

Эколого-геохимическая классификация дальневосточной арборифлоры

Н. С. ШИХОВА

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты
Восточной Азии ДВО РАН
690022, Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159
E-mail: shikhova@biosoil.ru

Статья поступила 06.02.2024

После доработки 15.04.2024

Принята к печати 24.04.2024

АННОТАЦИЯ

Обобщены материалы и выполнен системный анализ элементного состава 110 видов и 28 семейств растений, образующих древесно-кустарниковые ярусы лесных фитоценозов и формирующих структуру городского озеленения Южного Приморья. Отмечена высокая дифференциация видового состава арборифлоры в аккумулятивных способностях к тяжелым металлам, особенно к Zn и Mn. Самые стабильные показатели среди видов зафиксированы в содержании Cu. На основе авторского показателя относительной интенсивности накопления химических элементов выделены виды и семейства высокого, низкого и фонового содержания тяжелых металлов. Основному составу арборифлоры более свойственно низкое содержание металлов. В то же время около половины исследованных видов накапливают некоторые металлы выше фоновых (средних) значений. Максимальные содержания металлов, в 5 раз и более превышающие фоновые показатели, зафиксированы в листьях (хвое) видов-концентраторов: Zn – *Salix udensis*, *Populus maximowiczii*, *P. nigra*, *P. tremula*, *Syringa wolfii*; Mn – *Salix udensis*, *Sorbus pochuanensis*, *Picea pungens* (f); Fe – *Crataegus pinnatifida*. Среди семейств высокое содержание тяжелых металлов наиболее типично для Hydrangeaceae и Salicaceae, низкое – для Fabaceae, Pinaceae, Tiliaceae и Aceraceae, фоновый уровень – для Rosaceae. На основе полученных результатов впервые для растительности российского Дальнего Востока разработана фитогеохимическая систематика основных видов и семейств арборифлоры.

Ключевые слова: арборифлора, фитогеохимия, тяжелые металлы, зольность растений, геохимическая экология растений, российский Дальний Восток.

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы устойчивости видов в условиях постоянно возрастающего техногенного пресса, а также трансформации растительности техногенных загрязнений среды вызывают неослабевающий интерес мирового научного сообщества на протяжении последних двух столетий. Большой вклад в решение этих проблем вносят ученые, работающие в области

биогеохимии, геохимической экологии и геохимической экологии растений. Геохимическая экология, возникшая во второй половине XX в. на базе биогеохимического учения В. И. Вернадского, среди приоритетных экологических проблем поставила задачу установить диапазон оптимальных значений геохимических факторов среды для нормального функционирования живых организмов [Ко-

вальский, 1974]. В случае выхода за пределы этих границ формируются патологические изменения организмов как ответные реакции на экологическое неблагополучие среды, часто территориально выраженные в виде геохимических аномалий и биогеохимических эндемий [Петрунина, 1974; Алексеева-Попова, 1990; Ковалевский, 1991; Петрунина и др., 1999]. Геохимическая экология растений как одно из направлений геохимической экологии рассматривает связь между растением и средой преимущественно на уровне химического взаимодействия.

Содержание химических элементов в растениях зависит от многих факторов, но главными из них являются параметры среды и видовая специфика растений в аккумуляции элементов, в том числе обусловленная их филогенезом в прошлом и эволюцией в настоящем [Кист, 1987; Баргальи, 2005; Алексеева-Попова, 2013]. В условиях зональной природной (ненарушенной) среды в растениях отражаются фоновые содержания химических элементов. Геохимический фон является нормирующей величиной при эколого-геохимических оценках. В азональных биогеохимических провинциях и в зонах антропогенного и техногенного воздействия большую роль в формировании элементного состава растений играет техногенная составляющая биогеохимического цикла [Ковальский, 2009; Алексеева-Попова, Дроздова, 2013]. В последнем случае весьма трудно оценить вклад природных и техногенных факторов [Петрунина, 2003; Уфимцева, 2015], тем более что для большинства регионов страны информации по фоновым показателям почв и растений в настоящее время крайне мало.

Судя по литературным данным, региональные фоновые показатели почв разрабатываются в настоящее время более активно, чем по растительности. О последних в литературе имеются, как правило, лишь отрывочные сведения. К сожалению, систематических исследований эколого-геохимической специфики богатейшей и во многом уникальной дальневосточной природной флоры и растительности до сих пор также не проводилось. Нашими работами сделана попытка в какой-то мере восполнить этот научный пробел на примере растительности п-ова Муравьев-Амурский, территориально относящегося к Южному

Приморью, с богатым составом арборифлоры, характерным для юга российского Дальнего Востока.

При определении экологического фона в качестве методической основы принято положение, согласно которому региональный биогеохимический фон растений формируется преимущественно биогеохимическим потенциалом эдификаторных зональных биоморф растений [Глазовская, Касимов, 1987; Скарлыгина-Уфимцева, 1991]. В лесных экосистемах эту роль выполняют древесные растения плакорных фитоценозов.

Ранее установлено [Шихова, 2015, 2017], что эколого-геохимическая специфика лесных экосистем полуострова по сравнению с другими регионами России и мира выражается повышенным содержанием в почвах и растениях Cd, Co и пониженным – Mn. В почвах зафиксирована более высокая концентрация Pb и Zn, в растениях – наоборот, низкий уровень Zn. Также показано, что приоритетными техногенными загрязнителями городской растительности Владивостока являются пять металлов, содержание которых превышает локально-фоновые уровни. Они образуют геохимическую ассоциацию металлов-загрязнителей городских насаждений – $Fe_{4,1} Zn_{2,0} Pb_{1,9} Cu_{1,4} Ni_{1,3}$.

В предыдущих исследованиях выявлена также и некоторая специфика элементного химического состава отдельных биоморф растений [Шихова, 2015]. В частности, отмечено, что деревянистые растения по сравнению с травянистыми более интенсивно накапливают Mn: в лесных сообществах – в 1,5 раза, в городском озеленении – до 2,5 раза. В городских условиях древесные виды к тому же обогащены относительно травянистых Cd в 1,8 раза. В природных условиях они несущественно накапливают Co (в 1,4 раза), но беднее травянистых видов Ni и Fe (до 1,5 раза).

Основной целью исследований было выявить эколого-геохимическую специфику дальневосточной арборифлоры и дифференцировать ее состав по интенсивности накопления тяжелых металлов на уровне основных таксонов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Основой работы явились фактические данные, полученные в результате многолетнего

мониторинга озелененных территорий г. Владивостока и лесных экосистем п-ова Муравьев-Амурский (Приморский край). На лесной территории (ЛТ) полуострова основными объектами исследований являлись преимущественно растительные сообщества с доминированием или значительным участием дуба монгольского (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.), как наиболее распространенные. Отбор проб был выполнен на 46 пробных площадях (ПП) 500 м², входящих в систему мониторинга почвенно-растительных компонентов экосистем. Лесные растительные сообщества полуострова служили локальным эколого-геохимическим фоном при оценке состояния городских зеленых насаждений Владивостока. В селитебной зоне (СЗ) города пробы растений были взяты на 135 ПП, охватывающих все типы городских зеленых насаждений – рядовые посадки, скверы, старые городские сады, парки, внутриквартальное озеленение и др.

Для фитохимического анализа отбирались ассимиляционные органы растений – листья и хвоя, как показатели ежегодного накопления элементов. На каждой ПП брали по возможности смешанный образец растений с 5–10 особей каждого вида в нижней части кроны деревьев и средней части кроны кустарников. Опробование проводилось после 4–5-дневного бездождевого периода, в конце вегетационного сезона (до начала пожелтения листьев), соответствующего времени максимального накопления элементов. Всего взято на анализ 1250 фитопроб.

Аналитическая подготовка проб и определение в них содержания тяжелых металлов (ТМ) выполнены в сертифицированной лаборатории методом атомной абсорбционной спектроскопии на спектрофотометре Shimadzu AA 6800 в солянокислом растворе золы растений. Пробы растений предварительно готовились методом сухого озоления при 450 °С. Контроль аналитического качества работ проводился с использованием холостых проб и четырех градуировочных растворов. Определяли содержание восьми металлов: Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Ni, Co и Cd. Их выбор обусловлен техническими возможностями использованного нами метода анализа. Концентрацию металлов в растениях пересчитывали на сухую массу и выражали в миллиграммах на килограмм сухого вещества (мг/кг сух. в-ва).

Полученный фактический материал позволил оценить аккумулятивные способности к ТМ у 78 видов деревьев, кустарников и деревянистых лиан, образующих древесно-кустарниковые ярусы природных фитоценозов п-ова Муравьев-Амурский, и 81 вида арборифлоры (69 аборигенных и 12 интродуцированных видов), формирующих озеленение г. Владивостока. Собранные для анализа виды представляют 86 % установленного общего состава арборифлоры лесов п-ова Муравьев-Амурский [Прохоренко и др., 1996] и 70 % видов деревьев и кустарников, формирующих городское озеленение Владивостока [Шихова, Полякова, 2006]. В итоге были изучены аккумулятивные способности к тяжелым металлам у 110 видов арборифлоры (56 деревьев, 48 кустарников, 6 деревянистых лиан), принадлежащих 28 семействам и 63 родам. Общими для природной и городской флоры являются 50 видов и 17 семейств. Названия растений в работе приведены по 8-томной сводке [Сосудистые растения..., 1985–1996] с дополнениями для инорайонной флоры по С. К. Черепанову [1995] и И. Ю. Коропачинскому, Т. Н. Встовской [2012].

Для сравнительной количественной оценки интенсивности накопления металлов разными систематическими группами растений использовался коэффициент относительной интенсивности накопления (ОИН) металлов. Он представляет собой отношение содержания металла в том или ином виде или семействе растений к их среднему (фоновому) содержанию в выборке и выражается в относительных единицах (отн. ед.). Среднее содержание металлов в растениях природных лесных экосистем было принято за локальный экологический фон (ЛЭФ), в зеленых насаждениях урбоэкосистем оно соответствовало городскому экологическому фону (ГЭФ). В зависимости от величины ОИН были выделены три группы растений по способности к накоплению ТМ: аккумуляции, рассеяния и фонового содержания. К 1-й группе относятся виды слабой (ОИН $\geq 1,3$), средней (ОИН = 1,4–2,0) и высокой (ОИН = 2,1–5,0) аккумуляции, а также виды-концентраторы (ОИН > 5) ТМ; ко 2-й группе – среднего (ОИН = 0,7–0,5) и высокого (ОИН < 0,5) рассеяния ТМ, содержание металлов у которых ниже фоновых показателей в 1,4–2,0 и более 2,0 раза соответственно;

к 3-й группе – фонового (ОИН = 1,0) и близкого к нему ($0,9 \geq \text{ОИН} \geq 1,1$) содержания ТМ.

