

УДК 630*181: [550.47 + 504.05/06] (571.63)

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ И ВИДОСПЕЦИФИЧНОСТЬ АРБОРИФЛОРЫ В НАКОПЛЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Н. С. Шихова

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН
690022, Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 159

E-mail: shikhova@ibss.dvo.ru

Поступила в редакцию 14.11.2016 г.

Представлены материалы по эколого-геохимическим особенностям растительности слабонарушенных лесных экосистем п-ова Муравьев-Амурский Приморского края. Впервые для широкого спектра дальневосточных видов деревьев, кустарников и деревянистых лиан (78 видов), формирующих природные фитоценозы Южного Приморья, определена видовая специализация в накоплении тяжелых металлов. Выявлены аккумулятивные свойства разных систематических групп и жизненных форм растений по отношению к тяжелым металлам – Pb, Ni, Co, Cd, Zn, Cu, Mn, Fe. Наилучшие способности к концентрации металлов (в 3–9 раз выше фоновых уровней) выявлены у 14 видов: *Salix udensis* Trautv. et Mey. и *S. gracilistyla* Miq. (Zn, Mn, Cd); *Syringa wolfii* C. K. Schneid. (Zn, Mn); *Lonicera caerulea* L. (Co, Cd); *Rubus sachalinensis* Levl. (Pb, Cd); *Populus tremula* L., *Betula davurica* Pall. и *B. costata* Trautv. (Zn); *B. platyphylla* Sukacz., *Rhododendron mucronulatum* Turcz., *Aralia elata* (Miq.) Seem. и *Corylus mandshurica* Maxim. (Mn); *Euonymus macroptera* Rupr. (Co), *Alnus hirsuta* (Spach) Fisch. ex Rupr. (Cu). Среди семейств самые высокие способности к суммарной аккумуляции металлов отмечены у Vitaceae Juss. (Pb, Co, Cd, Cu), Hydrangeaceae Dumort. (Ni, Co, Cd), Rhamnaceae Juss. (Pb, Co, Cd) и Shisandraceae Blume (Pb, Cu). Локально-фоновым уровням соответствует содержание всех рассматриваемых металлов у *Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Br., минимальное содержание – у лианы *Celastrus flagellaris* Rupr. Слабо накапливают большинство металлов хвойные породы, а также *Juglans mandshurica* Maxim., *Fraxinus mandshurica* Rupr., *Tilia amurensis* Rupr., *Salix caprea* L., *Ulmus pumila* L., *Maackia amurensis* Rupr. et Maxim., *Berberis amurensis* Rupr. и др. Фоновые содержания по большинству металлов зафиксированы у *Acer mono* Maxim., *Abelia coreana* Nakai, *Crataegus maximowiczii* C. K. Schneid., *Phellodendron amurense* Rupr., *Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg., *Viburnum burejaeticum* Regel et Herd., *V. sargentii* Koehne. На основе эколого-геохимических критериев установлена специфика растительности и почв региона исследований. Предложены виды, перспективные для организации мониторинга и фитоиндикации в региональных и близких к ним условиях.

Ключевые слова: арборифлора, геохимическая экология растений, тяжелые металлы, аккумуляция тяжелых металлов растениями.

DOI: 10.15372/SJFS20170606

ВВЕДЕНИЕ

Проблема загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами – так называемая прогрессирующая металлизация природной среды, порожденная успехами цивилизации и хозяйственной деятельностью человечества, – приобрела в настоящее время глобальный характер. Нет, пожалуй, ни одного производства, ни одного более или менее крупного населенного уголка Земли,

над которыми не висел бы этот дамоклов меч. Особенно остро и ощутимо эта проблема встает в крупных промышленных центрах и городских агломерациях, где часто возникают техногенные геохимические аномалии тяжелых металлов, сопоставимые с природными по площади и концентрации рассеянных элементов. Тяжелые металлы в таких условиях являются основными маркерами наличия и интенсивности техногенного пресса, испытываемого био- и абиотиче-

скими компонентами экосистем. Известно, что основную средообразующую и средостабилизирующую роль в экосистемах, особенно техногенно и антропогенно нарушенных, играют почвы и растительность. Однако далеко не все виды и сообщества растений способны выдерживать повышенные антропо- и техногенные нагрузки, поглощать и трансформировать техногенные загрязнения среды. Индивидуальный химический состав и связанную с ним избирательность в поглощении химических элементов, специфические механизмы устойчивости к их избытку и недостатку в среде обитания различные таксоны растений приобрели в ходе длительного эволюционного процесса. Общие закономерности хемосистематики растений наиболее ярко выражены, как правило, на уровне крупных таксонов флоры – семейств и выше. По результатам ряда исследований (Скарлыгина-Уфимцева, 1991; Уфимцева, Терехина, 2005), специфичность аккумуляции химических элементов растениями фоновых автономных экосистем наиболее ярко проявляется на уровне жизненных форм растений (экобиоморф). Это связано с тем, что в региональных фоновых условиях биогеохимическая специализация растений определяется зонально-региональными закономерностями биогенной миграции элементов и закреплена в растениях генетически на организменном уровне. Биогеохимическая специфика растений обуславливает региональные и локальные фоновые концентрации химических элементов в растительности.

В современной научной литературе имеется обширный материал по содержанию химических элементов, в том числе тяжелых металлов, в растениях и почвах многих регионов и стран. Для ряда регионов установлены фоновые содержания металлов в растениях (Bergkvist et al., 1989; Второва, Маркерт, 1995; Ильин, Сысо, 2001; Рассеянные элементы..., 2004; Баргальи, 2005 и др.). Общее представление о содержании химических элементов в живом веществе и других природных средах дают кларки элементов как некий планетарный фон. Кларковое содержание элементов в растениях рассчитано в разные годы А. П. Виноградовым (1935), Д. П. Малюгой (1963), Х. Боуэном (Bowen, 1966), В. В. Добровольским (1983), А. А. Кистом (1987).

