

УДК 543.427.4:581.192:58.02

РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИБИРСКИХ КУСТАРНИКОВ УРБООКОСИСТЕМЫ

© 2023 г. Е. М. Лях^{1, *}, Е. П. Храмова¹, А. Ю. Луговская^{1, 2}, Я. В. Ракшун³, Д. С. Сороколетов³

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

“Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук”, Новосибирск, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

“Сибирский государственный университет геосистем и технологий”, Новосибирск, Россия

³Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

“Институт ядерной физики имени Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук”,
Новосибирск, Россия

*E-mail: llyakh@rambler.ru

Поступила в редакцию 28.11.2022 г.

После доработки 15.12.2022 г.

Принята к публикации 25.01.2023 г.

Исследован элементный состав трех кустарников двух родов *Spiraea* и *Myricaria*, растущих в урбээкосистеме г. Новосибирска и фоновых условиях методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения. Установлено не менее 20 элементов. Наиболее сильное загрязнение тяжелыми металлами в городских условиях отмечено у растений *Myricaria bracteata*. Более толерантная к загрязнению в городских условиях *Spiraea chamaedryfolia* может быть рекомендована для использования в качестве стандарта, а *M. bracteata* рекомендуется в качестве растения биоиндикатора загрязнения окружающей среды. Данные, полученные по элементному составу образцов растений и почв, могут быть включены в базы данных.

DOI: 10.31857/S0367676522701198, EDN: AADOAY

ВВЕДЕНИЕ

Рентгенофлуоресцентная (РФА) спектроскопия является хорошо зарекомендовавшим себя аналитическим методом для качественной и количественной оценки химических элементов. Это многоэлементный, одновременный, неструктурный метод, который в полной мере подходит для анализа объектов окружающей среды и растений в том числе [1]. Кроме того, использование синхротронного излучения (СИ) существенно улучшает возможности метода: высокая яркость источников СИ позволяет значительно сократить время набора экспериментального спектра, повышая экспрессность метода и чувствительность. Возможность перестройки энергии возбуждения в диапазоне рабочих энергий станции [2] открывает дополнительные перспективы при анализе концентраций тех химических элементов, которые могут служить маркерами различных видов растений и загрязнений. Возможность одновременного определения многих элементов с достаточно высокой чувствительностью, хорошей точностью [3, 4] в соединении с относительной простотой обработки экспериментальных спек-

тров позволяют достаточно оперативно получать данные о составе образцов. Однако сравнительно редкое использование метода РФА для анализа растительного материала связано, главным образом, с недостаточным количеством паспортизированных образцов, которые могут служить образцами сравнения при анализе методом “внешнего стандарта” [5]. В связи с чем, расширение базы данных по химическому составу растений и поиск оптимальных образцов сравнения (стандартов) может послужить решению проблемы применения метода РФА СИ в ботанических и экологических исследованиях. Кроме того, метод РФА СИ требует небольшой навески материала для анализа, что особенно актуально при изучении химического элементного состава растительных и почвенных образцов, а также позволяет определить весь комплекс химических элементов в одной пробе материала, давая этим возможность провести адекватный сравнительный анализ. Кроме того, данный метод дает возможность определять содержание элементов в широком диапазоне и не требует химической подготовки проб,

что исключает погрешности за счет привноса или удаления элементов вместе с реактивами.

Анализ микроэлементов является фундаментальной задачей в экологических науках. Оценка качества и безопасности экосистем и уровня антропогенного загрязнения проводится по содержанию микроэлементов, превышающих ПДК в окружающей среде [6]. Многими авторами для исследования урбанизированной среды в качестве биоиндикаторов используются древесные растения или их части [7]. В зависимости от вида растения проявляют разную устойчивость к загрязнению тяжелыми металлами, в связи с чем важной задачей является поиск видов различных растений как толерантных к избытку загрязнителей, так и чувствительных к техногенному стрессу для выявления влияния антропогенного фактора на растительные объекты.

