

УДК 631.442.24:631.453:631.412

ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ЭССЕНЦИАЛЬНЫМИ И ТОКСИЧЕСКИМИ
ЭЛЕМЕНТАМИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ
ЛЕСНОЙ ОПЫТНОЙ ДАЧИ МСХА И ВЛИЯНИЕ НА ИХ
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ НАСАЖДЕНИЙ
ЛИСТВЕННИЦЫ

В. Д. НАУМОВ, Д. В. ЗАЙЧИК

(Кафедра лесоводства)

Актуальным и широко обсуждаемым в литературе вопросом является накопление избыточных количеств химических элементов в почвах и связанное с этим нарастание экологически опасных последствий для человека. Почвенный покров служит мощным поглотителем многих химических элементов, удерживая их в поверхностном слое. Однако в отличие от других компонентов природной среды (воздуха, воды), где возможны процессы периодического очищения, почва является активным аккумулятором химических элементов и имеет слабую способность к самоочищению. Благодаря буферным свойствам почва может снижать отрицательное воздействие избыточных коли-

честв химических элементов. Но буферная способность не бесконечна, и емкость ее различна в разных типах почв.

На Лесной опытной даче почвенный покров находится под пологом древесных насаждений различного состава и происхождения. Среди древесных пород наиболее перспективной с точки зрения приспособляемости к условиям крупного города является лиственница. В связи с этим для проведения исследований были выбраны в пределах XI квартала Лесной опытной дачи две пробные площади под лиственничным древостоем и смешанными насаждениями.

Цели настоящего исследования заключались в следующем:

1) определить концентрации химических элементов в различных горизонтах дерново-подзолистых почв пробных площадей XI-2 и XI-K-3 Дачи.

XI-2-A₁(D₁)-A₂(D₃)-B₁(D₅)-B₂(D₅)-C(D₂);

XI-K3-A₁(D₄)-A₂(D₉)-B(D₈)-C(D₁₂);

2) охарактеризовать поверхностные горизонты почв по уровню эссенциальных и токсичных химических элементов;

3) оценить влияние искусственных насаждений лиственницы Сукачева на химический состав почв.

Методика

Отбор почв проводили по генетическим горизонтам на двух пробных площадях. Методом флуоресцентного рентгеноспектрального анализа определяли концентрации 21 химического элемента в образцах почв с использованием анализатора АРФ-б и квантометра СРМ-25. Проводили статистическую обработку полученных данных (величину среднего арифметического, стандартного отклонения, стандартного отклонения среднего и уровни достоверности различия сопоставляемых средних значений с использованием t-критерия (Стюдента) и сопоставляли их с литературными данными. Сравнивали кон-

центрацию химических элементов в почвах под лиственничными и смешанными насаждениями для оценки степени и характера влияния искусственных насаждений лиственницы Сукачева на состав почвы.

Оценку воспроизводимости методики (суммарная ошибка измерения) проводили согласно Инструкции по метрологической оценке методик, одобренной на Методической комиссии Почвенного института им. В. В. Докучаева.

Обсуждение результатов

Использование флуоресцентного рентгеноспектрального анализа позволяет в инструментальном варианте (без вскрытия образца) определять в образцах почвы концентрации не менее 21 химического элемента. Относительные ошибки отдельного измерения концентрации различных химических элементов (Sr) варьируют в довольно широком диапазоне и составляют: для Zr и Rb — до 5%, Sr и Mn — от 6 до 10%, Fe, Th, V — от 11 до 15%, Pb, Si, Ti, W — от 16 до 20%, Co, Cr, Ni, Zn, V и U — от 21 до 30%, для As — свыше 30%. Совпадение в пределах 95% доверительного интервала результатов флуоресцентного рентгеноспектрального анализа

с данными сертификата при исследовании стандартного материала сравнения 1АУА Soil-7 получено для 17 элементов из 21, за исключением результатов для Fe, Mn, V и U, у которых расхождение в средних значениях концентрации составили соответственно +31%, +19, +48 и +38%.

Предпринятый нами анализ данных литературы о составе незагрязненных почв России — СНГ позволил собрать информацию о концентрациях 70 химических элементов и сделать заключение об исключительно высокой естественной изменчивости содержания химических элементов в почвах. Для многих элементов даже в естественных условиях характерен

диапазон концентрации в пределах 3-4 математических порядков. Установленные нами концентрации 21 химического элемента в дерново-подзолистых почвах XI квартала Лесной дачи (табл. 1) полностью вписались в эти диапазоны и были близки к медианам средних значений по СССР — СНГ.