К сожалению, систематических исследований биогеохимических особенностей богатейшей и во многом уникальной дальневосточной флоры до сих пор не проводилось. Отсутствуют

также сведения по региональному и местному экологическому фону химических элементов в растениях. Нами 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, во многом характерным для юга российского Дальнего Востока. Леса полуострова служат важнейшим средообразующим и средостабилизирующим фактором для урбоэкосистем столицы Приморского края – г. Владивостока. Ранее нами проведена комплексная оценка лесов полуострова на основе изучения видового и ценотического состава растительности, почв, степени их деградации под влиянием процессов антропо- и техногенеза (Шихова, 2015). Данные исследования являются продолжением выполненных работ и позволят оценить экологическое состояние почв и растений природных лесов полуострова по содержанию в них тяжелых металлов, а также дифференцировать богатый видовой состав дальневосточной дендрофлоры по способности к накоплению тяжелых металлов. Полученные локально фоновые содержания тяжелых металлов необходимы для оценки степени загрязнения ими почвенного покрова и зеленых насаждений Владивостока, а данные по биогеохимической специализации растений – для избрания функционально значимых видов при экологической оптимизации урбоэкосистем, а также видов-индикаторов при организации биомониторинга лесных экосистем региона.

Основная цель исследований – выявление видовой специализации дальневосточной арборифлоры в накоплении тяжелых металлов и определение локально-фоновых уровней металлов в растениях и почвах лесных экосистем п-ова Муравьев-Амурский.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследовали растительность п-ова Муравьев-Амурский, входящего административно в состав Владивостокского городского округа Южного Приморья. Рассматриваемая территория по геоботаническому районированию относится к горно-приморскому Сучано-Владивостокскому округу дубовых, широколиственных, кедрово-широколиственных с грабом и чернопихтово-широколиственных лесов Дальневосточной (Маньчжурской) провинции кедрово-широколиственных и дубовых лесов Восточно-Азиатской хвойно-широколиственной области (Колесни-

ков, 1961). По флористическому районированию она входит в состав южного подрайона Уссурийского флористического района (Сосудистые растения..., 1985–1996), по почвенному – относится к бурым лесным типам почв (Иванов, 1976).

Обследована растительность наименее нарушенных лесных экосистем полуострова, удаленных на 2 км и более от городской черты, что предполагало исключить или свести к минимуму техногенное влияние процессов урбанизации. Исследовали преимущественно растительные сообщества с доминированием или значительным участием дуба монгольского *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb. как наиболее широко распространенные на лесной территории полуострова. Под рассматриваемыми лесами преобладают бурые горнолесные почвы, в разной степени гумусированные и оподзоленные (Иванов, Журавков, 1967). Ранее установлено, что обследованным дубовым сообществам присущи полидоминантный состав древостоя и значительное видовое разнообразие кустарников и травянистого покрова (Шихова, 2015). В процессе исследований изучены способности аккумулировать тяжелые металлы (ТМ) почти у всего видового состава деревянистых растений полуострова: 36 деревьев, 36 кустарников и 6 деревянистых лиан, относящихся к 24 семействам и 48 родам. Названия растений приведены по 8-томной сводке «Сосудистые растения...» (1985–1996).

Исследования выполнены на 26 пробных площадях (ПП), входящих в систему многолетнего мониторинга растительности селитебной и зеленой зон Владивостока (Шихова, Полякова, 2006). ПП размером 500 м² закладывали общепринятыми в геоботанике и лесоведении методами (Полевая геоботаника, 1964; Методы..., 2002) равномерно по исследуемой территории.

Для фитогеохимических исследований в качестве показателей ежегодного накопления элементов использовали ассимиляционные органы растений – листья и хвою деревьев и кустарников, а также надземную фитомассу трав. На каждой ПП опробовался основной видовой состав древесно-кустарниковых ярусов растительности и встречающиеся деревянистые лианы. Смешанные образцы листьев (хвои) брали с 5–10 особей каждого вида с четырех сторон нижней части кроны у деревьев и в средней части – у кустарников. В пробы отбирали также с 10 учетных площадок в 1 м² надземную фитомассу трав, из которых после высушивания составляли для каждой ПП смешанную пробу

лесного травостоя. Для более детального эколого-геохимического изучения доминантов, а также редких в растительных сообществах видов дополнительно выполнили отбор проб методом маршрутного обследования насаждений. Опробование проводилось после 4–5-дневного бездождевого периода в конце вегетационного сезона (до начала пожелтения листьев), соответствующего времени максимального накопления химических элементов. Параллельно с растительным материалом по стандартной методике (Методические рекомендации..., 1981) отбирали по диагоналям ПП в 10 точках (предварительно удалив подстилку) индивидуальные пробы поверхностных горизонтов почв (0–20 см), из которых методом квартования получали смешанный образец почвы. Его анализировали в 3-кратной повторности.

Аналитическая подготовка проб и определение в них содержания тяжелых металлов проведены с использованием известных приемов и методов (Прайс, 1976; Цыпленков и др., 1981; Практикум..., 1989). Химический анализ выполнен в сертифицированной лаборатории методом атомной абсорбционной спектроскопии (ААС) на спектрофотометре Shimadzu AA-6800 в солянокислом растворе золы растений и сухого остатка почв. Предварительная подготовка проб растений к анализу проведена методом сухого озоления при 450 °С, почв – прокаливанием при 600 °С и последующей минерализацией в смеси плавиковой и соляной кислот марки ОСЧ. Точность определения, а также возможное загрязнение проб в процессе анализа контролировали по 4–5 градуировочным растворам, включая нулевой. Контроль загрязнения реактивов осуществляли с помощью холостых проб. Ошибка определения металлов не превышала 15 %. Концентрацию металлов в растениях и валовое содержание в почвах пересчитывали на сухую массу и выражали в миллиграммах на килограмм воздушно-сухого вещества (мг/кг сух. в-ва).

Статистическая обработка аналитических данных осуществлена с использованием стандартных программ Microsoft Excel и Statistica 10. Определены основные статистические параметры распределения металлов в почвах и растениях, дан анализ однородности выборки, соответствие ее нормальному распределению, проведены проверка на аномальность значений, корреляционный и факторный анализы. При расчете среднего содержания металлов в видах растений величина выборки в зависимости от

их встречаемости на ПП варьировала от 1–2 индивидуальных проб у редких видов до 15–17 – у основных лесообразующих пород и доминантов исследованных фитоценозов.

Локальный экологический фон (ЛЭФ) территории исследований рассчитан на основе биогеохимических показателей для 78 видов арборифлоры, представленных четырьмя жизненными формами, и 26 образцов поверхностных горизонтов почв. За фоновые содержания металлов при нормальном законе распределения приняты средние арифметические, при логнормальном – средние геометрические значения. Эколого-геохимическая специфика растительного покрова и почв установлена путем сопоставления локально-фоновых показателей металлов в почвах и растениях с имеющимися в научной литературе наиболее известными их кларками и стандартными величинами, рассчитанными для больших территорий (Виноградов, 1957; Ровинский и др., 1982, 1987; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Ильин, 1991; Добровольский, 1998; Голов, 2002 и др.).