Виды рода *Spiraea* L. и *Myricaria* Desv. экологически пластичны, газоустойчивы, декоративны, хорошо растут и цветут в условиях городской среды, широко используются в зеленом строительстве [8]. Отмечены их биоиндикаторные свойства загрязнения окружающей среды [9]. При этом сведения по содержанию химических элементов растений родов *Spiraea* и *Myricaria*, в литературных источниках, на наш взгляд, носят разрозненный характер и не дают объективного представления о разных таксонах.

Цель работы – определение состава и содержания элементов кустарников родов *Spiraea* и *Myricaria* в урбоэкосистеме г. Новосибирска и фоновых условиях методом РФА СИ, выявление наиболее устойчивых видов к антропогенному загрязнению и определение возможности использования растительных образцов в качестве стандартов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом исследования служили образцы двух видов спиреи – *Spiraea chamaedryfolia* L. (спирея дубравколистная) и *S. media* Schmidt (спирея средняя) из сем. Rosaceae и *Myricaria bracteata* Royle (мирикария прицветниковая) из семейства Tamaricaceae. Для исследования выбраны растения, высаженные в сквере “Мемориал Славы” в Ленинском районе г. Новосибирска, одном из наиболее неблагоприятных районов с экологической точки зрения (городские условия). Ленинский район является одним из лидирующих по выбросам оксида углерода, диоксида серы, оксидов азота, твердых загрязняющих веществ в атмосферу воздуха. В целом, уровень загрязнения атмосферы города Новосибирска оценивается как “повышенный” [10]. В качестве контрольных растений были взяты особи того же возраста, произрастающие среди лесного массива

на территории ЦСБС СО РАН, расположенного в относительно благоприятном по экологической обстановке Советском районе (Академгородок).

Отбор растительных образцов проводился 27.06.2019 г. в генеративную фазу равномерно по периметру кроны и одновременно на обоих участках. С каждого растения отбирали по 10 годичных побегов и формировали среднюю пробу. Анализировали листья и стебли растений, а также образцы почв из их местообитаний. Средний образец составляли из 5–10 особей [11]. Образцы почвы были взяты из корнеобитаемого слоя (10–15 см) общеизвестным методом “конверта”.

Навеску воздушно-сухого растительного сырья и почв (1 г) измельчали в агатовой ступке. Затем образцы прессовали в форме таблетки диаметром ~1 см, весом – 30 мг (с поверхностной плотностью 0.04 г/см²). Определение элементов проводили методом РФА СИ на станции элементного анализа (накопитель ВЭПП-3) Сибирского Центра Синхротронного и Терагерцового Излучения ИЯФ СО РАН. Измерения образцов проводились при энергии возбуждающего излучения 23 кэВ, время каждого измерения составляло от 300 до 500 с для растительных и почвенных навесок. Монохроматизация синхротронного излучения осуществлялась при помощи монохроматора на основе кремниевого кристалла типа “бабочка” с рабочими плоскостями (111). Регистрация флуоресцентного излучения проводилась при помощи детектора PentaFET (Oxford Instruments) с энергетическим разрешением ~135 эВ (на K α линии Fe – 5.9 кэВ). Основные характеристики экспериментальной станции и методические аспекты работы описаны в [3, 4].

Обработка полученных спектров проводилась в программе AXIL. Концентрацию элементов определяли с использованием метода “внешнего стандарта”. В качестве образцов сравнения использовали российские стандарты травы-злаковой смеси ГСО СОРМ1 и байкальского ила БИЛ-1 [12]. Величина ошибки – воспроизводимость результатов анализа получена путем измерения 10 параллельных измерений стандартного образца СОРМ1 и 5 – образца БИЛ-1 в 3 повторностях одинаковых образцов. Пределы обнаружения и относительное стандартное отклонение (Sr) рассчитывалось путем измерения 10 параллельных измерений стандартного образца СОРМ1 и 5 – образца БИЛ-1 в 3 повторностях одинаковых образцов (табл. 1). Как видно из табл. 1, значения C_{min} варьируются в зависимости от элемента и используемого стандартного образца. В целом, заметно снижение пределов обнаружения при переходе от легких элементов (К) к более тяжелым (Рb).