Поскольку концентрации химических элементов во многом зависят от вида почвы, представляло интерес сопоставление полученных результатов с данными литературы, касающимися близких по виду почв. С этой целью из всей собранной информации были выбраны данные о концентрациях химических элементов в дерново-подзолистых суглини-

Т а б л и ц а 1

Концентрации химических элементов в различных группах горизонтов разрезов XI-2 (числитель) и XI-K-3 (знаменатель)

Элемент	$A_1+A_2+B_1+B_2+C$	A_1+A_2	B_1+B_2+C	$p^* <$
	M±S.E.			
As	<u>4,22±0,13</u>	<u>4,45±0,05</u>	<u>4,07±0,17</u>	—
	5,40±0,76	5,76±1,75	5,05±0,35	
Ba	<u>432±37</u>	<u>415±55</u>	<u>443±58</u>	—
	490±35	540±30	440±40	
Br	<u>1,24±0,17</u>	<u>1,5±0,4</u>	<u>1,07±0,07</u>	—
	1,74±0,52	2,5±0,7	<1,0±0,0	
Co	<u>6,5±0,8</u>	<u>5,5±1,5</u>	<u>7,2±0,4</u>	—
	8,75±0,43	8,5±1,0	9,0±0,1	
Cr	<u>77,2±12,4</u>	<u>51,5±5,5</u>	<u>94,3±11,8</u>	<u>0,05</u>
	65,5±4,5	61,5±9,5	69,5±0,5	—
Cu	<u>21,9±5,0</u>	<u>25,3±14,8</u>	<u>19,7±1,8</u>	—
	22,8±5,0	23,0±12,0	22,5±2,5	

Продолжение табл. 1

Элемент	A ₁ +A ₂ +B ₁ +B ₂ +C	A ₁ +A ₂	B ₁ +B ₂ +C	p* <
	M±S.E.			
Fe	<u>2,44±0,35</u>	<u>1,67±0,16</u>	<u>2,96±0,24</u>	<u>0,02</u>
	2,63±0,31	2,11±0,20	3,15±0,01	0,02
Mn	<u>456±100</u>	<u>596±215</u>	<u>362±84</u>	—
	606±102	746±107	466±106	
Mo	<u>2,5±0,9</u>	<u>4,65±0,15</u>	<u><1,05±0,09</u>	<u>0,001</u>
	2,93±0,93	3,7±0,9	1,4	—
Nb	<u>7,6±1,1</u>	<u>9,5±0,5</u>	<u>6,3±1,3</u>	—
	8,66±0,88	8,5±1,5	9,0	
Ni	<u>17,0±1,9</u>	<u>14,5±1,5</u>	<u>18,7±2,9</u>	—
	20,3±2,9	17,5±3,5	23,0±5,0	
Pb	<u>15,6±1,7</u>	<u>17,5±4,5</u>	<u>14,3±0,9</u>	—
	25,8±10,8	35,5±22,5	16,0±1,0	
Rb	<u>77,0±4,2</u>	<u>74±4</u>	<u>79±7</u>	—
	84,8±4,8	80,0±2,0	89,5±9,5	
Sr	<u>98,8±4,8</u>	<u>100±4</u>	<u>98±9</u>	—
	106±2	107±1	106±6	
Th	<u>7,68±0,39</u>	<u>7,5±0,3</u>	<u>7,8±0,7</u>	—
	7,75±0,42	8,0±0,3	7,6±1,0	
Ti	<u>0,440±0,026</u>	<u>0,45±0,01</u>	<u>0,43±0,05</u>	—
	0,47±0,02	0,49±0,02	0,44±0,02	
U	<u>2,10±0,14</u>	<u>2,4±0,1</u>	<u>1,9±0,1</u>	<u>0,05</u>
	2,22±0,13	2,30±0,30	2,15±0,05	—
V	<u>83,6±11,7</u>	<u>59±12</u>	<u>100±8</u>	<u>0,05</u>
	77,8±5,8	70±6	86±7	—
Y	<u>19,6±2,1</u>	<u>21,5±1,5</u>	<u>18,3±3,5</u>	—
	24,5±2,6	26,5±1,5	22,5±5,5	
Zn	<u>40,2±3,9</u>	<u>36,5±8,5</u>	<u>42,7±4,3</u>	—
	51,5±4,1	57,0±6,0	46,0±2,0	
Zr	<u>298±35</u>	<u>382±3</u>	<u>242±9</u>	<u>0,05</u>
	329±43	403±16	256±6	0,01

Примечания. М — среднее арифметическое значение концентрации; ±S.E. — стандартное отклонение среднего значения; p* < — уровень достоверности различия по t-критерию Стьюдента концентрации химических элементов в группах горизонтов (A₁+A₂) и (B₁+B₂+C).