Интенсивность накопления металлов растениями определяли с помощью коэффициента относительной интенсивности накопления (ОИН), представляющего собой отношение содержания металла в том или ином виде или семействе растений к его среднему содержанию в выборке. В зависимости от величины ОИН выделены виды растений со средним содержанием ($M \pm m$) и разной интенсивностью накопления ($\geq 1.5 M$) или рассеяния ($< 1.5 M$) металлов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Местные фоновые содержания металлов в почвах и растениях. Обобщение результатов почвенно-аналитических данных позволило установить локально-фоновые содержания

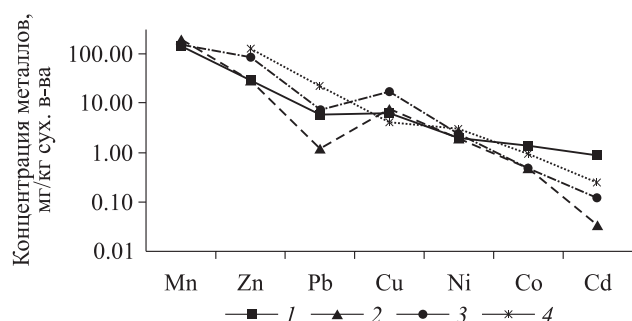
тяжелых металлов в почвах лесной территории полуострова. Они соответствуют следующим статистическим значениям ТМ (среднее \pm стандартная ошибка, мг/кг): Pb – 19.59 ± 1.92 (вариабельность – 44 %); Ni – 39.18 ± 4.06 (48 %); Co – 29.07 ± 1.51 (24 %); Cd – 1.00 ± 0.16 (75 %); Zn – 105.2 ± 6.2 (26 %); Cu – 13.70 ± 1.15 (38 %); Mn – 698.7 ± 30.7 (20 %); Fe – 28415 ± 1826 (29 %). В единичных пробах почв зафиксированы сверхнормативные концентрации Pb – 62.69 мг/кг (выше ПДК в 2 раза) и Cd – 2.75 мг/кг (превышает ОДК в 1.4 раза). Отмечено, что в поверхностных горизонтах обследованных почв наблюдается интенсивная биологическая аккумуляция Co (4–5-кратная), Cd (3–4-кратная), Zn и Ni (2-кратная) и менее значимая – Pb (1.3–1.4-кратная) и Mn (1.2-кратная) относительно коренных горных пород (Бураго и др., 1998).

Если судить по полученным результатам, почвы здесь по сравнению с почвами мира (Виноградов, 1957; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989) и бывшего СССР (Ильин, 1991) обогащены в 3 раза и более Co и до 2–2.5 раз – Pb, Zn и Cd. Похожие закономерности по Zn, Co и Cd, хотя количественно менее значимые (1.2–1.6-кратное накопление), наблюдаются при сравнении почв полуострова с региональным кларком почв российского Дальнего Востока (Голов, 2002). В то же время содержание в них Cu (в 1.3–1.6 раз) и особенно Mn (до 2.5 раз) ниже стандартных значений, указанных в литературе.

Данные по локально-фоновому содержанию ТМ в растительности полуострова приведены в табл. 1. Они свидетельствуют о некоторых особенностях в накоплении металлов растениями разных экобиоморф. В частности, наблюдается значительное обогащение лиственных деревьев Mn и Zn, кустарников и лиан – Pb, Co, Cd и слабое накопление хвойными деревьями всех сравниваемых металлов, а лианами – Mn и Zn.

Таблица 1. Среднее содержание тяжелых металлов в зеленой фитомассе растительности лесных экосистем п-ова Муравьев-Амурский

Экобиоморфы растений (фракции)	Кол-во видов (проб)	Зольность, %	Содержание химических элементов, мг/кг сух. в-ва							
			Pb	Ni	Co	Cd	Zn	Cu	Mn	Fe
Деревья: лиственные	33	9.03	3.88	1.71	0.99	0.56	48.46	6.58	173.2	125.0
хвойные	3	4.22	1.82	1.20	0.82	0.27	27.38	2.33	156.2	72.0
Кустарники	36	10.56	8.10	2.48	1.81	1.26	32.35	6.36	164.0	160.3
Лианы деревянистые	6	11.12	8.19	2.00	1.86	1.08	16.12	8.17	84.4	110.4
Деревянистые растения в целом (листья, хвоя)	78	9.72	6.08	2.07	1.43	0.91	30.40	6.44	148.7	138.0
Травянистые растения (надземная фитомасса)	(14)	13.23	6.13	3.19	1.04	1.03	36.01	6.37	101.9	207.6



Спектры содержаний тяжелых металлов в растительности п-ова Муравьев-Амурский (1), мира (2*, 3**) и России (4***).

Примечание. Литературные данные: * В. В. Добровольский (1998); ** А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас (1989); *** Ф. Я. Ровинский и др. (1982, 1987).

Травянистые растения по сравнению с деревянистыми в 1.5 раза интенсивнее накапливают в зеленой фитомассе Ni и Fe, а деревянистые растения – Mn, избирательно – Zn (лиственные деревья) и Co (кустарники и лианы).

Сравнение полученных результатов со стандартными для растений значениями свидетельствует, что содержание ТМ в растениях полуострова существенно превышает кларки растений суши (Добровольский, 1998) по содержанию Cd (свыше 20 раз), Pb (в 5 раз) и Co (в 3 раза). Относительно растений Европейской России (Ровинский и др., 1982, 1987) арборифлора природных фитоценозов полуострова отличается повышенным содержанием Cd (в 3–4 раза), Co и Cu (до 1.5 раз). При этом содержание Cd (в 5–7 раз) и Co (в 1.5–3 раза) выше примерной физиологической нормы, указанной А. Кабата-Пендиас и Х. Пендиас (1989) для зрелых тканей листьев (см. рисунок).

Согласно полученным результатам, эколого-геохимическая специфика природных лесных экосистем полуострова выражена в повышенном по сравнению с другими регионами России и мира содержании в почвенно-растительном покрове Cd и Co (в почвах также Pb и Zn) и более низком – Mn (в растениях к тому же Zn). Наиболее тесные корреляционные связи по результатам корреляционного и факторного анализов установлены в почвах среди ассоциации элементов (Cd–Ni–Zn), в растениях – (Cd–Pb–Co–Ni).