Статистическая обработка аналитических данных выполнена с использованием программ Microsoft Excel и Statistica 13.3. При расчете среднего содержания металлов в сравниваемых видах растений величина выборки варьировала в зависимости от встречаемости на пробных площадях от 1–2 индивидуальных проб у редких видов до 60 у широко распространенных видов, таких как *Fraxinus mandshurica* Rupr. в городских насаждениях. При статистической обработке выборок, в частности при расчете медий, исключались аномально высокие содержания, квалифицированные как “артефакт”. Такие “отскакивающие” варианты обнаружены в содержании Fe в городских насаждениях, а также Zn, Cu и Mn у некоторых видов в природных и городских условиях произрастания.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Зольность растений является важным биогеохимическим показателем и широко используется при оценке интенсивности биологического круговорота веществ. Она характеризует долю участия минералов в строении живого вещества, соотношение его минеральной и органической составляющей. Зольность ассимиляционных органов растений зависит от многих объективных (таксономическая принадлежность, опробуемый орган, время и место отбора проб, экологические условия произрастания растений) и субъективных (качество отбора проб, их высушивания, методически выдержанный режим озоления и др.) факторов. В известной мере зольность отражает адаптированность растений к условиям произрастания.

Содержание золы в листьях (хвое) растений и аккумулятивные способности видового состава арборифлоры к ТМ

Средние показатели зольности листьев (хвои) сравниваемого видового состава природной и городской арборифлоры приведены в табл. 1. Максимальные показатели зольности в естественных лесных сообществах отмечены у *Ulmus laciniata* (Trautv.) Mayr (17,0 %)

и *Rubus sachalinensis* Lévl. (17,1 %), в городских насаждениях – у *Acer tegmentosum* Maxim. (14,9 %) и *Philadelphus tenuifolius* Rupr. et Maxim. (13,9 %). Минимальные же ее величины зафиксированы в природных лесах у лианы *Celastrus flagellaris* Rupr. (1,9 %), а также в хвое *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc. (2,7 %), листьях *Berberis amurensis* Rupr. (5,2 %) и *Acer pseudosieboldianum* (Pax) Kom. (5,8 %), в городском озеленении – в хвое *Pinus sylvestris* L. (4,2 %), листьях *Salix caprea* L. (6,0 %) и *Spiraea ussuriensis* Pojark. (6,7 %).

Представленные в табл. 1 данные свидетельствуют также о высокой дифференциации видового состава дальневосточной арборифлоры в аккумулятивных способностях к ТМ. Максимальная вариабельность внутри сравниваемой выборки видов (87–109 %) отмечена в содержании Zn и Mn, самое стабильное содержание (22–35 %) – для Cu и Ni.

Обобщающий анализ элементного состава флоры показал, что для многих обследованных видов как в природных, так и в городских местообитаниях характерны повышенные аккумулятивные способности к Zn и Mn. В городской среде эта закономерность сохраняется также для Fe.

Среди представителей лесной арборифлоры выявлены виды-концентраторы Zn, содержание которого в листьях *Salix gracilistyla* Miq. (218 мг/кг) превышало фоновые уровни в 13 раз, *S. udensis* Trautv. et Mey. (415 мг/кг) – в 7 раз и *Populus tremula* L. (160 мг/кг) и *Syringa wolfii* C. K. Schneid. (159 мг/кг) – в 5 раз. Достаточно активно (до 2–4 раз выше фоновых значений) накапливают цинк также *Betula davurica* Pall. и *B. costata* Trautv. (до 126 мг/кг), *B. platyphylla* Sukacz. (78 мг/кг), *Salix caprea* (70 мг/кг). В городских условиях к видам-концентраторам Zn в первую очередь относятся *Populus maximowiczii* A. Henry (440 мг/кг) и *P. nigra* L. (414 мг/кг), содержание цинка у которых в 7 раз превышает ГЭФ. Высокая его аккумуляция (в 2–3 раза выше фона) характерна также и для других видов тополей (*P. tremula*, *P. koreana* Rehd.) – до 197 мг/кг, берез (*Betula platyphylla*, *B. ermanii* Cham., *B. davurica*) – до 205 мг/кг, некоторых видов ив (*Salix schwerinii* E. Wolf, *S. caprea*, *S. alba* L.) – до 190 мг/кг, а также *Crataegus pinnatifida* Bunge (146 мг/кг) и *Aralia elata* (Miq.) Seem. (127 мг/кг).

Фоновые концентрации тяжелых металлов в листьях (хвое) арборифлоры природных лесных (ЛТ) и городских (СЗ) условиях

Тяжелые металлы	Место отбора проб	Статистические показатели содержания тяжелых металлов				V, %
		$M \pm m$	min	max		
		(мг/кг сух. в-ва)				
Pb	ЛТ	6,08 ± 0,42	0,34	17,48	61	
	СЗ	11,37 ± 0,55	1,24	25,67	44	
Ni	ЛТ	2,07 ± 0,12	0,13	5,08	53	
	СЗ	2,61 ± 0,09	0,50	4,56	31	
Co	ЛТ	1,42 ± 0,09	0,16	3,84	58	
	СЗ	1,37 ± 0,06	0,27	3,08	39	
Cd	ЛТ	0,91 ± 0,07	0,07	2,71	71	
	СЗ	0,95 ± 0,07	0,23	2,77	64	
Zn	ЛТ	32,8 ± 4,1	1,5	217,50	109	
	СЗ	64,0 ± 5,1	19,1	204,50	70	
Cu	ЛТ	6,20 ± 0,24	0,79	12,65	34	
	СЗ	8,56 ± 0,22	4,29	13,94	22	
Mn	ЛТ	149 ± 15	8	606	87	
	СЗ	148 ± 15	31	662	87	
Fe	ЛТ	138 ± 5	20	260	35	
	СЗ	565 ± 32	146	1430	50	
Зольность			(‰ сух. в-ва)			
	ЛТ	9,72 ± 0,34	1,86	17,05	30	
	СЗ	10,03 ± 0,25	4,19	14,94	23	

П р и м е ч а н и е. $M \pm m$ – среднее и ошибка среднего; min и max – предельные содержания; V – коэффициент вариации; ЛТ – природная лесная территория; СЗ – селитебная зона города.

В накоплении Mn самым активным видом-концентратором в природных лесных сообществах показала себя ива удская, ее листья содержат 1153 мг/кг марганца, что в 8 раз превышает ЛЭФ. Далее следуют *Rhododendron mucronulatum* Turcz., *Syringa wolfii*, *Aralia elata*, *Salix gracilistyla*, *Betula platyphylla*, в листьях которых концентрация Mn составляет 606–428 мг/кг, что в 3–4 раза выше фона. Несколько ниже его показатели (до 2–2,6 раза выше фона) у *Corylus mandshurica* Maxim., *Quercus mongolica*, *Acer tegmentosum*, *Betula davurica*, *Ribes maximoviczianum* Kom., *Carpinus cordata* Blume – 388–290 мг/кг. В городском озеленении наилучшие аккумулятивные способности к Mn установлены у видов-концентраторов *Sorbus pochuanensis* (Hance) Hedl. (946 мг/кг) и *Picea pungens* Engelman. (f.) (888 мг/кг), запасы металла в ассимиляционных органах которых

превышают городской фон в 6 раз. До 4 раз выше фоновых значений накапливают марганец также *Forsythia suspensa* Vahl., *Padus avium* Mill., *Corylus heterophylla* Fisch. et Trautv., *Acer tegmentosum*, *Pinus koraiensis*, *Aralia elata* – от 662 до 428 мг/кг. Высокое содержание Mn (до 2,6 раза выше фона) отмечено, кроме того, у *Betula platyphylla*, *Syringa wolfii*, *Salix alba* – 296–385 мг/кг.

В содержании Fe основному составу лесной арборифлоры свойственны, как правило, невысокие показатели. Лишь в листьях *Rubus crataegifolius* Bunge и *Physocarpus amurensis* (Maxim.) Maxim. отмечено почти 2-кратное его превышение относительно ЛЭФ при абсолютном значении 260 мг/кг. До 1,5 раза выше фона (от 238 до 205 мг/кг) накапливают железо *Rubus sachalinensis*, *Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.) Maxim., *Betula davurica*, *Euonymus pauciflora* Maxim.,

Carpinus cordata, *Corylus heterophylla* и *Spiraea ussuriensis*. Несколько иная картина в аккумуляции Fe наблюдается у представителей городской арборифлоры. Железо является одним из основных техногенных металлов-загрязнителей городских экосистем Владивостока. Его среднее содержание в городских зеленых насаждениях в 4 раза превышает ЛЭФ [Шихова, 2017]. Самым активным видом-концентратором Fe при этом является боярышник перистонадрезный. Содержание металла в его листьях составляет 2975 мг/кг, что в 5 раз превышает ГЭФ и в 22 раза – ЛЭФ. До 2,5 раза выше городского фона накапливают железо *Padus maackii* (Rupr.) Kom., *Microcerasus tomentosa* (Trunb.) Eremin et Jushev, *Corylus heterophylla*, *Tilia taguetii* C. K. Schneid × *T. amurensis* Rupr., *Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg. – от 1430 до 1087 мг/кг.

Аналитические данные по содержанию других ТМ свидетельствуют о меньшей их аккумуляции растениями и более стабильном содержании внутри сравниваемой выборки видов.