Здесь и далее концентрация химических элементов дана в мкг/г, Fe и Ti — в %.

тых почвах Европы и Европейской части России — СНГ (табл. 2). Это позволило выявить диапазоны естественной изменчивости химических элементов, характерные лишь для определенного вида почв на территории одного континента. Ширина этих диапазонов оказалась

значительно уже мировых. Концентрации 20 из 21 химического элемента в почвах XI квартала Дачи полностью вписались и в эти диапазоны, хотя данные для Си и Мо находились на уровне их верхней границы. Неожиданное исключение составил уран, концентрация которого

Т а б л и ц а 2

Концентрация химических элементов в поверхностных слоях (горизонт А) дерново-подзолистых и суглинистых (незагрязненных) почв Европы			
Элемент	Европа (в целом)	Центр Европейской части России	Результаты настоящего исследования (А ₁ +А ₂)
As	2,65–22,0	2,65–22,0	4,45–5,75
Ba	26–2010	370	415–540
Bг			1,5–2,5
Co	1,0–14,0	1,0–14,0	5,5–8,5
Cr	<3–645	18–645	51–61
Cu	1,0–25	1,0–14	23–25
Fe	0,0003–8,96	1,20–2,80	1,67–2,11
Mn	20–12000	186–12000	596–746
Mo	0,2–3,8	0,2–3,8	3,7–4,7
Nb	400	400	8,5–9,5
Ni	3,0–46	3,0–46	14,5–17,5
Pb	<4–85	8,0–14,6	17,5–35,5
Rb	<2–194	70	74–80
Th	<5–22	6,8	7,5–8,0
Ti	0,004–1,02	0,22–0,55	0,45–0,49
U	0,36–1,4	1,4	2,3–2,4
V	4,0–258	4,0–129	59–70
Y	<3–47	13,5	21,5–26,5
Zn	<3–264	10,4–96,5	36,5–57,0
Zr	<3–665	200–630	382–403

Литература к таблице: Виноградов А. П., 1938, 1950; Савина П. Н., 1969; Прасад С. К., 1992; Reimann С. et al., 2000; Snakin V. et al., 2000; Ринькис Г. Я., 1963; Добрицкая Ю. И. и др., 1963; Журавлева Е. Г., 1963; Тюрюканов А. Н., 1963; Василевская В. Д. и др., 1963; Слободян В. А., 1975; Ковальский В. В. и др., 1966; Чернов В. А. и др., 1959; Ивангва Н. Н., 1959; Веригина К. В., 1959; Тома С. И. и др., 1980; Овчаренко М. М., 1997; Малинина М. С., 1976.

го в почвах XI квартала оказалась почти в 2 раза выше среднего уровня, характерного для дерново-подзолистых суглинистых почв Европы (см. табл. 2). Хорошее согласие с диапазонами концентраций химических элементов в дерново-подзолистых суглинистых почвах XI квартала Дачи с позиции содержания в ней эссенциальных и токсичных элементов. Формирование представлений о «здоровой почве», об оптимальном диапазоне концентраций химических элементов в почве — исключительно трудная и многоплановая проблема. В доступной научной литературе нами было обнаружено лишь несколько сообщений отечественных и зарубежных авторов, в которых приведены и достаточно убедительно обоснованы верхние или нижние границы оптимальных концентраций химических элементов в почвах [2, 3, 5-7, 11, 17]. Такая информация о верхних и нижних границах получена пока только для 12 химических элементов — В, Со, Сг, Сu, F, Hg, J, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn. Еще для 9 (Ag, As, Be, Cd, Sb, Se, Sn, TI, V) установлены верхние допустимые границы концентрации (табл. 3). Для 11 из этих 21 химического элемента (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb,

Sb, V, Zn) уже существует ГОСТ, регламентирующий ПДК или ОДК соответствующего элемента с учетом некоторых характеристик почвы (Тяжелые металлы в системе почва — растение — удобрение, 1997). Как следует из данных табл. 2, представления цитируемых авторов об оптимальной нижней границе для Си и Zn заметно расходятся. Еще меньшее согласие прослеживается при оценке верхних границ оптимального диапазона концентраций. Зачастую рекомендуемый «оптимальный» верхний предел оказывается выше ПДК или ОДК, например, для As, Cr, Mn, Ni, Pb, V.