Видовая биогеохимическая специализация растений в накоплении ТМ. Важным параметром, характеризующим общий минеральный состав и соотношение минеральных и органических веществ в растениях, является зольность. Она считается показателем адаптиро-

ванности растений к экологическим условиям: чем выше зольность, тем более приспособлены виды к местам произрастания (Уфимцева, Терехина, 2005). Для листьев проанализированной выборки растений этот показатель варьировал от 1.9 % у лианы *Celastrus flagellaris* Rupr. до 17.1 % у невысокого кустарника *Rubus sachalinensis* Lévl., составляя в среднем 9.7 %. Повышенные значения зольности (12.5–17.0 %) отмечены у большинства представителей семейств Hydrangeaceae, Actinidiaceae, Ulmaceae, Araliaceae. Для всех деревянистых лиан (за исключением *Celastrus flagellaris*) также характерна высокая зольность листьев (11.6–14.8 %). Отметим, что большинство входящих в указанные семейства видов являются эндемиками и реликтами дальневосточной флоры.

Содержание свинца изменяется от 0.34 мг/кг в хвое *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc. до 17.48 мг/кг в листьях *Rubus sachalinensis* при среднем уровне (6.08 ± 0.42) мг/кг. Коэффициент вариации – 61 %. Наиболее высокие концентрации Pb отмечены у следующих видов: *Lonicera caerulea* L. (14.60 мг/кг), *Rhamnus davurica* Pall. (13.20 мг/кг), *Euonymus maximovicziana* Prokh. (12.07 мг/кг), *E. macroptera* Rupr. (11.43 мг/кг), *E. sacrosancta* Koidz. (9.47 мг/кг), *Deutzia amurensis* (Regel) Airy Shaw (12.03 мг/кг), *Ribes mandshuricum* (Maxim.) Kom. (11.51 мг/кг), *Padus avium* Mill. (10.70 мг/кг), *Eleutherococcus sessiliflorus* (Rupr. et Maxim.) S.Y. Hu (10.15 мг/кг), *E. senticosus* (Rupr. et Maxim.) Maxim. (9.48 мг/кг), *Securinega suffruticosa* (Pall.) Rehd. (7.90 мг/кг), а также у деревянистых лиан *Vitis amurensis* Rupr. (12.36 мг/кг), *Actinidia kolomikta* (Maxim.) Maxim. (10.30 мг/кг), *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill. (8.85 мг/кг). Средние и близкие к ним уровни Pb зафиксированы в листьях *Acer tegmentosum* Maxim., *A. mono* Maxim., *Crataegus maximowiczii* C. K. Schneid., *Viburnum burejaeticum* Regel et Herd., *V. sargentii* Koehne, *Rhododendron mucronulatum* Turcz., *Syringa wolfii* C. K. Schneid., *Salix udensis* Trautv. et Mey., *Spiraea ussuriensis* Pojark., *Phellodendron amurense* Rupr. Минимально накапливают Pb (1.37–0.67 мг/кг) преимущественно виды, умеренно и редко встречающиеся на обследованной территории: *Abies holophylla* Maxim., *Maackia amurensis* Rupr. et Maxim., *Betula platyphylla* Sukacz., *Philadelphus schrenkii* Rupr. et Maxim., *Fraxinus mandshurica* Rupr., *Juglans mandshurica* Maxim., *Armeniaca mandshurica* (Maxim.) B. Skvortz., *Salix caprea* L. и лиана *Celastrus flagellaris*.

Среднее содержание никеля составляет (2.07 ± 0.12) мг/кг. Его уровень варьирует в зависимости от вида растений от 0.13 мг/кг в хвое *Pinus koraiensis* до 5.08 мг/кг в листьях *Philadelphus schrenkii*. Коэффициент вариации – 53 %. Максимально накапливают Ni следующие виды: *Philadelphus schrenkii* (5.08 мг/кг), *Salix gracilistyla* Miq. (5.00 мг/кг), *S. udensis* (4.84 мг/кг), *Rubus sachalinensis* (4.48 мг/кг), *Euonymus macroptera* (4.26 мг/кг), *Tilia mandshurica* Rupr. (3.75 мг/кг), *Lonicera caerulea* (3.46 мг/кг), *L. maackii* (Rupr.) Herd. (3.44 мг/кг), *Padus avium* (3.20 мг/кг). Минимальное содержание Ni (0.81–0.22 мг/кг) отмечено у видов: *Micromela alnifolia* (Siebold et Zucc.) Koehne, *Tilia taguetii* C. K. Schneid \times *T. amurensis* Rupr., *Fraxinus mandshurica*, *Acer barbinerve* Maxim., *Tilia amurensis* Rupr., *Celastrus flagellaris*, *Ulmus pumila* L., *Juglans mandshurica*, *Salix caprea*, *Armeniaca mandshurica*, *Maackia amurensis*. Локально-фоновому содержанию Ni соответствуют его значения, зафиксированные у *Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim., *Alnus hirsuta* (Spach) Fisch. ex Rupr., *Corylus heterophylla* Fisch. et Trautv., *Viburnum sargentii*, *Acer pseudosieboldianum* (Pax) Kom., *A. mono*, *Lespedeza bicolor* Turcz., *Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Br., *Actinidia kolomikta*, *A. polygama* (Siebold et Zucc.) Miq., *Schisandra chinensis*.

Среднее содержание кобальта составляет (1.43 ± 0.09) мг/кг. Как отмечено выше, оно почти в 3 раза превышает кларк растений суши и нормальный уровень содержания для зрелых тканей листьев. Содержание металла варьирует среди опробованной выборки видов от 0.16 (*Pinus koraiensis*) до 3.84 мг/кг (*Lonicera caerulea*). Коэффициент вариации – 58 %. Максимальные показатели кобальта присущи *Euonymus macroptera* (3.62 мг/кг), *Deutzia amurensis* (2.86 мг/кг), *Philadelphus tenuifolius* Rupr. et Maxim. (2.76 мг/кг), а очень низкие – *Maackia amurensis* (0.27 мг/кг), *Betula platyphylla* (0.28 мг/кг), *Armeniaca mandshurica* (0.30 мг/кг). Фоновые содержания Co зафиксированы в листьях *Crataegus maximowiczii*, *Rubus crataegifolius* Bunge, *Acer tegmentosum*, *Rhododendron mucronulatum*.