Среди природной арборифлоры самое высокое содержание Pb, до трех раз превышающее ЛЭФ, отмечено в листьях *Rubus sachalinensis* (17,5 мг/кг), *Lonicera caerulea* L. (14,6), *Rhamnus davurica* Pall. (13,2), *Vitis amurensis* Rupr. (12,4), *Euonymus maximovicziana* Prokh. (12,1), *Deutzia amurensis* (Regel) Airy Shaw (12,0 мг/кг). У представителей городской флоры максимальные содержания Pb – до 2 раз выше ГЭФ, зафиксированы в листьях *Crataegus pinnatifida* (25,7 мг/кг), *Corylus heterophylla* (24,4), *Microcerasus tomentosa* (24,3), *Cerasus sargentii* (Rehd.) Pojark. (21,7 мг/кг). Все указанные содержания Pb превосходят ЛЭФ примерно в 4 раза.

Повышенными аккумулятивными способностями к Ni в природных условиях отличаются *Philadelphus schrenkii* Rupr. et Maxim. (5,1 мг/кг), *Salix gracilistyla* (5,0), *S. udensis* (4,8), *Rubus sachalinensis* (4,5), *Euonymus macroptera* Rupr. (4,3 мг/кг), содержание металла у которых превышает локальный фон в 2,5 раза. В условиях городской среды наиболее значимые содержания Ni (в 1,6–1,7 раза выше ГЭФ), соответствующие средним уровням аккумуляции ТМ, зафиксированы у *Populus nigra* (4,6 мг/кг), *Picea pungens* (f.) и *Crataegus pinnatifida* (4,3), *Euonymus maackii* Rupr. и *Pinus koraiensis* (4,2 мг/кг).

Самые высокие накопления Co в лесных экосистемах (в 2,0–2,7 раза выше ЛЭФ) установлены у *Lonicera caerulea* (3,8 мг/кг), *Euonymus macroptera* (3,6), *Deutzia amurensis* (2,8), *Philadelphus tenuifolius* (2,7); в городских условиях (в 2,0–2,2 раза выше ГЭФ) – у *Populus nigra* (3,1 мг/кг), *Crataegus pinnatifida* (2,6), *C. maximowiczii* C. K. Schneid. (2,5 мг/кг).

Максимальные содержания Cd в природных условиях (в 2–3 раза выше ЛЭФ) обнаружены в листьях *Salix udensis*, *S. gracilistyla* и *Lonicera caerulea* (2,7 мг/кг), *Rubus sachalinensis* (2,6), а также у *Euonymus maximovicziana* и *Rhamnus davurica* (1,8 мг/кг). В урбанизированной среде подобные превышения зафиксированы у *Euonymus maackii* (2,8 мг/кг), *Eleutherococcus sessiliflorus* (Rupr. et Maxim.) S. Y. Hu (2,5), *Euonymus sacrosancta* Koidz. (2,4), *Crataegus maximowiczii* (2,2), а также у *Syringa vulgaris* L., *Euonymus macroptera*, *Deutzia amurensis* и *Philadelphus tenuifolius* (2,1 мг/кг).

Самое высокое содержание Cu установлено в листьях *Alnus hirsuta* (Spach) Fisch. ex Rupr. в лесных фитоценозах – 24,4 мг/кг, что в 4 раза превосходит ЛЭФ. До 1,5–2,0 раза выше фона накапливают медь в данных условиях деревянистые лианы *Vitis amurensis*, *Actinidia arguta* (Siebold et Zucc.), *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill. (12,7–9,3 мг/кг), а также *Salix udensis*, *S. gracilistyla* (до 10,6) и *Juglans mandshurica* Maxim. (9,1 мг/кг). Среди видов, формирующих городские зеленые насаждения, подобные аккумулятивные способности к меди отмечены у *Euonymus maackii* (12,4 мг/кг), *Schisandra chinensis* (13,9), *Crataegus pinnatifida* (18,0) и *Syringa oblata* Lindl. (19,7 мг/кг).

Виды с низким содержанием ТМ в листьях (хвое) растений

Для видов, условно названных нами видами-рассеивателями металлов, характерно содержание ТМ в 1,3–2 раза и более ниже среднего по выборке (ОИН < 1,0). Эта группа видов – самая многочисленная. В природных фитоценозах к ним относятся в первую очередь шесть видов, у которых величина всех восьми проанализированных ТМ соответствует статусу низких содержаний: *Celastrus flagellaris*, *Pinus koraiensis*, *Armeniaca mand-*

shurica (Maxim.) B. Skvortz., *Malus manshurica* (Maxim.) Kom., *Padus maximowiczii* (Rupr.) Sokolov, *Abies holophylla* Maxim. Еще восемь видов природной арборифлоры рассеивают по семь ТМ: все ТМ, кроме Cu – *Acer mandshuricum* Maxim., *Maackia amurensis* Rupr. et Maxim., *Salix caprea* и *Ulmus pumila* L.; кроме Zn – *Juglans mandshurica*, *Ulmus laciniata* и *Cerasus sargentii*; кроме Co – *Tilia amurensis* Rupr. Низкое содержание шести ТМ наблюдается у *Kalopanax septemlobus* (Thunb.) Koidz. (все ТМ, кроме Zn и Mn), *Acer barbinerve* Maxim. и *Berberis amurensis* (кроме Cu и Mn), *Fraxinus mandshurica* и *Micromeles alnifolia* (Siebold et Zucc.) Koehne (кроме Cu и Fe). Минимальные же содержания Cd (0,07 мг/кг), Ni (0,13), Co (0,16) и Pb (0,34 мг/кг) зафиксированы в хвое *Pinus koraiensis*, а Zn (1,53 мг/кг), Cu (0,79), Fe (20 мг/кг) и зольности (1,86 %) – в листьях *Celastrus flagellaris*, Mn (7,7 мг/кг) – у *Maackia amurensis*. Для мааки амурской характерно также весьма слабое накопление Ni (0,22 мг/кг), Co (0,27), Cd (0,11) и Pb (1,35 мг/кг). У древогубца плетеобразного обнаружено, кроме указанных минимальных значений четырех ТМ, очень низкое содержание Mn (10 мг/кг), а у сосны корейской (кедра корейского) – Cu (1,44 мг/кг). Эти три вида в лесных экосистемах региона исследований являются наиболее типичными представителями группы видов с низким содержанием ТМ. Они представлены единично и для окончательных выводов нуждаются в дальнейших более детальных исследованиях.

В городском озеленении группу типичных видов-рассеивателей ТМ возглавляют *Micromeles alnifolia* и *Spiraea ussuriensis*. Содержание всех проанализированных металлов у них ниже ГЭФ: *Micromeles alnifolia* – от 1,3 раза для Co (1,1 мг/кг) до 4,7 раза для Mn (31 мг/кг); *Spiraea ussuriensis* – от 1,2 раза для Cd (0,7 мг/кг) до 5,1 раза для Co (0,3 мг/кг). Слабое накопление семи ТМ отмечено у *Fraxinus pennsylvanica* Marsh., *Amorpha fruticosa* L. и *Lespedeza bicolor* Turcz. – всех ТМ, кроме Cu; у *Aesculus hippocastanum* L. – кроме Pb; *Carpinus cordata* – кроме Mn. Еще для пяти видов характерно низкое содержание шести ТМ: *Alnus hirsuta* (всех ТМ, кроме Pb, Cu), *Catalpa bignonioides* Walt. (кроме Co, Cu), *Corylus mandshurica* (кроме Mn, Cd), *Acer tegmentosum* и *Maackia amurensis* (кроме Mn, Cu).

Низкое содержание ряда металлов, в 1,5 раза и более уступающее фоновым величинам, зафиксировано еще у 26 видов, встречающихся только в СЗ (преимущественно виды-интродуценты). Минимальные же содержания ТМ в выборке городской арборифлоры зафиксированы у следующих видов: *Acer tegmentosum* – по Pb (1,24 мг/кг) и Ni (0,50 мг/кг), *Spiraea ussuriensis* – Co (0,27 мг/кг), *Micromeles alnifolia* – Mn (31 мг/кг), *Maackia amurensis* – Cd (0,23 мг/кг), *Populus maximowiczii* – Fe (146 мг/кг), *Corylus mandshurica* – Zn (19,1 мг/кг), *Pinus sylvestris* – Cu (4,3 мг/кг). Приведенные содержания металлов от 9 (Pb) до 5 (Ni, Co, Mn), 4 (Cd, Fe), 3 (Zn) и 2 (Cu) раз ниже уровней ГЭФ.

Виды с фоновым содержанием ТМ

Практически у половины видового состава природных (48 %) и городских (54 %) сообществ растений отмечены фоновые содержания металлов.

В лесных экосистемах 15 видов из 39, относящихся к группе фоновых показателей, встречаются только в природных фитоценозах. Абсолютному большинству представителей этой группы свойственно фоновое содержание 1–2 ТМ (преимущественно Cu, Zn и Ni). Исключением являются *Sorbaria sorbifolia*, в листьях которой зафиксировано близкое к фоновому содержание шести ТМ (всех ТМ, кроме Pb и Co), *Rhododendron mucronulatum* с фоновым содержанием четырех ТМ (Pb, Co, Cd, Zn), а также по трем ТМ отмечено у *Viburnum sargentii* Koehne (Pb, Ni, Cu) и *Rubus crataegifolius* (Co, Cu, Mn).

При более мягком подходе, включающем содержания, близкие к фоновым (околофоновые содержания), состав группы возрастает почти в 2 раза.

В городских условиях большинству рассматриваемой группы видов (34 вида) характерно фоновое содержание одного ТМ, 9 видам – двух ТМ (преимущественно Fe, Pb, Co и Cu в разных сочетаниях), и только у двух видов зафиксировано близкое к ГЭФ содержание трех ТМ: *Sambucus racemosa* (Pb, Cd, Cu) и *Tilia amurensis* (Ni, Cu, Fe). Больше всего видов с фоновым значением отмечено для Fe (11 видов), Pb и Co (по 9 видов), Cu (8 видов). Численность группы возрастает в 1,6 раза при

учете видов, близких к фоновому содержанию ТМ.