Из 21 химического элемента, концентрации которых были определены в почвах XI квартала Дачи, только для 11 имеется регламентирующая информация — As, Со, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, V и Zn. При этом концентрации 7 из них (Со, Cr, Си, Mn, Mo, Ni и Zn) попадают в диапазон оптимальных концентраций и не превышают уровня ПДК или ОДК, для тех элементов, для которых он регламентирован. Концентрация Sr и V в почвах XI квартала Дачи находится ниже верхней границы, соответственно рекомендуемого значения и уровня ПДК. Определенную осторожность вызывают лишь As и

Сопоставление полученных данных о валовых концентрациях химических элементов в поверхностных слоях разрезов XI-2 и XI-К-3 с существующими ПДК и представлениями о границах концентраций для «нормальной» почвы

Элемент	«Норма»		Ильян В. Б., 1991*	ПДК и ОДК**	Результаты настоящего исследования	
	Ковальский В., 1975	Thornton I., 1988			A ₁	(A ₁ + A ₂)
Ag			<0,5			
As		<5-40	<15-20	2,0(2, 5, 10)	4,4-7,5	4,45-5,75
B	6-30					
Ba					470-570	415-540
Be			<2			
Br					1,9-3,2	1,5-2,5
Cd		<1-2	<1,0	3,0 (0,5, 1,0, 2,0)		
Co	7-30		7-20		7,0-9,5	5,5-8,5
Cr		15-300	<200	100	57-71	51-61
Cu	15-60	2-60	<25	55 (33, 66, 132)	35-40	23-25
F		20-500				
Fe					1,83-2,31	1,67-2,11
Hg		0,008-0,19	<0,15	2,1		
I	5,40					
Mn	400-3000		400-800	1500	811-853	596-746
Mo	1,5-4	<1-5	1,5-4,0		4,6-4,8	3,7-4,7
Nb					10	8,5-9,5
Ni		2-100	<40	85 (20, 40, 80)	16-21	14,5-17,5

Продолжение табл. 3

Элемент	«Норма»			ПДК и ОДК**	Результаты настоящего исследования	
	Ковальский В. В., 1975	Thornton I., 1988	Ильин В. Б., 1991*		A ₁	(A ₁ + A ₂)
Pb		10-150	<50	32 (32, 65, 130)	22-58	17,5-35,5
Rb					78	74-80
Sb			<1,0	4,5		
Se		<1-2	<1,0			
Sn			<7			
Sr	<600		<600-1000		100-107	100-107
Th					7,2-8,2	7,5-8,0
Ti					0,46-0,47	0,45-0,49
Tl			<0,5			
U					2,0-2,5	2,3-2,4
V			<200	150	71-76	59-70
Y					23-28	21,5-26,5
Zn	30-70	25-200	10-70	100 (55, 110, 220)	45-63	36,5-57,0
Zr					379-387	382-403

* Для суглинистых почв.

ПДК и ОДК** (1, 2, 3) — соответственно для песчаных — супесчаных (1), кислых (2) и нейтральных (3) суглинистых и глинистых почв (Инструктивное письмо Госкомприроды СССР, 1990; Нормативная документация по контролю за содержанием тяжелых металлов в почвах. М.: ЦИНАО, 1995; Тяжелые металлы в системе почва — растение — удобрение, 1997).

Pb, концентрации которых в верхних слоях почв XI квартала находятся на уровне ПДК для кислых суглинистых и глинистых почв. Из 11 химических элементов, для которых к настоящему времени установлены ПДК и ОДК, проведенное исследование не позволило охарактеризовать почвы XI квартала Дачи лишь по трем — Cu, Hg и Sb.

На распределение химических элементов по генетическим горизонтам почв влияют состав материнских пород, рельеф, почвенно-климатические условия, характер растительности, pH почвы и другие факторы. Существуют разные подходы при установлении закономерностей в распределении химических элементов по горизонтам. Так, в некоторых исследованиях концентрации химических элементов в том или ином горизонте сравнивают с их содержанием в горизонте С. Другие авторы проводят сравнение с содержанием химических элементов в условно исходной почвообразующей породе, из которой развились генетические горизонты [13]. Имеются и другие предложения по этому вопросу. Нами был сделан акцент на поверхностный горизонт (А) и группу поверхностных горизонтов (A_1+A_2), поскольку, по нашему мне-

