранска Республики Мордовия. – Саранск, 1996. – 88 с.
- 9.
10. Янин Е.П. Экологические аспекты производства и использования ртутных ламп. – М.: Диалог–МГУ, 1997. – 41 с.
11. Янин Е.П. Электротехническая промышленность и окружающая среда (эколого-геохимические аспекты). – М.: Диалог–МГУ, 1998. – 281 с.
12. Янин Е.П. Эколого-геохимическая оценка состояния окружающей среды города Саранска. Состав техногенного загрязнения // Экологический вестник Мордовии, 2002, № 1, с. 25–33.
13. Янин Е.П. Деконтаминация городских почв, загрязненных тяжелыми металлами (проблемы, состояние, методы) // Ресурсосберегающие технологии, 2002, № 20, с. 3–49.
14. Янин Е.П. Промышленная пыль в городской среде (геохимические особенности и экологическая оценка). – М.: ИМГРЭ, 2003. – 82 с.
15. Янин Е.П. Эколого-геохимические особенности промышленного города (на примере Саранска) // Геохимическая экология и биогеохимическое изучение таксонов биосферы: Материалы четвертой Российской биогеохимической школы (3-6 сентября 2003 г.). – М.: Наука, 2003, с. 174–178.