Накопление и рассеяние элементов для растений, произрастающих в городских условиях, по сравнению с фоновыми оценивалось путем рас-

Таблица 1. Пределы обнаружения (C_{min}) при энергии возбуждения 23 кэВ для российских стандартов ГСО СОРМ 1 и БИЛ-1, ppm

Элементы	СОРМ 1		БИЛ-1	
	C_{min}	$S_r, \%^1$	C_{min}	$S_r, \%$
К	27	10	206	6
Ca	13	11	106	8
Ti	3	26	31	5
V	0.1	19	8	8
Cr	1.9	64	6	6
Mn	0.9	9	8	4
Fe	0.6	8	5	4
Co	0.03	36	0.3	9
Ni	0.3	39	3	4
Cu	0.15	14	2	5
Zn	0.2	12	1	5
As	н.а. ²	—	1	3
Br	0.05	11	0.4	8
Rb	0.07	11	0.3	9
Sr	0.1	12	0.3	7
Y	0.6	29	0.4	12
Zr	0.5	58	0.3	16
Nb	1.4	40	0.3	9
Mo	0.07	10	0.1	14
Pb	0.05	35	0.5	14

¹ – S_r – относительное стандартное отклонение;

² – н.а. – концентрация химического элемента не аттестована.

чета коэффициентов концентрации (K_c) и рассеяния (K_p): $K_c = C_a/C_f$ и $K_p = C_f/C_a$, где C_f , C_a – концентрации элемента в фоновых и городских образцах соответственно. Для выявления изменений в химическом составе растений под воздействием пылегазовых эмиссий в городских условиях использовался комплексный показатель – коэффициент биогеохимической трансформации Z_v [13], который рассчитывался по формуле:

$$Z_v = \sum_1^{n_1} K_c + \sum_1^{n_2} K_p - (n_1 + n_2 - 1), \quad (1)$$

где n_1 , n_2 – количество элементов с $K_c > 1.5$ и с $K_p > 1.5$ соответственно.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительный анализ почвы из точек отбора растительных образцов показал, что различия в концентрациях элементов не существенны (табл. 2). Отмечено незначительное превышение по содержанию Ca, As, Br, Sr, Mo и снижение Mn

в городских почвах по сравнению с контролем. В целом, можно отметить, что содержание химических элементов в исследуемых почвенных образцах практически не превышает “фоновый” уровень в почвах Новосибирска и Новосибирской области, представленный в работах [14–17]. Исключение составляет Br, концентрация которого в точке отбора в городе выше в 6 раз по сравнению с “фоновыми” показателями, а также на 30% возрастает концентрация Sr, что, скорее всего, связано с расположением точки отбора образцов вблизи от предприятий теплоэнергетики и автомагистралей. В целом, следует отметить, что загрязнение тяжелыми металлами в точке отбора в городских условиях оценивается как незначительное, что, скорее всего, связано с расположением участка в сквере, удаленном от автомагистралей.