нию, в условиях жесточайшего техногенного прессинга через загрязнение атмосферы, особенно в пределах территории большого промышленного города, именно в этих слоях почвы следует ожидать наиболее существенные сдвиги в концентрациях элементов. Статистически достоверное неравномерное распределение концентраций химических элементов по горизонтам разреза XI-2 выявлено для Cu, Fe, Mn, Y и Zr (табл. 4). При этом для Си и Мп наиболее высокая концентрация отмечена в горизонте A_1 . Тенденция к подобному характеру распределения прослеживается также у Вг и Pb. Концентрация Zr в горизонте A_1 такая же, как и в горизонте A_2 , но заметно выше, чем в горизонтах B_1 , B_2 и С. Тенденция к подобному характеру распределения прослеживается также и у Мо. Концентрация Y в горизонте A_1 такая же, как и в горизонтах A_2 и С, но заметно выше, чем в горизонтах B_1 и B_2 . Распределение железа по горизонтам разреза XI-2 имеет обратную зависимость — в поверхностных слоях A_1 и A_2 концентрация элемента ниже, чем в горизонтах B_1 , B_2 и С.

При объединении концентраций химических элементов в группе поверхностных (A_1 и A_2) и в группе более

Таблица 4

Концентрация (M±S_r) химических элементов в различных горизонтах разреза XI-2

Элемент	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	C
	D1	D3	D5	D6	D2
As	4,4±3,1	4,5±3,2	3,9±2,7	3,9±2,7	4,4±3,1
Ba	470	360	390	380	560
Br	1,9±0,4	1,1±0,2	1,0±0,2	1,2±0,2	<1,0±0,2
Co	7,0±1,5	4,0±0,8	6,5±1,4	6,0±1,3	9,0±1,9
Cr	57±17	46±13	109±32	71±21	103±30
Cu	40±7	10,5±1,9**	22±4	16±3*	21±4
Fe	1,83±0,25	1,51±0,21	3,39±0,47*	2,57±0,36	2,92±0,41
Mn	811±57	380±27***	299±21***	260±18***	529±37**
Mo	4,8	4,5	1,2	1,0	<1
Nb	10	9,0	5,0	5,0	9,0
Ni	16±4	13±3	18±5	14±4	24±6
Pb	22±4	13±2	16±3	13±2	14±3
Rb	78±4	70±4	85±4	65±3	87±4
Sr	100±6	100±6	93±5	86±5	115±7
Th	7,2±0,8	7,7±0,8	8,7±1,0	6,5±0,7	8,3±0,9
Ti	0,46±0,07	0,44±0,07	0,44±0,07	0,35±0,06	0,51±0,08
U	2,5±0,7	2,3±0,7	1,9±0,6	1,7±0,5	2,1±0,6
V	71±18	47±12	114±29	85±21	101±25
Y	23,0±2,5	20±2	17±2	13±1*	25±3
Zn	45±9	28±6	47±10	34±7	47±10
Zr	379±15	384±15	238±10***	229±9***	258±10***

Примечания.

A₁ 1-22/21 см. — Гумусовый горизонт, равномерно прокрашенный в темно-коричневый цвет. Уплотненный, легкосуглинистый, влажный. Структура рыхлая, орехово-комковатая. Часто встречаются корни (1-3 мм), мелкий гравий до 2 мм.

A₂ 33-48/15 см. — Светло-коричневый с белесоватыми пятнами и гумусовыми подтеками. Присутствуют пятна темно-охристого цвета. Влажный На общем фоне видны темно-коричневые пятна. Корни встречаются редко от 1 до 2 мм в диаметре.

B₁ 62-82/20 см. — Коричневато-бурый. Среднесуглинистая, призматическая. Встречаются кутаны. Очень плотный горизонт, влажный, однородный механический состав. Корней мало, очень мелкие. В верхней части есть гравий до 1,5 мм.

B₂ 82±110/28. — Желто-буро-коричневый. Видны пятна на гранях структурных отдельностей. Однородный, суглинистый. Очень плотный. Структура призматическая. Корней нет.

C 190 см 1 — Красно-бурый. Тяжело-суглинистый.

±S_r — Суммарная ошибка отдельного измерения.

*, **, *** — Уровень достоверности различий значения концентрации в горизонте A₁ по сравнению с концентрациями соответствующих химических элементов в других горизонтах (* p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001).