Дифференциация семейств арборифлоры по интенсивности накопления ТМ

Состав исследованной арборифлоры представлен 28 семействами, из которых общими для сравниваемых условий произрастания являются 17 семейств. Список семейств лесной арборифлоры включает дополнительно семь семейств, городской – четыре моновидовых семейства интродуцентов. Самым многочисленным семейством является Rosaceae Juss., представленное в ЛТ 13 видами, в СЗ – 16 видами. Далее следуют сем. Betulaceae S. F. Gray – 7 видов в обоих местах произрастания, Saprotiaceae Juss. – 8 видов в ЛТ и 5 видов в СЗ, Aceraceae Juss. и Celastraceae Lindl. – по 5 видов повсеместно. В СЗ к многочисленным семействам относятся также Oleaceae Hoffm. et Link – 9 видов (ЛТ – 4 вида), Salicaceae Mirb. – 7 видов (ЛТ – 4 вида) и Pinaceae Lindl. – 5 видов (ЛТ – 3 вида).

Статистический анализ полученных данных показал, что самая высокая вариабельность ТМ среди семейств наблюдается в содержании Cd и Mn: в ЛТ – 54 и 84 %, в СЗ – 62 и 52 % соответственно. При этом содержание Cd в ЛТ варьирует от 0,14 (Juglandaceae A. Rich.) до 1,82 мг/кг (Rhamnaceae Juss.), в СЗ – от 0,30 (Pinaceae) до 2,24 мг/кг (Celastraceae). К семействам с высоким содержанием Cd (в 1,5–2 раза выше средних значений) в ЛТ принадлежат также Salicaceae, Grossulariaceae Rers., Euphorbiaceae Juss., Actinidiaceae Hutch. (1,37–1,73 мг/кг); в СЗ – Cornaceae Dumort. (1,53 мг/кг). Низкие содержания Cd, в 2–3 раза уступающие средним значениям (0,27–0,40 мг/кг), зафиксированы, вне зависимости от условий произрастания, у семейств Pinaceae, Tiliaceae Juss., Fabaceae Lindl. s. l. и Fagaceae Dumont., в СЗ дополнительно – у Bignoniaceae Rers. (0,36 мг/кг) и Hippocastanaceae Torr. et Gray (0,44 мг/кг), в ЛТ – у Ulmaceae Mirb. (0,38 мг/кг).

Содержание Mn в растениях ЛТ находится в пределах 43–606 мг/кг (Ulmaceae и Ericaceae Juss. соответственно), в СЗ – 33–381 мг/кг (Bignoniaceae и Pinaceae соответственно). Активно накапливают Mn (в 2–3 раза выше средних значений) виды сем. Betulaceae (ЛТ–

290 мг/кг, СЗ – 223 мг/кг), а также Salicaceae (460 мг/кг), Fagaceae (315 мг/кг) – в ЛТ, и Aceraceae (210 мг/кг) – в СЗ. Из общих семейств разных мест произрастания минимальное накопление Mn (47–65 мг/кг) отмечено у Rutaceae Juss. и Celastraceae. В лесных сообществах слабо накапливают металл также растения семейств Berberidaceae Juss., Juglandaceae, Rhamnaceae, Actinidiaceae, Euphorbiaceae, Vitaceae Juss. (54–82 мг/кг), в городских условиях – Bignoniaceae (33 мг/кг) и Cornaceae (61 мг/кг).

Среди других ТМ значимые превышения средних показателей (от 2 раз и более) зафиксированы лишь в накоплении Zn: Salicaceae – 215 мг/кг в ЛТ и 242 мг/кг в СЗ; Betulaceae – 62 мг/кг в ЛТ и 102 мг/кг в СЗ; Oleaceae – 59 мг/кг в ЛТ. Для остальных металлов более характерна 1,5–2-кратная аккумуляция относительно фоновых уровней. Такие концентрации отмечены в ЛТ по Pb в растениях семейств Rhamnaceae, Vitaceae и Grossulariaceae (9,9–13,2 мг/кг); по Co – Rhamnaceae (2,53 мг/кг), Ni – Hydrangeaceae Dumort. (3,52 мг/кг), Cu – Vitaceae (12,6 мг/кг). В СЗ подобные содержания зафиксированы по Pb у семейств Hydrangeaceae (19,6 мг/кг), Zn – Pinaceae (71 мг/кг) и Ulmaceae (79 мг/кг), Cu – Schisandraceae Blume (13,9 мг/кг), Fe – Ulmaceae (993 мг/кг) и Tiliaceae (802 мг/кг).

Однако большинству семейств дальневосточной арборифлоры, подобно ее видовому составу, более характерны все-таки пониженные содержания металлов, до 2–3 раз и более относительно фоновых показателей. В ЛТ к таким семействам относятся Fabaceae по содержанию Pb (2,9 мг/кг) и Co (0,62 мг/кг), Pinaceae – Pb (1,8 мг/кг), Tiliaceae – Co (0,54 мг/кг); в СЗ – Rutaceae по содержанию Zn (24 мг/кг) и Fabaceae – Fe (364 мг/кг).

Анализ зольности семейственного спектра арборифлоры также позволил отметить некоторые закономерности в ее содержании. Так, ряды зольности в сравниваемых списках возглавляют разные семейства, но с близкими значениями: в лесной зоне – Rhamnaceae (15,1 %), в городской – Moraceae Lindl. (14,9 %). Высокие показатели зольности отмечены также у растений семейств Hydrangeaceae и Ulmaceae – от 13,2 до 14,2 %. В природных условиях повышенная зольность листьев зафиксирована, кроме того, у лиан семейств

Actinidiaceae (12,8 %) и Vitaceae (11,6 %), а также у кустарников сем. Grossulariaceae (11,7 %); в городских насаждениях – в листьях деревьев моновидовых семейств Rutaceae (13,1 %), Cornaceae (11,9 %), Hippocastanaceae (11,6 %), а также у кустарников р. *Euonymus* L. (10,8–12,5 %), принадлежащих сем. Celastraceae.

Низкая зольность вне зависимости от условий произрастания характерна для семейств Fabaceae, Fagaceae, Betulaceae, Tiliaceae (6,5–8,8 %), а минимальная – для сем. Pinaceae (4,2 % – ЛТ, 5,9 % – СЗ). Средним показателям зольности наиболее близки данные, полученные для семейств Rosaceae и Salicaceae – соответственно 10,1 % и 9,3 % в ЛТ, а также 10,5 и 10,2 % в СЗ.

Было также констатировано, что зольность листьев и хвои растений семейств Pinaceae, Aceraceae и Shisandraceae Blume в городских насаждениях несколько выше (до 1,4 раза) по сравнению с одноименными семействами лесных фитоценозов. Подобная закономерность, но в меньшей степени выраженная, присуща семейству Juglandaceae (1,3 раза), а также Fabaceae и Rutaceae (1,2 раза). Скорей всего, это обусловлено большей запыленностью их листьев.

Для поиска общих эколого-геохимических закономерностей в накоплении комплекса рассматриваемых металлов растениями был выполнен кластерный анализ семейственных спектров растений. На рисунках представлены дендрограммы семейств селитебной (рис. 1) и лесной (рис. 2) территорий региона исследований. Судя по полученным данным, для городских растений характерны менее прочные связи и значительная раздробленность спектра семейств. Среди общего их состава выделяется кластер из девяти семейств с ядром из Celastraceae – Moraceae – Hippocastanaceae – Cornaceae – Rutaceae – Bignoniaceae, а также несколько небольших групп из 2–3 семейств. В отличие от них, среди растений лесных сообществ четко выделяются два кластера семейств. Первый – достаточно плотный и многочисленный, включающий 13 семейств. Наиболее тесные связи обнаружены между семействами Celastraceae – Rhamnaceae – Vitaceae – Euphorbiaceae – Actinidiaceae – Fabaceae, а также Berberidaceae – Ulmaceae – Rutaceae – Juglandaceae и Caprifoliaceae – Rosaceae – Hydrangeaceae. Второй кластер – меньший по численности с ядром из семейств Aceraceae –

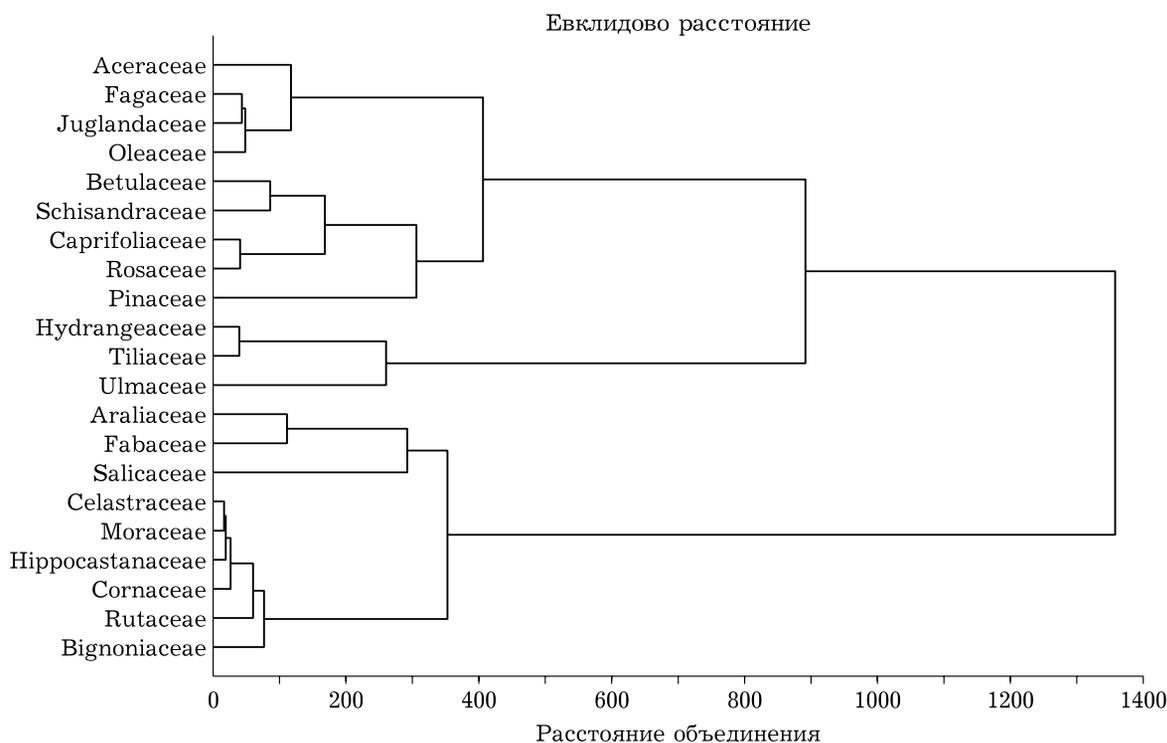


Рис. 1. Дендрограмма семейств растений, формирующих зеленые насаждения г. Владивостока, построенная на основе кластерного анализа элементного химического состава растений