Среднее содержание кадмия – (0.91 ± 0.07) мг/кг. Оно, подобно содержанию Co, существенно превышает стандартные показатели для растительности: от 3–4 (древесные виды Европейской России) до 26 раз (кларк растений суши). В зависимости от вида растений содержание Cd в сравниваемой выборке варьирует

от 0.07 (*Pinus koraiensis*) до 2.71 мг/кг (*Salix udensis*). Коэффициент вариации – 71 %. Среднее и близкое к ним содержание металла наблюдается у *Sorbaria sorbifolia*, *Abelia coreana* Nakai, *Sambucus racemosa* L., *Rhododendron mucronulatum*, *Acer tegmentosum*. Предельно низкие значения Cd отмечены преимущественно у видов, умеренно и редко встречающихся в обследованных насаждениях: очень низкое (0.11–0.15 мг/кг) – у *Maackia amurensis*, *Armeniaca mandshurica*, *Alnus hirsuta*, *Cerasus sargentii* (Rehd.) Pojark., *Tilia taguetii* \times *T. amurensis*, *T. amurensis*, *Juglans mandshurica*, *Malus manshurica* (Maxim.) Kom., *Padus maximowiczii* (Rupr.) Sokolov; очень высокое (2.56–2.69 мг/кг) – у *Rubus sachalinensis*, *Salix gracilistyla*, *Lonicera caerulea*.

Среднее содержание цинка составляет (30.4 ± 3.3) мг/кг, что в 3–4 раза ниже указанного для растений Европейской России и нормы для зрелых тканей листьев. Средним значениям соответствует содержание Zn у 13 видов, в том числе у доминанты лесопарковых насаждений *Quercus mongolica* и основных лесобразующих пород растительных сообществ полуострова: *Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg., *Phellodendron amurense*, *Fraxinus rhynchophylla* Hance, *Abies holophylla*, *Kalopanax septemlobus* (Thunb.) Koidz., *Ligustrina amurensis* Rupr., *Acer pseudosieboldianum* и др. Для этого металла отмечена максимальная межвидовая вариабельность значений: от 1.5 (*Celastrus flagellaris*) до 415.2 мг/кг (*Salix udensis*); коэффициент вариации – 96 %. Слабое накопление Zn установлено у *Ulmus laciniata* (Trautv.) Mayr (11.6 мг/кг), *Lonicera praeflorens* Batal. (12.1 мг/кг), *Rhamnus davurica* (12.3 мг/кг), *Acer barbinerve* (12.9 мг/кг); высокое – у *Salix gracilistyla* (217.5 мг/кг), *Populus tremula* L. (159.6 мг/кг), *Syringa wolfii* (159.0 мг/кг), *Betula davurica* Pall. (125.9 мг/кг), *B. costata* Trautv. (124.1 мг/кг) и др.

Среднее содержание меди – (6.44 ± 0.33) мг/кг. Среди опробованной выборки видов содержание Cu варьирует в пределах 0.79–24.38 мг/кг (коэффициент вариации – 49 %). Как минимальные значения меди, зафиксированные у *Celastrus flagellaris* (0.79 мг/кг) и хвойных пород *Pinus koraiensis* (1.44 мг/кг) и *Abies holophylla* (2.29 мг/кг), так и максимальная ее концентрация в листьях *Alnus hirsuta* (24.38 мг/кг) выходят за пределы нормальных содержаний, указанных в литературе. В первом случае концентрация Cu близка токсичной, во

втором – дефицитной для зрелых тканей листьев (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Высокое накопление металла отмечено также у лиан *Vitis amurensis* (12.65 мг/кг), *Actinidia arguta* (Siebold et Zucc.) (10.30 мг/кг) и *Schisandra chinensis* (9.26 мг/кг), у ив *Salix udensis* (10.60 мг/кг) и *S. gracilistyla* (10.02 мг/кг), у *Juglans mandshurica* (9.10 мг/кг) и *Quercus mongolica* (8.90 мг/кг). Средним значениям отвечают уровни меди у *Fraxinus rhynchophylla* Hance, *Betula davurica*, *Tilia taguetii* × *T. amurensis*, *Acer mono*, *Aralia elata* (Miq.) Seem., а также у многих кустарников, в том числе и широко распространенных: *Lespedeza bicolor*, *Eleutherococcus sessiliflorus*, *Lonicera maackii*, *L. chrysantha* Turcz. ex Ledeb., *L. praeflorens*, *Sorbaria sorbifolia* и др.

Среднее содержание марганца – (148.7 ± ± 14.8) мг/кг. Оно наблюдается у *Acer barbinerve*, *Rubus sachalinensis*, *R. crataegifolius*, *Sorbaria sorbifolia*. Для этого металла, подобно цинку, характерно высокое межвидовое варьирование показателей содержания – 87 %: минимальное (7.7 мг/кг) отмечено у *Malus manshurica*, а максимальное (1153 мг/кг) – у *Salix udensis*. Установленный верхний предел содержания марганца в 2 раза и более превосходит концентрацию, которая считается токсичной для листьев (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989), и в 5 раз выше кларка растений суши. К видам-концентраторам Mn относятся также *Rhododendron mucronulatum* (606 мг/кг), *Syringa wolfii* (586 мг/кг), *Aralia elata* (500 мг/кг), *Salix gracilistyla* (439 мг/кг), *Betula platyphylla* (428 мг/кг), *Corylus mandshurica* Maxim. (388 мг/кг), *Quercus mongolica* (315 мг/кг), *Acer tegmentosum* (311 мг/кг), *Betula davurica* (307 мг/кг) и др. Низкое содержание Mn, являющееся дефицитным для зрелых тканей листьев, зафиксировано у *Celastrus flagellaris* (10.4 мг/кг), *Ulmus pumila* (12.7 мг/кг), *U. laciniata* (17.5 мг/кг), *Armeniaca mandshurica* (13.2 мг/кг) и др.