глубоких горизонтов (В, В₁ и С) разреза XI-2 статистически достоверные закономерности неравномерного распределения проявились также для Cr, Mo, U и V (см. табл. 1). Обнаружилось, что концентрации Mo и U в поверхностных слоях выше, чем в подлежащих, а Cr и V, наоборот, ниже. Концентрации As, Ba, Co, Nb, Ni, Rb, Sr, Th, Ti, Zn в пределах ошибок измерения равномерно распределены по горизонтам разреза XI-2. В целом распределение концентраций химических элементов по горизонтам разреза XI-К-3 носит такой же характер, как и распределение по горизонтам разреза XI-2 (табл. 1 и 5). Однако в этом разрезе более четко проявилась закономерность распределения свинца, кон-

центрация которого в горизонте А₁ была в среднем в 3-4 раза выше, чем во всех нижележащих горизонтах. Выявленные нами закономерности распределения по горизонтам концентраций Cr, Mn, Ni, V полностью совпадают с выводами [13]. Абсолютные значения концентраций Cr, Mn, Ni, V, полученные в [13], также очень хорошо согласуются с нашими результатами. Наличие у марганца максимума концентрации в горизонте А₁ и равномерное распределение никеля в профиле дерново-подзолистых и лесных оподзоленных почв подтверждается выводами многих исследований [8—10, 12].

Из данных табл. 6, в которой графически отражены закономерности распределения концентраций исследо-

Т а б л и ц а 5

Концентрация (M±S_p) химических элементов в различных горизонтах разреза XI-К-3

Элемент	A ₁	A ₂	B	C
	D4	D9	D8	D12
As	7,5±5,2	4,0±2,8	5,4±3,8	4,7±3,3
Ba	570	510	400	480
Br	3,2±0,6	1,75±0,33	<1,0±0,2	<1,0±0,2
Co	9,5±2,0	7,5±1,6	9,0±1,9	9,0±1,9
Cr	71±21	52±15	70±20	69±20
Cu	35±6	11±2**	20±4	25±5
Fe	2,31±0,32	1,92±0,26	3,16±0,44	3,14±0,44
Mn	853±60	639±45*	360±25***	571±40*
Mo	4,6	2,8	—	1,4
Nb	10	7,0	—	9,0
Ni	21±6	14±4	18±5	28±8

Продолжение табл. 5

Элемент	A ₁	A ₂	B	C
	D4	D9	D8	D12
Pb	58±10	13±2***	15±3**	17±3**
Rb	78±4	82±4	80±4	99±5
Sr	107±6	106±6	100±6	111±7
Th	8,2±0,9	7,7±0,8	6,6±0,7	8,5±0,9
Ti	0,47±0,08	0,51±0,08	0,44±0,07	0,44±0,07
U	2,0±0,6	2,6±0,8	2,1±0,6	2,2±0,7
V	76±19	64±16	92±23	79±20
Y	28±3	25±3	17±2*	28±3
Zn	63±13	51±11	44±9	48±10
Zr	387±15	419±17	250±10***	261±10***

Примечания.

A₁ 4-19/15 см. — Светло-буровато-серый с темно-серыми пятнами гумуса по ходу корней практически по всему горизонту. На грани структурных отдельностей — отдельные рыжие пятнышки. Свежий, уплотненный, суглинистый, пылеватый, мелкотрещинный, тонкопористый, мелкокомковатый. Обильно и равномерно пронизан корнями 1-3 мм.

A₂ 30-41/11 см. — Буровато-палевый, пестроокрашенный. Гумусовые пятна по ходу корней. На грани структурных отдельностей — рыжеватые пятна, редко заметные вкрапления минерализованных органических остатков размером, примерно, 2 мм. Свежий, более плотный, суглинисто-пылеватый, мелкокомковатый, тонкопористый, мелкотрещинный. Включения — мелкий хрящ до 2 мм, редкие камни до 2-3 см и корни 1-2 мм.

B 50-88/38 см. — Оранжево-бурый, равномерно окрашенный, влажноватый, плотный, липкий, среднесуглинистый, немного опесчаненный, тонкопористый, плинчатокрупнокомковатый. На грани структурных отдельностей видны частые красно-коричневые пятна и кремниевая присыпка. Единично встречаются темные зеленовато-серые блестящие конкреции, рассыпчатые, размером до 5 мм. Часто встречаются вкрапления древесного угля до 2 мм. Редко попадают камни до 10 см в диаметре.

C 160 см и >1 — Кирпично-красный, влажный, плотный, глинистый. Структура листовато-пластинчатая. Наличие неразложившихся древесных остатков. Включения — часто встречаются камни до 5 см.

±S_r — Суммарная ошибка отдельного измерения.