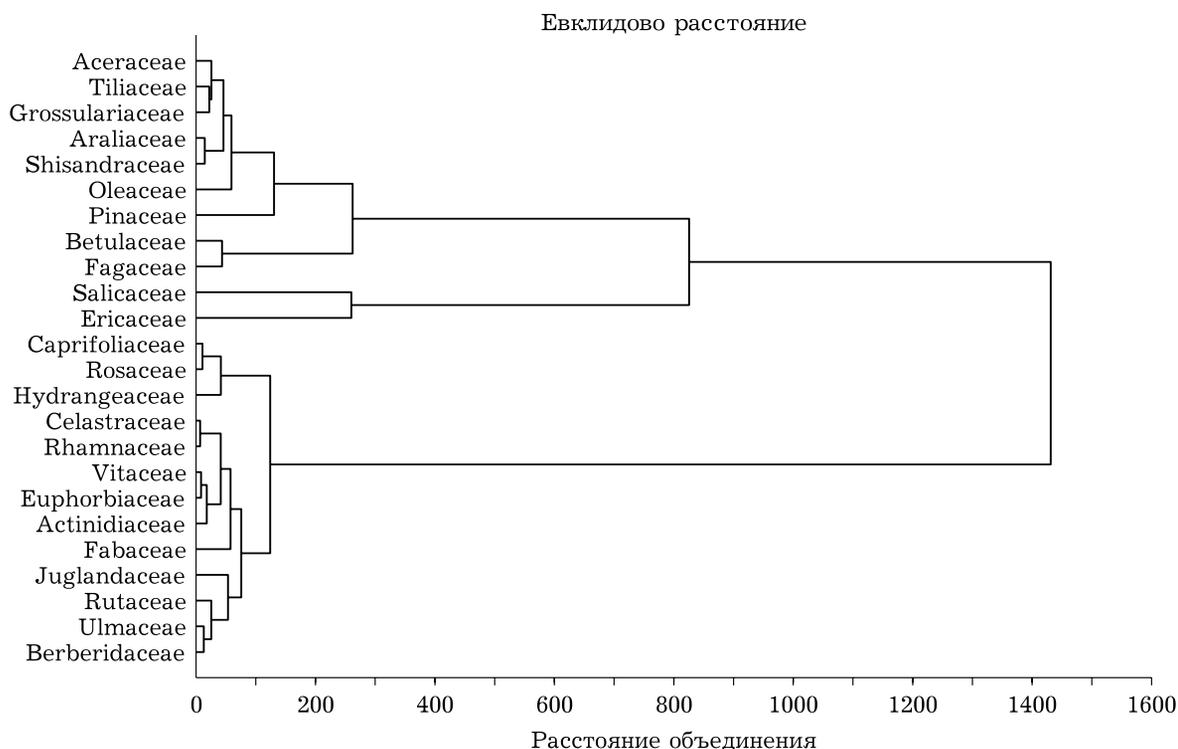


Рис. 2. Дендрограмма семейств растений, формирующих лесные экосистемы п-ова Муравьев-Амурский, построенная на основе кластерного анализа элементного химического состава растений

Tiliaceae – Araliaceae – Shisandraceae. Согласно полученным данным, близкие закономерности в накоплении комплекса металлов, вне зависимости от условий произрастания, установлены для семейств Caprifoliaceae и Rosaceae и менее четко выраженные – для Celastraceae и Rutaceae.

ОБСУЖДЕНИЕ

Общий анализ полученных материалов показал, что 64 % состава природной и 58 % состава городской арборифлоры накапливают ТМ в листьях (хвое) до 1,5 раза выше относительно фоновых уровней. Это характеризует их как виды средних и высоких аккумулятивных способностей к ТМ. Из них одна треть состава в ЛТ и одна четверть в СЗ накапливают по 3–4 металла, остальные – по 1–2 металла. Исключением являются четыре вида, аккумулирующие от 5 до 7 ТМ: *Salix gracilistyla* (Ni, Co, Cd, Zn, Cu, Mn) и *S. udensis* (Ni, Cd, Zn, Cu, Mn) – в лесных растительных сообществах, *Crataegus pinnatifida* (Pb, Ni, Co, Cd, Cu, Zn, Fe) и *Euonymus maackii* (Pb, Ni, Co, Cd, Cu) – в городских насаждениях.

Максимальные же концентрационные способности к ТМ среди природной арборифлоры обнаружены у *Salix udensis*, в листьях которой зафиксирована почти 13-кратная относительно ЛЭФ концентрация Zn (415 мг/кг) и 8-кратная – Mn (1153 мг/кг). К сожалению, в научной литературе крайне мало сведений, касающихся региональных кларков растительности, однако по имеющимся данным для растений лесостепного и степного Поволжья виды сем. Salicaceae и р. *Populus* L. указаны в работе как основные концентраторы Zn [Прохорова и др., 1998]. Содержание Mn в листьях деревьев этого региона варьирует от 5,7 мг/кг (*Viburnum opulus* L.) до 610,0 мг/кг (*Padus avium*), Zn – от 7,08 мг/кг (*V. opulus*) до 24,39 мг/кг (*Malus sylvestris* (L.) Mill.) [Прохорова, 2004]. Для растений незагрязненных почв Новосибирской области в литературе приводятся следующие средние содержания металлов: Mn – 104,8 мг/кг, Zn – 58,3 мг/кг [Ильин, 1991]. Если же сравнить полученные нами данные с литературными по видам-гипераккумуляторам Zn и Mn, накапливающим в листьях более 10000 мг/кг металлов [Brooks, 1998; Krämer, 2010], видно, что они

на порядок и более уступают указанному максимуму. Среди гипераккумуляторов Zn обнаружено много видов сем. Brassicaceae Burnett. [Петрунина, 1974; Baker, Brooks, 1989] с весьма высокими его концентрациями, но абсолютный максимум Zn – 51600 мг/кг, отмечен в надземной сухой массе *Thlaspi caerulescens* J. Presl et C. Presl [Brown et al., 1994]. Самым активным гипераккумулятором Mn является, согласно литературным источникам, дерево *Macadamia neurophylla* F. Muell. в Австралии, в листьях которого зафиксировано 51800 мг/кг металла [Baker, Walker, 1990].

Среди городской арборифлоры к видам-концентраторам ТМ относятся тополя (*Populus nigra*, *P. maximowiczii*) с 7-кратным превышением ГЭФ по Zn (441 и 414 мг/кг соответственно), а также *Sorbus pochuanensis* и *Picea pungens* (f.) с 6-кратным обогащением Mn (888 и 946 мг/кг соответственно) и *Crataegus pinnatifida* – с 5-кратным Fe (2975 мг/кг). Следует заметить, что хотя концентрации Mn в 11 раз, а Zn – в 23 раза ниже приведенных в литературе для растений, относящихся к гипераккумуляторам этих металлов [Baker, Brooks, 1989], однако они до 2–4 раз превышают избыточные или токсичные пределы концентраций металлов в зрелых тканях листьев [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989]. Согласно данным авторов, для Zn они составляют 100–400 мг/кг, для Mn – 300–500 мг/кг. При этом следует заметить, что приведенные токсичные концентрации металлов обобщены авторами преимущественно по материалам для травянистых растений, и могут служить, на наш взгляд, лишь ориентировочными критериями для оценки древесных растений, особенно в накоплении Mn, содержание которого в древесных видах, судя по нашим данным [Шихова, 2017], существенно (до 1,5 раза и более) превосходит травянистые виды.

В выполненном нами ранее литературном обзоре по накоплению металлов зелеными насаждениями городов России и ближнего зарубежья [Шихова, 2022] имеются сведения по содержаниям Zn и Mn в растениях разных регионов. Самые высокие показатели Mn указаны в листьях *Betula pendula* Roth. в насаждениях г. Витебска (Белоруссия) – 1080 мг/кг [Вадьковская, Гурч, 1999], и *Tilia cordata* Mill. г. Калининграда – 810 мг/кг [Масленников

и др., 2015], Zn – в листьях *Betula pendula* в озеленении г. Иркутска – 650 мг/кг [Шергина, Михайлова, 2007]. Приведенные литературные данные близки полученным нами по содержанию Mn, но примерно в 1,5 раза превышают концентрации Zn.

Сравнение способности к накоплению ТМ у общих видов, обитающих в природных и городских условиях, свидетельствует, что 36 видов из 50 аккумулируют в разной степени те или иные металлы. Список этих видов и содержание в них ТМ представлены в табл. 2. Согласно приведенным данным, самыми активными концентраторами суммы металлов являются *Corylus heterophylla*, аккумулирующая Pb, Cd, Mn и Fe, и *Syringa wolfii*, накапливающая Ni, Zn, Cu, Mn. Сирень в городских посадках обогащена к тому же Fe. Судя по итоговым результатам, способность к аккумуляции Mn и Cd показали 8 видов, Zn – 6 видов, Pb – 3 вида, Ni, Cu и Fe – 2 вида, Co – 1 вид.

Обращает на себя внимание также тот факт, что абсолютному большинству исследованных видов более свойственно низкое (ниже фоновых значений) содержание хотя бы одного металла, что может косвенно свидетельствовать о наличии барьерных механизмов в поглощении металлов у значительного состава арборифлоры. В ЛТ исключением из этого правила являются лишь *Rhododendron mucronulatum* и *Sorbaria sorbifolia*, в СЗ – *Corylus heterophylla*, *Syringa wolfii* и *Microcerasus tomentosa*, содержание ТМ у которых выше или близко фоновому. Минимальные же содержания всех ТМ зафиксированы в растениях лесных фитоценозов: Cd (0,07 мг/кг), Ni (0,13), Co (0,16) и Pb (0,34 мг/кг) – в хвое *Pinus koraiensis*; Cu (0,79 мг/кг), Zn (1,53) и Fe (20 мг/кг) – в листьях *Celastrus flagellaris*; Mn (7,7 мг/кг) – в листьях *Malus manshurica*. Они от 2 (Co) до 7 (Zn) и 12 (Mn) раз ниже минимумов, зафиксированных в растениях городских насаждений. Среди одноименных видов городских и природных насаждений типичными рассеивателями металлов являются *Maackia amurensis* и *Micromelaes alnifolia*. Их отличает низкое содержание Pb, Ni, Cd, Zn, маакии амурской – к тому же Co и Fe, мелкоплодника ольхолистного – Mn. Для остальных общих видов установлено низкое содержание 1–2 ТМ – преимущественно Mn, Cd и Zn.