Среднее содержание железа – (138.0 ± ± 5.4) мг/кг. Изменчивость этого показателя среди опробованной выборки видов минимальная для рассматриваемой ассоциации ТМ: коэффициент вариации равен 34 %. Размах показателей содержания при этом ограничен следующими значениями: 20 (*Celastrus flagellaris*) – 260 мг/кг (*Rubus crataegifolius*). Низким содержанием (45–48 мг/кг) отличаются также *Armeniaca mandshurica*, *Salix caprea*, *Pinus koraiensis*, высоким – *Rubus sachalinensis* (238 мг/кг), *Eleutherococcus senticosus* (220 мг/кг), *Betula davurica* (218 мг/кг), *Euonymus*

pauciflora Maxim. (217 мг/кг), *Carpinus cordata* Blume (212 мг/кг), *Corylus heterophylla* (205 мг/кг), *Spiraea ussuriensis* (204 мг/кг). Среднему содержанию соответствуют уровни Fe в листьях *Ribes maximoviczianum* Kom., *Lonicera caerulea*, *Sorbaria sorbifolia*, *Rhamnus davurica*, *Phellodendron amurense*, *Eleutherococcus sessiliflorus*.

Дифференциация арборифлоры по интенсивности накопления металлов, выполненная на основе значений коэффициента ОИИ, позволила выделить 3 группы видов – высокой, средней и низкой интенсивности накопления. Они объединяют соответственно виды-концентраторы, виды с локально-фоновым содержанием металлов и виды, индифферентные по отношению к рассматриваемой ассоциации металлов.

Группа наиболее активных концентраторов металлов включает 15 видов. Из их числа ива удская *Salix udensis* проявила сверхконцентрационные способности по отношению к Zn, содержание которого в ее листьях составило 415 мг/кг сухого вещества, что в 14 раз превышает ЛЭФ. Основной же видовой состав группы характеризуется 3–9-кратным накоплением металлов относительно локально-фоновых уровней. Для большинства этих видов наиболее характерно существенное обогащение листьев цинком (*Salix gracilistyla*, *Syringa wolfii*, *Populus tremula*, *Betula davurica*, *B. costata*) и марганцем (*S. udensis*, *B. platyphylla*, *Aralia elata*, *Corylus mandshurica*, *S. wolfii*, *Rhododendron mucronulatum*). Остальные виды отличаются очень высокой аккумуляцией Cu (4-кратной по сравнению с ЛЭФ) – *Alnus hirsuta*; Cd и Co (3-кратной) – *Lonicera caerulea*; Pb и Cd (3-кратной) – *Rubus sachalinensis*; Co (2.5-кратной) – *Euonymus macroptera*.

Виды, в которых уровень тяжелых металлов в 1.5–2 раза и более превышает фоновый и которые имеют наиболее репрезентативные выборки данных ($n \leq 3$), приведены в табл. 2.

Многие виды-концентраторы металлов весьма перспективны в качестве «живых фильтров» для экологической оптимизации урбанизированной среды, а также для биоремедиации загрязненных металлами территорий, хотя для уточнения состава наиболее функциональных видов нужны дополнительные исследования по оценке их толерантности и устойчивости в условиях техногенеза.

В группу слабого накопления металлов вошли *Pinus koraiensis*, *Abies holophylla*, *Juglans mandshurica*, *Fraxinus mandshurica*, *Tilia amurensis*, *Salix caprea*, *Ulmus pumila*, *Maackia*

Таблица 2. Виды-концентраторы тяжелых металлов в условиях лесных экосистем п-ова Муравьев-Амурский

Вид	Содержание тяжелых металлов, мг/кг сух. в-ва							
	Pb	Ni	Co	Cd	Zn	Cu	Mn	Fe
<i>Acer mono</i>	–	–	–	–	–	–	237.6	–
<i>A. pseudosieboldianum</i>	–	–	–	–	–	–	270.5	–
<i>A. tegmentosum</i>	–	–	–	–	–	–	310.6	–
<i>Actinidia kolomikta</i>	10.30	–	2.29	1.58	–	–	–	–
<i>A. polygama</i>	–	–	2.11	–	–	–	–	–
<i>Aralia elata</i>	–	–	–	–	47.83	–	499.6	–
<i>Eleutherococcus senticosus</i>	9.48	–	2.14	1.59	–	–	–	220.1
<i>E. sessiliflorus</i>	10.15	–	2.19	1.62	–	–	–	–
<i>Alnus hirsuta</i>	–	–	–	–	–	24.38	–	–
<i>Betula costata</i>	–	–	–	–	124.14	–	–	–
<i>B. davurica</i>	–	–	–	–	125.90	–	306.8	217.5
<i>B. platyphylla</i>	–	–	–	–	77.83	–	427.6	–
<i>Carpinus cordata</i>	–	–	–	–	–	–	290.3	212.3
<i>Corylus mandshurica</i>	–	–	–	1.35	–	–	387.7	–
<i>Lonicera chrysantha</i>	–	–	2.12	–	–	–	–	–
<i>L. maackii</i>	9.98	3.44	2.14	1.75	–	–	–	–
<i>Viburnum burejaeticum</i>	–	–	2.08	1.38	–	–	–	–
<i>Euonymus macroptera</i>	11.43	4.26	3.62	–	–	–	–	–
<i>E. maximovicziana</i>	12.07	–	2.45	1.82	–	–	–	–
<i>E. pauciflora</i>	–	–	–	–	–	–	–	217.3
<i>E. sacrosancta</i>	9.47	–	–	1.43	–	–	–	–
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	–	–	–	–	–	–	605.6	–
<i>Securinega suffruticosa</i>	–	–	–	1.38	–	–	–	–
<i>Quercus mongolica</i>	–	–	–	–	–	–	315.3	–
<i>Ribes mandshuricum</i>	11.51	–	2.32	1.64	–	–	–	–
<i>R. maximoviczianum</i>	–	–	–	–	–	–	294.0	–
<i>Deutzia amurensis</i>	12.03	–	2.86	1.68	–	–	–	–
<i>Philadelphus tenuifolius</i>	–	–	2.76	1.50	–	–	–	–
<i>Rhamnus davurica</i>	13.23	–	2.53	1.82	–	–	–	–
<i>Padus avium</i>	10.70	3.20	2.08	1.40	–	–	–	–
<i>Rubus crataegifolius</i>	9.45	–	–	1.39	–	–	–	260.0
<i>Spiraea ussuriensis</i>	–	–	–	–	–	–	236.7	204.6
<i>Populus tremula</i>	–	–	–	–	159.61	–	–	–
<i>Salix gracilistyla</i>	–	5.00	2.50	2.67	217.51	10.02	439.4	–
<i>S. udensis</i>	–	4.84	–	2.71	415.17	10.60	1153.1	–
<i>Schisandra chinensis</i>	8.85	–	–	–	–	–	–	–
<i>Tilia mandshurica</i>	–	3.75	–	–	–	–	–	–
<i>T. taguetii</i> x <i>T. amurensis</i>	–	–	–	–	–	–	260.4	–
<i>Vitis amurensis</i>	12.36	–	2.25	–	–	12.65	–	–