*; **, *** — Уровень достоверности различий значения концентрации в горизонте A_i по сравнению с концентрациями соответствующих химических элементов в других горизонтах (* p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001).

ванных химических элементов по генетическим горизонтам дерново-подзолистых почв XI квартала Дачи (по данным для разрезов XI-2 и XI-K-3) видно, что концентрации Вг, Сu, Мп, Мо, Рb, U, Y и Zr в верхних слоях выше, чем в нижележащих. Из этих элементов Си, Мп, Мо, Рb являются хорошо известными основными поллютантами почв в городах и промышленных центрах. Известно, что основная часть поступающих от техногенного источника через выпадения из атмосферы тяжелых металлов аккумулируется в гумусовых горизонтах почв. Накопление тяжелых металлов в поверхностных горизонтах хорошо подтверждается имеющимися данными послыонного анализа образцов почв, из которых следует, что на глубине 40 см и более даже в сильно загрязненных почвах их концентрации близки к фоновым. Верхний (до 10-20 см) слой почвы является основным аккумулятором химических элементов из газопылевых техногенных выбросов. Поэтому при полевых обследованиях и картографировании уровня загрязненности почвенного покрова техногенными выбросами через атмосферу обычно ограничиваются отбором образцов на глубине 0-20 (25) см [1].

Т а б л и ц а 6

Закономерности распределения концентраций химических элементов по генетическим горизонтам дерново-подзолистых почв XI квартала Лесной дачи -(по данным для разрезов XI-2 и XI-3)

Элемент*	Направление градиента распределения концентрации	Уровень достоверности по t-критерию
As	→	—
Ba	→	—
Br	↑	*
Co	→	—
Cr	↓	p<0,05
Cu	↑	p<0,01
Fe	↓	p<0,02
Mn	↑	p<0,001
Mo	↑	p<0,001
Nb	→	—
Ni	→	—
Pb	↑	p<0,001
Rb	→	—
Sr	→	—
Th	→	—
Ti	→	—
U	↓	p<0,05
V	↓	p<0,05
Y	↑	p<0,05
Zn	→	—
Zr	↑	p<0,001

П р и м е ч а н и я .

→ — равномерное распределение концентрации по горизонтам;

↑ — в верхних слоях концентрация выше, чем в подлежащих;

↓ — в верхних слоях концентрация ниже, чем в подлежащих;

* — наличие тенденции.

Из сопоставления данных о распределении концентраций химических элементов по профилю разрезов XI-2 и XI-K-3 (табл. 4 и 5) следует, что в верхних горизонтах разреза XI-K-3 концентрации Br, Co, Cr, Mn, Pb, V, Y и Zr заметно выше, чем в соответствующих горизонтах разреза XI-2. Особенно отчетливо это различие проявляется на примере свинца и марганца, превышение концентраций которых соответственно в горизонтах A_1 и A_2 подтверждено статистически. Выявленные различия, на наш взгляд, являются следствием адсорбционных способностей листовенницы Сукачева. Хвойный покров этого дерева, вероятно, значительно активнее адсорбирует из воздуха химические элементы газопылевых техногенных выбросов в атмосферу, чем хвоя сосны в сочетании с листвой дуба, березы, липы и клена. Вместе с опавшей листвой адсорбированные химические элементы попадают на поверхность почвы, что и приводит к их накоплению. Судя по перепаду концентраций в горизонте A_1 разрезов XI-2 и XI-K-3, способность адсорбировать свинец из воздуха у листовенницы почти в 3 раза выше, чем у смешанного древостоя. Статистически достоверная разница получена и в

средних значениях концентрации марганца в горизонтах В разрезов XI-2 и XI-K-3. Искусственные насаждения листовенницы Сукачева оказали влияние на содержание химических элементов не только в поверхностных, но и в нижележащих горизонтах дерново-подзолистых почв. Возможность влияния лесных насаждений на содержание и распределение в почвах химических элементов показана и в других исследованиях [16].

Выводы

1. Обнаруженные концентрации химических элементов в почвах XI квартала Лесной опытной дачи хорошо согласуются с диапазонами концентраций химических элементов в дерново-подзолистых суглинистых почвах Европы и Европейской части России — СНГ. Исключение составляет лишь уран, концентрация которого почти в 2 раза превышает средний уровень, характерный для дерново-подзолистых суглинистых почв Европы.

2. Концентрации химических элементов в почвах XI квартала Лесной опытной дачи отвечают существующим представлениям о «норме» для эссенциальных элементов и не превышают установленные к настоящему времени уровни ПДК и ОДК

для токсичных элементов. Определенную опасность вызывают лишь As и Pb, концентрации которых в поверхностных горизонтах находятся на уровне ПДК для кислых суглинистых и глинистых почв.