Вид растений	Pb		Ni		Co		Cd		Zn		Cu		Mn		Fe	
	СЗ	ЛТ	СЗ	ЛТ	СЗ	ЛТ	СЗ	ЛТ	СЗ	ЛТ	СЗ	ЛТ	СЗ	ЛТ	СЗ	ЛТ
<i>Corylus heterophylla</i>	24,4	9,4	-	-	-	-	1,39	1,53	-	-	-	-	519	209	1355	205
<i>Syringa wolfii</i>	-	-	3,99	2,90	-	-	-	-	111	159*	12,0	8,7	313	586	847	-
<i>Aralia elata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	127	48	-	-	428	500	-	-
<i>Betula davurica</i>	-	-	-	-	2,28	-	-	-	167	126	-	-	254	307	-	218
<i>Betula platyphylla</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	205	78	-	-	385	428	-	-
<i>Lonicera maackii</i>	18,2	10,0	-	3,44	-	2,14	1,52	1,75	-	-	-	-	-	-	792	-
<i>Deutzia amurensis</i>	19,9	12,0	-	2,81	-	2,86	2,08	1,68	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Padus avium</i>	-	10,7	3,64	3,20	-	2,08	1,40	1,40	-	-	-	-	575	-	-	-
<i>Euonymus macroptera</i>	-	11,4	-	4,26	-	3,62	2,10	1,28	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Corylus mandshurica</i>	-	8,4	-	-	-	-	1,31	1,35	-	-	-	-	-	388	-	-
<i>Eleutherococcus senticosus</i>	-	9,5	-	-	-	-	2,53	1,59	-	-	-	-	-	-	-	220
<i>Eleutherococcus sessiliflorus</i>	-	10,2	-	-	1,96	2,19	-	1,62	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Philadelphus tenuifolius</i>	19,2	-	-	-	2,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	934	199
<i>Populus tremula</i>	-	-	-	-	-	-	-	1,28	197	160*	-	-	-	216	-	-
<i>Schisandra chinensis</i>	-	8,8	-	-	-	-	-	-	-	-	13,9	9,3	-	215	-	-
<i>Acer mono</i>	-	-	-	-	-	-	-	1,31	-	-	-	-	251	238	-	-
<i>Acer pseudosieboldianum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,6	227	270	-	-
<i>Euonymus sacrosancta</i>	-	9,5	-	-	-	-	2,30	1,43	-	-	-	-	-	-	-	186
<i>Lonicera praeflorens</i>	-	-	-	-	-	-	1,28	1,32	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acer tegmentosum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	518	311	-	-
<i>Salix caprea</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	147	70	-	-	-	-	-	-
<i>Carpinus cordata</i>	-	-	-	2,96	-	2,03	-	-	-	-	-	-	-	290	-	212
<i>Quercus mongolica</i>	-	-	-	2,86	-	-	-	-	-	-	-	8,9	-	315	-	-
<i>Alnus hirsuta</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24,4	-	204	-	-
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	-	-	-	3,19	-	2,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	205
<i>Spiraea ussuriensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Juglans mandshurica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,1	-	-	-	-
<i>Crataegus maximowiczii</i>	19,2	-	3,61	-	2,50	-	2,20	-	-	-	-	-	-	461	779	-
<i>Pinus koraiensis</i>	18,3	-	4,10	-	-	-	1,30	-	99	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cerasus sargentii</i>	21,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	916	-
<i>Padus maackii</i>	20,0	-	-	-	-	-	1,42	-	-	-	-	-	-	-	1430	-
<i>Ulmus pumila</i>	-	-	-	-	-	-	1,60	-	-	-	-	-	-	-	898	-
<i>Viburnum sargentii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ulmus japonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1087	-
<i>Euonymus pauciflora</i>	16,6	-	-	-	-	-	1,76	-	-	-	-	-	-	-	-	217
<i>Tilia taquetii</i> × <i>T. amurensis</i>	17,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	260	1187	-

П р и м е ч а н и е. СЗ – селитебная зона, ЛТ – природная лесная территория; концентрации ГМ, превышающие экологический фон в 1,4–2,0 раза, выделены жирным шрифтом, в 3–4 раза – обведены рамкой, в 5 раз и более – обведены рамкой и помечены звездочкой.

Группа видов с фоновыми содержаниями ТМ – самая малочисленная. В лесных фитоценозах наиболее типичными ее представителями являются *Sorbaria sorbifolia* с фоновым содержанием пяти ТМ (Ni, Zn, Cu, Mn, Fe) и *Rhododendron mucronulatum*, содержащий три ТМ (Pb, Co, Cd) фонового уровня. В городских насаждениях возглавляют группу фонового содержания три вида – *Acer ginnala* (Zn, Cu, Fe), *Sambucus racemosa* (Pb, Cd, Cu), *Tilia amurensis* (Ni, Mn, Fe). Для остальных видов как в лесных, так и в городских условиях характерно фоновое содержание одного, реже – двух металлов. Среди одноименных видов лесных и городских местообитаний фоновые содержания ТМ отмечены у 12 видов, но лишь у трех из них они идентичны в обоих условиях. Так, *Sorbaria sorbifolia* и *Lespedeza bicolor* характеризуются фоновым содержанием Cu, а *Sambucus racemosa* – Cd. Однако у рябинника рябинолистного в ЛТ отмечено, кроме того, фоновое содержание Ni, Zn, Mn и Fe, в СЗ – Co; у леспедецы двуцветной в ЛТ – Ni, у бузины кистистой в СЗ – Pb и Cu. Общими для большинства видов этой группы являются фоновые значения Cu и Fe, в СЗ их дополняют Co и Pb.

Итоговый анализ элементного состава листьев (хвои) одноименных видов, произрастающих в лесных фитоценозах и городских насаждениях, представлен в табл. 3. Согласно полученным данным, 16 видов отличаются высокими способностями к аккумуляции ТМ. Типичными представителями этой группы растений служат пять видов: *Corylus heterophylla* (Pb, Cd, Fe), *Eleutherococcus sessiliflorus* (Cd), *Populus tremula* (Zn), *Acer mono* и *Syringa wolfii* (Mn). Группа фонового содержания ТМ представлена пятью видами. Для них характерно фоновое содержание какого-либо одного металла: *Acer pseudosieboldianum* и *Ligustrina amurensis* Rupr. – Zn, *Lespedeza bicolor* – Cu, *Sorbaria sorbifolia* – Co, *Sambucus racemosa* – Cd. Самой многочисленной является группа видов с низким содержанием ТМ. Она сформирована преимущественно видами со слабым накоплением 1–2 ТМ – преимущественно Cd, Zn и Mn. Отдельные виды рассеивают 3–5 ТМ: *Maackia amurensis* (Co, Cd, Fe), *Malus mandshurica* (Zn, Mn, Fe), *Fraxinus mandshurica* и *Armeniaca mandshurica* (Cd, Zn, Mn), *Abies holophylla* (Ni, Co, Cd),

Salix caprea (Pb, Co, Mn, Fe), *Micromeles alnifolia* (Pb, Ni, Cd, Zn, Mn).

В целом же, для основного состава арборифлоры более характерна все-таки дифференцированная аккумуляция ТМ, когда одни металлы растения накапливают, к другим они индифферентны. Так, например, в листьях *Acer pseudosieboldianum* отмечено высокое содержание Mn, фоновое – Zn и низкое – Cd. В листьях *Salix caprea* наблюдается низкое содержание Pb, Co, Mn и Fe при одновременно высокой концентрации Zn. *Aralia elata*, *Betula davurica* и *B. platyphylla* интенсивно накапливают Zn и Mn, но при этом аралия рассеивает Pb, а березы – Cd. *Deutzia amurensis* и *Lonicera maackii* (Rupr.) Herd. активны в аккумуляции Pb и Cd, но индифферентны к Mn и т. д.

Обобщенные материалы по содержанию ТМ и зольности исследованного состава семейств арборифлоры представлены в табл. 4. Согласно полученным данным, 11 семейств способны к высокой аккумуляции ТМ. В первую очередь это семейства Hydrangeaceae (накапливают Ni, Co, Cd и Fe) и Salicaceae (накапливают Ni, Cd и Zn). Растения сем. Hydrangeaceae в городских условиях накапливают к тому же Pb и Cu, причем Pb весьма значимо – почти в 2 раза относительно ГЭФ. Максимальные концентрационные способности к ТМ обнаружены у сем. Salicaceae по отношению к Zn. Его содержание в растениях городских насаждений в 5 раз, а в природных фитоценозах – до 8 раз превышает фоновые показатели. Большинству проанализированной выборки семейств растений более типична все-таки аккумуляция 1–2 металлов.