Примечание. Жирным шрифтом выделены наиболее активные виды-концентраторы ТМ, у которых содержание металлов в 3 раза и более превышает ЛЭФ.

amurensis, *Berberis amurensis* Rupr. и др. Низкое суммарное содержание металлов характерно и для многих видов розоцветных: *Armeniaca mandshurica*, *Malus manshurica*, *Micromeles alnifolia*, *Padus maximowiczii*, *Cerasus sargentii*. Минимальным же содержанием всех рассматриваемых металлов отличается лиана *Celastrus flagellaris*.

Локально-фоновым уровням соответствует содержание всех сравниваемых металлов в *Sorbaria sorbifolia*. Фоновые содержания по 5–6 металлам зафиксированы у *Acer mono* (Pb, Ni, Cd, Zn, Cu, Fe), *Abelia coreana* (Ni, Co, Cd, Cu, Fe), *Crataegus maximowiczii* (Pb, Ni, Co, Cd, Fe), *Phellodendron amurense* (Pb, Co, Cd, Zn, Cu, Fe), *Rhododendron mucronulatum* (Pb, Ni, Co, Cd, Zn,

Cu), *Ulmus japonica* (Ni, Co, Zn, Cu, Fe), *Viburnum burejaeticum* (Pb, Ni, Zn, Cu, Fe), *V. sargentii* (Pb, Ni, Co, Cd, Cu, Fe). Еще для 12 видов установлено фоновое содержание по 4 ТМ, в том числе для таких типичных представителей хвойно-широколиственных лесов, как клены (*Acer pseudosieboldianum*, *A. tegmentosum*), черемухи (*Padus avium*, *P. maackii* (Rupr.) Kom.), лещина маньчжурская *Corylus mandshurica*, чубушник тонколиственный *Philadelphus tenuifolius*, таволга уссурийская *Spiraea ussuriensis* и др. В группу локально-фоновое содержания ТМ вошли многие эндемики и реликты дальневосточной флоры: *Aralia elata* (Ni, Cu, Fe), *Kalopanax septemlobus* (Ni, Zn, Mn, Fe), *Securinega suffruticosa* (Cu, Fe), *Schisandra chinensis* (Ni, Co, Cd, Fe) и др., а также указанные выше *Phellodendron amurense* и *Rhododendron mucronulatum*.

Биогеохимическая специализация семейств арборифлоры. Анализ аккумулятивных способностей обследованного состава арборифлоры на уровне семейств позволил установить следующие закономерности. Наиболее высокие значения зольности отмечены у видов, принадлежащих семействам Hydrangeaceae (13.0–15.3 %), Actinidiaceae (12.5–13.2 %), Ulmaceae (10.9–17.0 %), Araliaceae (10.1–12.8 %). Высокая зольность листьев (11.6–14.8 %) характерна для большинства семейств деревянистых лиан. К низкозольным растениям относятся семейства Pinaceae (2.7–5.6 %), Berberidaceae (5.2 %), Fagaceae (6.6 %) и большинство видов семейств Betulaceae (6.6–8.3 %) и Aceraceae (5.8–8.0 %).

Обобщенные данные по особенностям накопления тяжелых металлов разными семействами дальневосточной арборифлоры приведены в табл. 3.

Самые высокие способности к аккумуляции металлов установлены у четырех семейств: Vitaceae (Pb, Co, Cd, Cu), Rhamnaceae (Pb, Co, Cd), Hydrangeaceae (Ni, Co) и Shisandraceae (Pb, Cu). Минимальные способности к накоплению большинства ТМ отмечены у Juglandaceae (за исключением Cu) и Pinaceae (кроме Ni, Zn, Mn). Очень слабо накапливают целый ряд металлов представители семейств Berberidaceae (Ni, Cd, Mn), Rhamnaceae (Zn, Cu, Mn), Tiliaceae (Co, Cd), Ulmaceae (Cd, Mn), Vitaceae и Euphorbiaceae (Zn, Mn). Локально-фоновые содержания металлов наиболее характерны для растений семейств Ericaceae (Pb, Co, Cd, Zn), Rutaceae (Pb, Co, Zn, Fe), Araliaceae (Ni, Cu), Shisandraceae (Ni, Mn).

Согласно полученным результатам, виды и семейства дальневосточной арборифлоры со

средним содержанием металлов вполне адекватно отражают фоновый химический состав растительности. Из них наиболее типичные лесобразующие породы хвойно-широколиственных лесов Южного Приморья, а также некоторые эндемики и реликты дальневосточной арборифлоры могут успешно использоваться в качестве фитоиндикаторов в биомониторинговых и фитоиндикационных исследованиях региональных лесных экосистем.

Оценка сбалансированности химического состава растений. Индикаторным показателем сбалансированности химического состава растений является соотношение некоторых пар близких по свойствам химических элементов четных и нечетных рядов периодической системы Д. И. Менделеева, в том числе Fe : Mn (Виноградов, 1935; Кист, 1987). Соотношение Fe : Mn у современной растительности характеризует оптимальность процесса фотосинтеза. В фоновых условиях его физиологическая норма, судя по данным разных авторов (Бойченко и др., 1972; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989 и др.), варьирует в пределах 1.2 (2.0)–2.5. При большей величине этого отношения возможно угнетение биологической продуктивности. Однако следует заметить, что эти обобщения сделаны в основном на примере травянистых растений. Оптимального же соотношения Fe и Mn для роста древесных растений, как справедливо отмечала еще в конце прошлого века Т. А. Парибок (Растения..., 1983), физиологами растений до сих пор не установлено. По ее расчетным данным, величина этого показателя для некоторых травянистых растений, деревьев и кустарников из фоновых условий различных регионов может колебаться от 0.03 до 7.60.