Исследование содержания макро- и микроэлементов в надземных органах растений показало, что концентрация макроэлементов К и Са выше в листьях, чем в стеблях вне зависимости от

Таблица 2. Содержание элементов в почвах из точек отбора растений в городских и фоновых условиях (ppm на воздушно-сухую массу)

Элемент	Город	Контроль	Фоновое содержание элементов в почвах по лит. источникам [13–16]
K	12685 ± 767 ¹	14769 ± 893	— ²
Ca	44343 ± 3400	15565 ± 1193	—
Ti	2691 ± 133	3482 ± 172	4100 ⁴
V	55 ± 5	69 ± 6	60 ³
Cr	36 ± 2	41 ± 2	80 ³
Mn	659 ± 26	795 ± 31	750 ³
Fe	22123 ± 988	22836 ± 1020	38000 ⁶
Co	11 ± 1	9 ± 1	12 ³
Ni	32 ± 1	34 ± 2	35 ³
Cu	27 ± 1	18 ± 1	30 ³
Zn	59 ± 3	46 ± 2	70 ³
As	15 ± 1	4 ± 0	15 ³
Br	22 ± 2	3 ± 0.2	1.2–3.6 ⁵
Rb	46 ± 4	47 ± 4	—
Sr	223 ± 16	142 ± 10	170 ³
Y	17 ± 2	17 ± 2	—
Zr	177 ± 29	128 ± 21	250 ³
Nb	7 ± 1	7 ± 1	15 ³
Mo	0.7 ± 0.1	0.3 ± 0.4	3 ³
Pb	15 ± 2	16 ± 2	15 ³

¹ – Среднее значение ± стандартное отклонение.

² – Прочерк означает, что нет данных.

³ – Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах юга Западной Сибири [14].

⁴ – Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах юга Западной Сибири [15].

⁵ – Фоновое содержание галогенов в почвах Западной Сибири [13].

⁶ – Фоновое содержание элементов в почвах Новосибирской области [16].

таксона и места произрастания (табл. 3). В городских условиях среднее содержание К в растениях ниже в 1.5 раза, чем в фоновых условиях, а содержание Са в листьях городских растений, напротив, возрастает в 1.7 раз. Суммарное содержание микроэлементов растений на загрязненном участке выше, чем на фоновом участке. Наиболее существенные различия установлены в образцах листьев *M. bracteata* (1258 ppm). Так, суммарное содержание микроэлементов в листьях *M. bracteata* из городского участка увеличилось в 2.1 раза по сравнению с фоновым. По уровню накопле-

ния элементов виды располагаются в убывающий ряд: *M. bracteata* > *S. media* > *S. chamaedryfolia*. В стеблях растений изменения в суммарном содержании элементов при росте антропогенной нагрузки менее значительны.

Обнаружено, что в растениях под антропогенным воздействием повышалось содержание Са, Ti, V, Fe, Co, Br, Sr, Y, Zr, Nb, Pb и снижалось К, Zn и Mo по сравнению с фоном. Наиболее сильное загрязнение тяжелыми металлами в городских условиях отмечено у растений *M. bracteata*.

Таблица 3. Содержание элементов в надземных органах растений родов *Spiraea* и *Myricaria*, произрастающих в городских и фоновых условиях в г. Новосибирске (ppm на воздушно-сухую массу)