3. Характер распределения концентраций химических элементов по генетическим горизонтам разрезов XI-2 и XI-K-3 примерно одинаков: концентрации 9 элементов (As, Ba, Co, Ni, Rb, Sr, Th, Ti, Zn) распределены относительно равномерно по всей исследованной глубине разрезов; концентрации 8 элементов (Br, Cu, Mn, Mo, Pb, U, Y, Zr) с глубиной уменьшаются, т. е. самые высокие их концентрации отмечены в поверхностных горизонтах A₁ и A₂; концентрации Cr, Fe и V с глубиной увеличиваются.

4. Более чем столетние искусственные насаждения лиственницы Сукачева оказали существенное влияние на уровни концентраций и характер распределения по генетическим горизонтам многих химических элементов. Это влияние выразилось в повышении абсолютных значений концентраций Br, Co, Cr, Mn, Pb, V, Y и Zr в горизонтах A₁ A₂, а также концентрации Mn в горизонте B.

5. Выявленная способность лиственницы Сукачева сорби-

ровать ряд химических элементов из воздуха, особенно свинец, в сочетании с известными буферными свойствами почвы может быть использована для уменьшения загрязненности атмосферного воздуха в крупных городах и промышленных центрах путем расширения площадей искусственных насаждений этих деревьев в парках и лесопарковых зонах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Важенин И. Г.* Полевое обследование и картографирование уровня загрязненности почвенного покрова техногенными выбросами через атмосферу. — Метод, указания. М., 1980. — 2. *Виноградов А. П.* Биогеохимические провинции. — Тр. юбилейной сессии АН СССР (100-летие со дня рождения В. В. Докучаева). М., 1949, с. 59-84. — 3. *Ильин В. Б.* Тяжелые металлы в системе почва — растение. Новосибирск: Наука, 1991. — 4. Импактное загрязнение почв металлами и фторидами. JL: Гидрометеиздат, 1986. — 5. *Ковальский В. В.* Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. — 6. *Ковальский В. В.* Биохимические пути приспособляемости организма к условиям геохимической среды. — В сб.: Микроэлементы в медицине, Киев, 1975, вып. 6, с. 3-13. —

7. Ковальский В. В., Блохина Р. И., Никитина И. И. Геохимическая экология организмов в условиях повышенного содержания стронция. — В сб.: Микроэлементы в медицине. Ивано-Франковск, 1969, с. 47-49. — 8. Костилов Д. Н., Лопатин Н. Г. Марганец, медь, цинк, молибден, никель в гумусовых горизонтах и материнских породах Амурской области. — В сб.: Микроэлементы в Биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ, Бурят, книж. изд-во, 1967. — 9. Мартынова А. С. Микроэлементы в некоторых целинных почвах Тулуно-Иркутской лесостепи. — В сб.: Микроэлементы в Биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ, Бурят, книж. изд-во, 1967. — 10. Пашичева Г. Е., Серебренников В. В., Славина Т. П. Содержание некоторых микроэлементов в почвах Томской области. — В сб.: Микроэлементы в Биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ, Бурят, книж. изд-во, 1967. — 11. Тома С. И., Рабинович И. З., Велисар С. Г. Микроэлементы и урожай. Кишинев, Штиинца, 1980. — 12. Трейман А. А. О содержании меди и марганца в некоторых почвах Присалаирской равнины и Салаира. — В сб.: Микроэлементы в Биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ, Бурят, книж. изд-во, 1967. — 13. Тюрюканов А. Н. Распределение микроэлементов в дерново-подзолистых почвах ландшафтов конечно-моренных возвышенностей центра Европейской части СССР. — В сб.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. Киев, ГИ с.-х. лит., 1963. — 14. Тяжелые металлы в системе почва — растение — удобрение / Под ред. М. М. Овчаренко. М., 1997. — 15. Хакимова А. М., Тазетдинова С. Г. Содержание кобальта и марганца в почве и пищевых продуктах в Балтасинском районе Татарии в связи с эндемическим зобом. — В сб.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. Киев, ГИ с.-х. лит., 1963. — 16. Grieve I. C., Marsden R. L. — Sci. Total Environ. 2001, vol. 265, p. 143-151. — 17. Thornton I. Soil features and human health. In: Trace elements in environmental history. Springer Verlag, Berlin, 1988.

*Статья поступила
21 марта 2002 г.*