Малое содержание ТМ (от 1,3 до 6 раз ниже фоновых уровней) установлено у 15 семейств. Самыми типичными представителями среди них являются семейства Fabaceae (низкое содержание Pb, Co, Cd, Fe), Pinaceae (Co, Cd, Cu) и Tiliaceae (Co, Cd, Zn). Общим для указанных семейств является слабое накопление Co и Cd. Рассеяние ТМ при этом более ярко проявляется в локально-фоновых условиях. Остальным семействам этой группы свойственно слабое накопление какого-либо одного металла. Интересно также отметить, что минимальное содержание наиболее агрессивных загрязнителей среды – Pb и Cd, зафиксировано в ЛТ у сем. Juglandaceae (1,1 и 0,14 мг/кг соответственно), в СЗ –

Эколого-геохимическая дифференциация видового состава арборифлоры

Тяжелые металлы	Группа видов по интенсивности накопления металлов		
	высокого содержания ($\geq 1,5 M$)	среднего содержания ($M \pm m$)	низкого содержания ($\leq 1,5 M$)
Свинец	<i>Corylus heterophylla</i>	–	<i>Aralia elata</i>
	<i>Deutzia amurensis</i>	–	<i>Micromeles alnifolia</i>
	<i>Lonicera maackii</i>	–	<i>Salix caprea</i>
Никель	–	–	<i>Abies holophylla</i>
	–	–	<i>Micromeles alnifolia</i>
Кобальт	<i>Philadelphus tenuifolius</i>	<i>Sorbaria sorbifolia</i>	<i>Abies holophylla</i>
	–	–	<i>Alnus hirsuta</i>
	–	–	<i>Maackia amurensis</i>
	–	–	<i>Pinus koraiensis</i>
Кадмий	<i>Corylus heterophylla</i>	<i>Sambucus racemosa</i>	<i>Salix caprea</i>
	<i>Deutzia amurensis</i>	–	<i>Abies holophylla</i>
	<i>Eleutherococcus sessiliflorus</i>	–	<i>Acer pseudosieboldianum</i>
	<i>Euonymus sacrosancta</i>	–	<i>Alnus hirsuta</i>
	<i>Lonicera maackii</i>	–	<i>Armeniaca mandshurica</i>
	<i>Philadelphus tenuifolius</i>	–	<i>Betula davurica</i>
	–	–	<i>Betula platyphylla</i>
	–	–	<i>Fraxinus mandshurica</i>
	–	–	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>
	–	–	<i>Juglans mandshurica</i>
	–	–	<i>Kalopanax septemlobus</i>
	–	–	<i>Maackia amurensis</i>
	–	–	<i>Micromeles alnifolia</i>
	–	–	<i>Padus maackii</i>
	–	–	<i>Pinus koraiensis</i>
	–	–	<i>Quercus mongolica</i>
	Цинк	<i>Aralia elata</i>	<i>Acer pseudosieboldianum</i>
<i>Betula davurica</i>		<i>Ligustrina amurensis</i>	<i>Tilia mandshurica</i>
<i>Betula platyphylla</i>		–	<i>Tilia taguetii</i> × <i>T. amurensis</i>
<i>Populus tremula</i>		–	<i>Acer tegmentosum</i>
<i>Salix caprea</i>		–	<i>Armeniaca mandshurica</i>
<i>Syringa wolfii</i>		–	<i>Corylus mandshurica</i>
–		–	<i>Euonymus pauciflora</i>
–		–	<i>Euonymus sacrosancta</i>
–		–	<i>Fraxinus mandshurica</i>
–		–	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>
–		–	<i>Juglans mandshurica</i>
–		–	<i>Lonicera praeflorens</i>
–		–	<i>Malus mandshurica</i>
–		–	<i>Micromeles alnifolia</i>
–		–	<i>Schisandra chinensis</i>
–	–	<i>Spiraea ussuriensis</i>	
–	–	<i>Tilia amurensis</i>	
–	–	<i>Tilia taguetii</i> × <i>T. amurensis</i>	
Медь	<i>Schisandra chinensis</i>	<i>Lespedeza bicolor</i>	–
Марганец	<i>Acer mono</i>	–	<i>Armeniaca mandshurica</i>
	<i>Acer pseudosieboldianum</i>	–	<i>Deutzia amurensis</i>
	<i>Acer tegmentosum</i>	–	<i>Euonymus macroptera</i>
	<i>Aralia elata</i>	–	<i>Euonymus pauciflora</i>
	<i>Betula davurica</i>	–	<i>Fraxinus mandshurica</i>
	<i>Betula platyphylla</i>	–	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>
	<i>Syringa wolfii</i>	–	<i>Lespedeza bicolor</i>
	–	–	<i>Ligustrina amurensis</i>
	–	–	<i>Lonicera maackii</i>
	–	–	<i>Malus mandshurica</i>
	–	–	<i>Micromeles alnifolia</i>
	–	–	<i>Phellodendron amurense</i>
	–	–	<i>Philadelphus tenuifolius</i>
	–	–	<i>Salix caprea</i>
	–	–	<i>Sambucus racemosa</i>
	–	–	<i>Ulmus japonica</i>
	–	–	<i>Ulmus pumila</i>
–	–	<i>Viburnum sargentii</i>	
Железо	<i>Corylus heterophylla</i>	–	<i>Maackia amurensis</i>
	–	–	<i>Malus mandshurica</i>
	–	–	<i>Salix caprea</i>

П р и м е ч а н и е. M – среднее арифметическое, $M \pm m$ – среднее и ошибка среднего.

Эколого-геохимическая дифференциация семейств арборифлоры

Тяжелые металлы	Группа семейств растений по степени накопления металлов		
	высокого содержания ($\geq 1,3 M$)	среднего содержания ($M \pm m$)	низкого содержания ($\leq 1,3 M$)
Свинец	Caprifoliaceae	Rutaceae	Aceraceae
	Celastraceae	—	Fabaceae
	—	—	Juglandaceae
Никель	—	—	Oleaceae
	Fagaceae	Araliaceae	—
	Hydrangeaceae	Betulaceae	—
Кобальт	Salicaceae	Rosaceae	—
	Hydrangeaceae	Araliaceae	Fabaceae
	—	Oleaceae	Pinaceae
Кадмий	—	—	Tiliaceae
	Caprifoliaceae	Rosaceae	Aceraceae
	Celastraceae	—	Betulaceae
Цинк	Hydrangeaceae	—	Fabaceae
	Salicaceae	—	Fagaceae
	—	—	Juglandaceae
Медь	—	—	Pinaceae
	Betulaceae	Aceraceae	—
	Oleaceae	Fabaceae	—
Марганец	Salicaceae	Hydrangeaceae	—
	Juglandaceae	Aceraceae	Pinaceae
	Shisandraceae	Betulaceae	—
Железо	—	Salicaceae	—
	Aceraceae	Tiliaceae	—
	Araliaceae	—	Caprifoliaceae
Зольность	Betulaceae	—	Celastraceae
	Fagaceae	—	Hydrangeaceae
	Shisandraceae	—	Rutaceae
Ульм	Hydrangeaceae	Aceraceae	Ulmaceae
	—	—	Fabaceae
	Hydrangeaceae	Araliaceae	Salicaceae
Ульм	Ulmaceae	Caprifoliaceae	Betulaceae
	—	Celastraceae	Fabaceae
	—	Oleaceae	Fagaceae
Ульм	—	Rosaceae	Pinaceae
	—	Salicaceae	Tiliaceae
	—	—	—

П р и м е ч а н и е. M – среднее арифметическое, $M \pm m$ – среднее и ошибка среднего.

у Schisandraceae по Pb (6,7 мг/кг) и Pinaceae по Cd (0,30 мг/кг).

Группа фонового содержания ТМ представлена 10 семействами. Половине из них присуще фоновое содержание 2–3 ТМ: Aceraceae (Zn, Cu, Fe), Araliaceae Juss. (Ni, Co), Betulaceae (Ni, Cu), Rosaceae (Ni, Cd), Tiliaceae (Cu, Mn), остальным семействам – какого-либо одного металла: Pb – Rutaceae, Co – Oleaceae, Cu – Salicaceae, Zn – Fabaceae и Hydrangeaceae. Интересно отметить, что многовидовое сем. Rosaceae в наибольшей степени соответствует типичному представителю этой группы. В городских насаждениях у розовых зафиксированы фоновые содержания Ni, Co, Cd, Zn, Cu и Mn, в лесных сообществах – Pb, Ni, Cd и Fe.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эколого-геохимическая оценка основного состава арборифлоры Южного Приморья показала высокую дифференциацию видов в аккумулятивных способностях к тяжелым металлам. Максимальная вариабельность отмечена в содержании Zn (109–70 %) и Mn (87 %). Наиболее стабильные показатели отмечены в содержании Cu (22–34 %), а также Fe (35 %) в лесных фитоценозах и Ni (31 %) в городских насаждениях.

Закономерности в аккумулятивных способностях к металлам у многих видов оказались достаточно близкими, несмотря на отличия в их абсолютном содержании у растений лесных и городских мест произрастания. Исключением является концентрация металлов-

загрязнителей некоторыми видами, формирующими городское озеленение.

Установлено, что видовому составу арборифлоры более свойственно слабое накопление ТМ – до 1,5 раза и ниже среднего по выборке. Для 38 видов из 50, встречающихся одновременно в природных лесных и городских условиях, сохраняется закономерность в рассеянии большинства проанализированных металлов. Типичными представителями таких видов являются *Maackia amurensis*, *Micromeles alnifolia*, *Malus mandshurica*, *Abies holophylla* и др. В лесных фитоценозах эту группу видов дополняют *Celastrus flagellaris*, *Pinus koraiensis*, *Armeniaca mandshurica*, *Padus maximowiczii*, в городских насаждениях – *Spiraea ussuriensis*, *Carpinus cordata*, *Amorpha fruticosa*, *Aesculus hippocastanum*, *Fraxinus pennsylvanica* и др. Большинство перечисленных видов отличается весьма слабым накоплением Ni, многие из них – также Cd и Co.

Исследования показали, что примерно половина видового состава арборифлоры способна аккумулировать ТМ в листьях (хвое) от 1,5 до 4 раз выше фоновых уровней. У 16 одноименных видов лесных и городских местообитаний отмечено высокое накопление 1–3 ТМ: *Corylus heterophylla* (Pb, Cd, Fe); *Aralia elata*, *Betula davurica*, *B. platyphylla* и *Syringa wolfii* (Zn, Mn); *Corylus heterophylla*, *Deutzia amurensis* и *Lonicera maackii* (Pb и Cd); *Philadelphus tenuifolius* (Co и Cd); *Acer mono*, *A. pseudosieboldianum*, *A. tegmentosum* (Mn) и др. Выявлены виды-концентраторы Zn, Mn и Fe, накапливающие металлы в 5 раз и более относительно фоновых значений. В лесных сообществах к ним относятся *Salix udensis*, концентрирующая Zn (415 мг/кг) и Mn (1153 мг/кг), *Populus tremula* и *Syringa wolfii* – Zn (до 218 мг/кг); в городских насаждениях – *Populus maximowiczii*, *P. nigra* – Zn (до 440 мг/кг), *Sorbus pochuanensis* и *Picea* sp. – Mn (до 946 мг/кг), *Crataegus pinnatifida* – Fe (2975 мг/кг).