Элемент	Орган растения	Город			Контроль (ЦСБС СО РАН)		
		1	2	3	1	2	3
К	л	19296 ± 1167 ⁴	15289 ± 925	13094 ± 792	27678 ± 1674	17576 ± 1063	28509 ± 1724
	ст	7960 ± 481	7089 ± 429	7455 ± 451	13941 ± 843	7107 ± 430	11456 ± 693
Са	л	17517 ± 1343	15195 ± 1165	32896 ± 2522	17142 ± 1314	8726 ± 669	16828 ± 1290
	ст	7849 ± 602	15004 ± 1150	4111 ± 315	13351 ± 1024	25509 ± 1956	3929 ± 301
Ti	л	14 ± 1	11 ± 1	32 ± 2	13 ± 1	8 ± 0	5 ± 0
	ст	14 ± 1	8 ± 0	4 ± 0	27 ± 1	14 ± 1	8 ± 0
V	л	0.5 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.8 ± 0.1	0.5 ± 0.0	0.2 ± 0.0
	ст	0.4 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.2 ± 0.0	1.2 ± 0.1	0.8 ± 0.1	0.3 ± 0.0
Cr	л	н.д. ⁵	1.7 ± 0.1	3.1 ± 0.2	н.д.	0.1 ± 0.0	4.0 ± 0.2
	ст	н.д.	0.8 ± 0.05	1.8 ± 0.1	н.д.	н.д.	1.7 ± 0.1
Mn	л	63 ± 2	92 ± 4	94 ± 4	103 ± 4.0	65 ± 3	158 ± 6
	ст	38 ± 2	104 ± 4	18 ± 1	72 ± 2.8	108 ± 4.3	34 ± 1.3
Fe	л	268 ± 12	222 ± 10	739 ± 33	129 ± 5.7	87 ± 4	192 ± 9
	ст	200 ± 9	112 ± 5	83 ± 4	125 ± 5.6	68 ± 3.0	52 ± 2.3
Co	л	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.3 ± 0.0	н.о. ⁶	н.о.	0.1 ± 0
	ст	0.1 ± 0.0	н.о.	0.1 ± 0.0	н.о.	н.о.	н.о.
Ni	л	1.3 ± 0.1	1.3 ± 0.1	1.2 ± 0.1	1.9 ± 0.1	1.2 ± 0.1	1.1 ± 0.1
	ст	0.9 ± 0.0	1.1 ± 0.1	2.5 ± 0.1	1.5 ± 0.1	0.9 ± 0.0	2.2 ± 0.1
Cu	л	4.8 ± 0.3	5.5 ± 0.3	5.2 ± 0.3	6.0 ± 0.3	4.5 ± 0.2	4.8 ± 0
	ст	4.1 ± 0.2	4.6 ± 0.2	6.2 ± 0.3	10.5 ± 0.5	6.3 ± 0.3	5.2 ± 0.3
Zn	л	13 ± 1	24 ± 1	36 ± 2	16 ± 1	39 ± 2	63 ± 3
	ст	67 ± 3	45 ± 2	23 ± 1	73 ± 4	121 ± 6	34 ± 2
As	л	0.1 ± 0.0	1.0 ± 0.0	н.д.	0.5 ± 0.0	0.4 ± 0	н.д.
	ст	0.7 ± 0.0	0.4 ± 0.0	1.4 ± 0.04	0.9 ± 0.0	1.0 ± 0.0	0.2 ± 0.0
Br	л	2.1 ± 0.2	0.9 ± 0.1	37.8 ± 2.9	6.0 ± 0.5	1.5 ± 0.1	20.8 ± 1.6
	ст	0.4 ± 0.0	0.5 ± 0.0	35.1 ± 2.7	2.0 ± 0.2	0.4 ± 0.0	12.3 ± 0.9
Rb	л	5 ± 0	3 ± 0	9 ± 1	5 ± 0	2 ± 0	8 ± 1
	ст	3 ± 0	2 ± 0	3 ± 0	3 ± 0	1 ± 0	2 ± 0
Sr	л	141 ± 10	93 ± 7	274 ± 20	104 ± 7.5	43 ± 3	121 ± 9
	ст	100 ± 7	149 ± 11	64 ± 5	116 ± 8	144 ± 10	46 ± 3
Y	л	0.1 ± 0.0	0.6 ± 0.1	10.1 ± 1.2	0.1 ± 0.0	н.д.	2.2 ± 0.3
	ст	0.9 ± 0.1	0.9 ± 0.1	0.2 ± 0.0	н.д.	0.3 ± 0.0	0.3 ± 0.0
Zr	л	0.8 ± 0.1	0.6 ± 0.1	9.1 ± 1.5	0.5 ± 0.1	0.3 ± 0.0	0.9 ± 0.2
	ст	0.9 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.4 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.4 ± 0.1
Nb	л	0.6 ± 0.1	0.3 ± 0.0	2.3 ± 0.2	0.3 ± 0.0	0.9 ± 0	0.1 ± 0.0
	ст	1.9 ± 0.2	0.1 ± 0.0	1.9 ± 0.2	1.0 ± 0.1	н.д.	1.2 ± 0.1
Mo	л	0.7 ± 0.1	0.3 ± 0.0	1.9 ± 0.3	2.0 ± 0.3	4.3 ± 0.6	3.6 ± 0.5
	ст	0.3 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.8 ± 0.1	1.6 ± 0.2	0.4 ± 0.1
Pb	л	1.0 ± 0.1	1.7 ± 0.2	2.9 ± 0.4	1.1 ± 0.2	0.9 ± 0.1	1.5 ± 0.2
	ст	1.8 ± 0.2	1.0 ± 0.0	2.0 ± 0.3	1.4 ± 0.2	1.3 ± 0.2	0.8 ± 0.1

Примечание: ¹ – *Spiraea chamaedryfolia*;² – *Spiraea media*;³ – *Myricaria bracteata*;⁴ – среднее значение ± стандартное отклонение;⁵ – н.д. означает, что нет данных;⁶ – н.о. означает – ниже предела обнаружения (0.01 ppm).

Таблица 4. Оценка экологического состояния растений родов *Spiraea* и *Myricaria*, произрастающих в г. Новосибирске

Виды	Zv
<i>Spiraea chamaedryfolia</i>	15.3
<i>Spiraea media</i>	38.4
<i>Myricaria bracteata</i>	65.7

Рассчитан коэффициент биогеохимической трансформации (Zv), отражающий нарушение нормальных соотношений элементов в органах растений в результате усиления антропогенной нагрузки. Наиболее существенные изменения элементного состава растений под антропогенным воздействием отмечены у растений вида *M. bracteata*, Zv листьев которого равно 65.7, что в 1.7–4.3 раза выше, чем у растений рода *Spiraea*. Наиболее устойчивы к антропогенному загрязнению растения *S. chamaedryfolia* (Zv = 15.3) (табл. 4). Поскольку более толерантной к загрязнению в городских условиях выделена *S. chamaedryfolia*, то может быть рекомендована для использования в качестве стандарта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования представлены данные по содержанию 20 элементов в урбанизированных и фоновых почвах г. Новосибирска. Отмечено превышение по содержанию Ca, Br, Sr, Cu, Zn, Zr и Mo в урбанизированных почвах по сравнению с фоном.

Установлено не менее 20 элементов в листьях и стеблях двух видов растений рода *Spiraea* – *S. chamaedryfolia* и *S. media* и *Myricaria bracteata*, произрастающих в условиях урбоэкосистемы и фоновых. В растениях под техногенной нагрузкой повышалась концентрация Ca, Ti, V, Fe, Co, Br, Sr, Y, Zr, Nb, Pb и снижалось содержание K, Zn и Mo по сравнению с фоном. Наиболее сильное загрязнение тяжелыми металлами в городских условиях отмечено у растений *M. bracteata*. Более высокие величины коэффициента биогеохимической трансформации (Zv) зафиксированы для листьев *M. bracteata*, что свидетельствует о более существенных изменениях в микроэлементном составе, чем для *Spiraea*. Наиболее толерантной к загрязнению в городских условиях выделена *S. chamaedryfolia*, которая может быть рекомендована для использования в качестве стандарта, а также использования в зеленом строительстве. Вид *M. bracteata* рекомендуется в качестве растения биоиндикатора загрязнения окружающей среды.