Фоновые уровни металлов отмечены у небольшого состава арборифлоры. Среди одноименных видов лесных и городских местообитаний к группе фонового содержания относятся *Sorbaria sorbifolia* и *Lespedeza bicolor* с фоновым содержанием Cu, *Sambucus racemosa* – Cd. В лесных фитоценозах эту группу дополняет *Rhododendron mucronulatum* (Pb,

Co, Cd), в городских насаждениях – *Acer ginnala* (Zn, Cu, Fe) и *Tilia amurensis* (Ni, Mn, Fe).

Среди одноименных семейств растений лесных фитоценозов и городских насаждений высоким суммарным накоплением металлов отличаются семейства Hydrangeaceae (Ni, Co, Cd и Fe) и Salicaceae (Ni, Cd и Zn). Низкое содержание ТМ в большей степени характерно для семейств Fabaceae (Pb, Co, Cd, Fe), Pinaceae (Co, Cd, Cu), Tiliaceae (Co, Cd, Zn). К семействам фонового уровня ТМ более тяготеют Aceraceae (Cu, Zn, Fe), Araliaceae (Ni, Co), Betulaceae (Ni, Cu), Rosaceae (Ni, Cd), Tiliaceae (Cu, Mn).

Многие виды с высокими аккумулятивными способностями к ТМ могут быть успешно использованы в качестве “живых фильтров” при реализации государственной программы создания комфортной городской среды для проживания населения. Виды фонового содержания металлов представляют практический интерес в качестве фитоиндикаторов при мониторинге ненарушенных лесных экосистем и оценке состояния растительных сообществ, находящихся в условиях экологического неблагополучия.

Благодарности

Автор выражает благодарность за участие в полевых исследованиях и помощь в сборе фактического материала сотруднице ФНИЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН к. б. н. Е. В. Поляковой и студентам Дальневосточного государственного университета, а также за консультации по уточнению систематической принадлежности ряда видов к. б. н. В. П. Верхолат.

Вклад авторов

Фактические данные обобщены и данная работа выполнена одним автором.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121031000134-6).

Соблюдение этических стандартов

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

Конфликт интересов

Автор данной работы заявляет, что у него нет конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеева-Попова Н. В. Внутривидовая дифференциация дикорастущих видов под влиянием избытка тяжелых металлов // Природные и антропогенные циклы: тр. Биогеохим. лаб. 1990. Т. 21. С. 62–71.
- Алексеева-Попова Н. В. Эволюционные и молекулярно-генетические основы гипераккумуляции металлов у сосудистых растений // Биогеохимия и биохимия микроэлементов в условиях техногенеза: материалы VIII Биогеохим. школы. М., 2013. С. 154–157.
- Алексеева-Попова Н. В., Дроздова И. В. Микроэлементный состав растений Полярного Урала в контрастных геохимических условиях // Экология. 2013. № 2. С. 90–98. [Alexeeva-Popova N. V., Drozdova I. V. Micro-nutrient Composition of Plants in the Polar Urals under Contrasting Geochemical Conditions // Russian Journal of Ecology. 2012. Vol. 44, N 2. P. 100.]
- Баргальи Р. Биогеохимия наземных растений. М.: ГЕОС, 2005. 457 с.
- Вадковская И. К., Гурч Е. П. Геохимические особенности древесно-кустарниковой растительности “Бело-вежской Пущи” // Природопользование: сб. науч. тр. Минск, 1999. Вып. 5. С. 46–48.
- Глазовская М. А., Касимов Н. С. Ландшафтно-геохимическая основа фонового мониторинга природной среды // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1987. № 1. С. 11–18.
- Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва–растение. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 151 с.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
- Кист А. А. Феноменология биогеохимии и бионеорганической химии. Ташкент: ФАН, 1987. 236 с.
- Ковалевский А. Л. Биогеохимия растений. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 294 с.
- Ковальский В. В. Геохимическая экология. Очерки. М.: Наука, 1974. 300 с.
- Ковальский В. В. Проблемы биогеохимии микроэлементов и геохимической экологии // Избр. тр. М.: Россельхозакадемия, 2009. 357 с.
- Коропачинский И. Ю., Ветовская Т. Н. Древесные растения Азиатской России. Новосибирск: Акад. изд-во “ГЕО”, 2012. 707 с.
- Маслеников П. В., Дедков В. П., Куркина М. В., Ващейкин А. С., Журавлев И. О., Бавтрук Н. В. Аккумуляция металлов в растениях урбозоосистем // Вестн. Балтийского федер. ун-та им. И. Канта. 2015. Вып. 7. С. 57–69.
- Петрунина Н. С. Геохимическая экология растений в провинциях с избыточным содержанием микроэлементов (никеля, кобальта, меди, молибдена, свинца и цинка) // Проблемы геохимической экологии организмов: тр. Биогеохим. лаб. 1974. Т. 13. С. 57–117.
- Петрунина Н. С. Проблемы геохимической экологии растений в условиях техногенеза биосферы // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы: тр. Биогеохим. лаб. 2003. Т. 24. С. 195–205.
- Петрунина Н. С., Ермаков В. В., Дегтярева О. В. Геохимическая экология растений в условиях полиметаллических биогеохимических провинций // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии растений в условиях полиметаллических биогеохимических провинций: тр. Биогеохим. лаб. 1999. Т. 23. С. 226–253.
- Прохоренко Н. Б., Гумарова Р. Р., Верхолат В. П. Флористическая классификация лесов полуострова Муравьев-Амурский // Комаровские чтения. Вып. 42. Владивосток, 1996. С. 79–100.
- Прохорова Н. В. Тяжелые металлы в дикорастущих орехово-плодовых и плодово-ягодных растениях Самарской области // Пищевые ресурсы дикой природы и экологическая безопасность населения: материалы междунар. конф., 16–18 ноября 2004 г., г. Киров / ВНИИОЗ им. проф. Б. М. Житкова РАСХН; Ин-т проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН. Киров, 2004. С. 166–167.
- Прохорова Н. В., Матвеев Н. М., Павловский В. А. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Изд-во Самар. ун-та, 1998. 131 с.
- Скарлыгина-Уфимцева М. Д. Системно-иерархический анализ микроэлементного состава фитобиоты ландшафтов // Проблемы геохимической экологии: тр. Биогеохим. лаб. 1991. Т. 22. С. 120–134.
- Сосудистые растения советского Дальнего Востока. В 8 т. / под ред. С. С. Харкевича. Л., СПб.: Наука, 1985–1996.
- Уфимцева М. Д. Закономерности накопления химических элементов высшими растениями и их реакции в аномальных биогеохимических провинциях // Геохимия. 2015. № 5. С. 450–465. [Ufimtseva M. D. The Patterns in Accumulation of Chemical Elements by Higher Plants and Their Responses in Biogeochemical Provinces // Geochemistry International. 2015. Vol. 53, N 5. P. 441.]
- Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.
- Шергина О. В., Михайлова Т. А. Состояние древесных растений и почвенного покрова парковых и лесопарковых зон г. Иркутска. Иркутск: Изд-во ИГСО РАН, 2007. 200 с.
- Шихова Н. С. Комплексная оценка состояния лесов зеленой зоны Владивостока // Лесоведение. 2015. № 6. С. 436–446.
- Шихова Н. С. Эколого-геохимические особенности растительности Южного Приморья и видовая специализация арборифлоры в накоплении тяжелых металлов // Сиб. лесн. журн. 2017. № 6. С. 76–88.
- Шихова Н. С. Биогеохимические критерии оценки экологической эффективности видов в городском озеленении // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 2. С. 17–36.
- Шихова Н. С., Полякова Е. В. Деревья и кустарники в озеленении города Владивостока. Владивосток: Дальнаука, 2006. 236 с.
- Baker A., Brooks R. R. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry // Biorecovery. 1989. Vol. 1. P. 81–126.
- Baker A. J. M., Walker P. M. Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants // Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects. Boca Raton: CRC Press, FL, 1990. P. 155–177.
- Brooks R. R. Plants that hyperaccumulate heavy metals. Wallingford: CAB International, 1998. 384 p.
- Brown S. L., Chaney R. L., Angle J. S., Baker A. J. M. Zinc and cadmium uptake by *Thlaspi caerulescens* and *Silene vulgaris* in relation to soil metals and soil pH // J. Environ. Qual. 1994. Vol. 23. P. 1151–1157.
- Krämer U. Metal hyperaccumulation in plants // Ann. Rev. Plant Biol. 2010. Vol. 61. P. 517.

Ecological-geochemical classification of the Far Eastern arboriflora

N. S. SHIKHOVA

*Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS
159, Stoletiya Vladivostoka st., Vladivostok, 690022, Russia
E-mail: shikhova@biosoil.ru*

The materials and performs a systematic analysis of the elemental composition of 110 species and 28 families of plants that form tree-shrub layers of forest phytocenoses and form the structure of urban landscaping in South Primorye in the article was summarizes. A high differentiation of the species composition in the accumulative abilities to the weight of the metal, especially Zn and Mn was noted. The most stable indicator among of the species was recorded on the Cu content. The types and families of high, low and background of heavy metals content are distinguished by the basis of the author's indicator, i. e. "the relative intensity of accumulation (RIA)" of chemical elements. The low content of heavy metals is more typical for the main arboriflora composition. At the same time, about the half of the studied species is accumulated some metals above the background (average) exponents. The maximum of metals content (for the 5 times and high more than the background exponent) was recorded in the leaves (needles) of the concentrator species: Zn – *Salix udensis*, *Populus maximowiczii*, *P. nigra*, *P. tremula*, *Syringa wolfii*; Mn – *Salix udensis*, *Sorbus pochuanensis*, *Picea* sp.; Fe – *Crataegus pinnatifida*. The high heavy metals content among the families is most typical for Hydrangeaceae and Salicaceae, the low content – for Fabaceae, Pinaceae, Tiliaceae and Aceraceae, the background level – for Rosaceae. The phytochemical systematics of the Far East arboriflora for species and family ranks on the basis research results was developed for the first time.

Key words: arboriflora, phytogeochemistry, heavy metals, ash content in the plants, geochemical ecology of plants, Primorsky Krai.