Авторы выражают благодарность Ольге Васильевне Чанкиной за выполнение анализов. Работа выполнена в рамках государственного задания ЦСБС СО РАН по проектам АААА-А21-121011290027-6 и АААА-А21-121011290025-2 с использованием УНУ коллекции живых растений ЦСБС СО РАН (CSBG SB RAS USU 440534) в ЦКП СЦСТИ на базе УНУ “Новосибирский ЛСЭ”, “Комплекс VERP-4 -VERP-2000” Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, поддержанное проектом RFMEFI62119X0022.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Rodrigues E.S., Gomes M.H.F., Duran N.M. et al.* // Front. Plant Sci. 2018. V. 9. Art. No. 1588.
2. *Trunova V.A., Sidorina A.V., Zolotarev K.V.* // X-ray Spectrum. 2015. V. 44. No. 4. P. 226.
3. *Piminov P.A., Baranov G.N., Bogomyagkov A.V. et al.* // Phys. Procedia. 2016. V. 84. P. 19.
4. *Дарьин А.В., Ракиун Я.В.* // Науч. вестн. Новосиб. гос. техн. ун-та. 2013. № 2(51). С. 112.
5. *Васильева И.Е., Шабанова Е.В.* // ЖАХ. 2021. Т. 76. № 2. С. 99; *Vasil'eva I.E., Shabanova E.V.* // J. Analyt. Chem. 2021. V. 76. No. 2. P. 137.
6. *Terzano R., Denecke M.A., Falkenberg G. et al.* // Pure Appl. Chem. 2019. V. 91. No. 6. P. 1029.
7. *Terekhina N.V., Ufimtseva M.D.* // Geogr. Environ. Sustain. 2020. V. 13. No. 1. P. 224.
8. *Чиндяева Л.Н., Томошевич М.А., Беланова А.П., Банаев Е.В.* Древесные растения в озеленении сибирских городов. Новосибирск: Изд-во “Гео”, 2018. 457 с.
9. *Луговская А.Ю., Храмова Е.П., Лях Е.М., Карпова Е.А.* // Вест. СГУГиТ. 2020. Т. 25. № 1. С. 173.
10. Обзор состояния окружающей среды в городе Новосибирске за 2019 год. Новосибирск, 2020. 100 с.
11. *Khramova E., Lyakh E., Chankina O. et al.* // AIP Conf. Proc. 2020. V. 2299. Art. No. 070005.
12. *Арнаутов Н.А.* Стандартные образцы химического состава природных минеральных веществ. Методические рекомендации. Новосибирск, 1990. 220 с.
13. *Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М.* Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. М.: АПР, 2016. 276 с.
14. *Конарбаева Г.А.* // Мат. всерос. научн. конф. с международ. участием “Почвы в биосфере” (Томск, 2018). С. 269.
15. *Ильин В.Б., Сысо А.И.* Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 231 с.
16. *Ильин В.Б., Сысо А.И., Байдина Н.Л. и др.* // Почвоведение. 2003. № 5. С. 550.
17. *Семендяева Н.В., Галеева Л.П., Мармулев А.Н.* Почвы Новосибирской области и их сельскохозяйственное использование: учеб. пособие. Новосибирск: НГАУ, 2010. 187 с.

SR-XRFA in research of Siberian shrubs of the urban ecosystem

E. M. Lyakh^{a, *}, E. P. Khramova^a, A. Yu. Lugovskaya^{a, b}, Ia. V. Rakshun^c, D. S. Sorokoletov^c

^a *Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, 630090 Russia*

^b *Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, 630090 Russia*

^c *Budker Institute of Nuclear Physics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, 630090 Russia*

*e-mail: llyakh@rambler.ru

A study has been first made of the element composition of the plants of three species of two genus *Spiraea* and *Myricaria*, growing in the Novosibirsk Urban Ecosystem and the soil samples from their habitat by method of Xray fluorescence analysis using synchrotron radiation (SR-XRFA). The most severe heavy metal pollution in urban conditions was noted in *Myricaria bracteata* plants. The species *Spiraea chamaedryfolia*, the most tolerant to pollution in urban conditions may be recommended as a standard and *M. bracteata* is recommended as a bioindicator plant for environmental pollution. The data obtained on the elemental composition of plant samples and soils may be included in the databases.