Если судить по полученным нами результатам, то для зональных экобиоморф региона исследований соотношение Fe : Mn изменяется в ряду: 0.46 (хвойные деревья) → 0.72 (лиственные деревья) → 0.98 (кустарники) → 1.31 (лианы) → 2.04 (травянистые растения). При рассмотрении всего опробованного видового состава деревянистых растений диапазон значений этого показателя существенно расширяется: от 0.09 (*Salix udensis*) и 0.21 (*Syringa wolfii*) до 9.86 (*Ulmus pumila*) и 11.70 (*Malus manshurica*).

Железо преимущественно накапливают растения семейства Actinidiaceae (Fe/Mn = 1.83), а также большинство видов семейств Celastraceae (2.52), Hydrangeaceae (2.53), Oleaceae (2.58), Ulmaceae (7.37) и одновидовые семейства Rutaceae (2.98), Berberidaceae (2.23), Rhamnaceae

Таблица 3. Интенсивность накопления металлов семействами растений, формирующих древесно-кустарниковые ярусы лесов п-ова Муравьев-Амурский

Тяжелые металлы	Группы семейств растений по степени накопления металлов		
	высокая ($\geq 1.5 M$)	средняя ($M \pm m$)	низкая ($\leq 1.5 M$)
Свинец	Rhamnaceae Juss. Vitaceae Juss. Shisandraceae Blume	Ericaceae Juss. Rutaceae Juss.	Juglandaceae A. Rich. ... Pinaceae Lindl.
Никель	Hydrangeaceae Dumort.	Actinidiaceae Hutch. Shisandraceae Blume Betulaceae S. F. Gray Araliaceae Juss.	Juglandaceae A. Rich. ... Berberidaceae Juss.
Кобальт	Actinidiaceae Hutch. Hydrangeaceae Dumort. Rhamnaceae Juss. Vitaceae Juss.	Ericaceae Juss. Rutaceae Juss.	Fabaceae Lindl. s. l. Tiliaceae Juss. Juglandaceae A. Rich. ... Pinaceae Lindl.
Кадмий	Rhamnaceae Juss. Euphorbiaceae Juss. Vitaceae Juss.	Ericaceae Juss.	Berberidaceae Juss. Fagaceae Dumont. Juglandaceae A. Rich. ... Pinaceae Lindl. Tiliaceae Juss. Ulmaceae Mirb.
Цинк	Salicaceae Mirb.	Ericaceae Juss. Fagaceae Dumont. Rutaceae Juss.	Euphorbiaceae Juss. Juglandaceae A. Rich. ... Rhamnaceae Juss. Shisandraceae Blume Vitaceae Juss.
Медь	Vitaceae Juss. Shisandraceae Blume Juglandaceae A. Rich. ex Kunth Betulaceae S. F. Gray	Araliaceae Juss. Caprifoliaceae Juss. Fabaceae Lindl. s. l. Hydrangeaceae Dumort.	Pinaceae Lindl. Rhamnaceae Juss.
Марганец	Ericaceae Juss. Fagaceae Dumont.	Shisandraceae Blume Pinaceae Lindl.	Actinidiaceae Hutch. Berberidaceae Juss. Euphorbiaceae Juss. Hydrangeaceae Dumont. Juglandaceae A. Rich. ... Rhamnaceae Juss. Rutaceae Juss. Ulmaceae Mirb. Vitaceae Juss.
Железо		Rhamnaceae Juss. Rutaceae Juss. Tiliaceae Juss.	Juglandaceae A. Rich. ... Pinaceae Lindl.

Примечание. $M \pm m$ – среднее и ошибка среднего.

(2.19). Марганец наиболее активно концентрируют растения семейств Tiliaceae (0.83), Araliaceae (0.78), Aceraceae и Shisandraceae (0.75), Betulaceae (0.61), Fagaceae (0.54), Pinaceae (0.47), Ericaceae (0.31) и Salicaceae (0.22). Вполне закономерно, что среди растений с преимущественным накоплением марганца отмечается большое количество видов-марганефилов и растений с высоким содержанием таннидов (хвойные, ивовые, аралиевые и др.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований определены локально-фоновые содержания тяжелых металлов в почвах и растениях и выявлена эколого-геохимическая специфика лесных экосистем п-ова Муравьев-Амурский, которая выражается в повышенном по сравнению с другими регионами России и мира содержании в почвенно-растительном покрове Cd и Co

и более низком – Mn. Установленные фоновые содержания металлов служат локальным экологическим фоном при оценке экологического состояния урбанизированной среды Владивостока и вносят вклад в разработку регионального экологического фона металлов для почв и растительности.

Обследованной арборифлоре присуща высокая биогеохимическая специализация на экобиоморфном, семейственном и особенно видовом уровнях организации фитобиоты. Максимальная межвидовая биогеохимическая дифференциация отмечена в содержании наиболее типичных для древесных растений биогенных элементов – Zn (коэффициент вариации – 96 %) и Mn (87 %), а также типичного техногенного металла Cd (71 %).

Биогеохимическая специализация растений на уровне экобиоморф проявилась в преимущественном накоплении Mn и Zn листовыми деревьями, Pb, Co, Cd, Ni и Fe – кустарниками, Pb, Co, Cd, Cu – деревянистыми лианами. Для хвойных деревьев характерно слабое накопление большинства металлов. Деревянистые растения по сравнению с травянистыми обогащены Mn, Co и избирательно – Zn, но относительно беднее последних Fe и Ni.

По интенсивности накопления металлов видовой состав арборифлоры классифицирован на 3 группы: виды-концентраторы, виды фонового и виды низкого содержания ТМ. Группа наиболее активных концентраторов металлов сформирована 14 видами: *Salix gracilistyla* и *S. udensis* (Zn, Cd, Mn); *Syringa wolfii* (Zn, Mn); *Lonicera caerulea* (Co, Cd); *Rubus sachalinensis* (Pb, Cd); *Populus tremula*, *Betula davurica* и *B. costata* (Zn); *B. platyphylla*, *Rhododendron mucronulatum*, *Aralia elata* и *Corylus mandshurica* (Mn); *Euonymus macroptera* (Co), *Alnus hirsuta* (Cu). Обнаружено, что концентрация Mn у семи видов (9 % состава) и Zn у двух видов является токсичной согласно условно нормативным данным, приведенным А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас (1989) для зрелых тканей листьев. В группу видов локально-фоновой концентрации металлов вошли многие типичные деревья и кустарники хвойно-широколиственных лесов (*Acer mono*, *A. pseudosieboldianum*, *A. tegmentosum*, *Padus maackii*, *Corylus mandshurica*, *Philadelphus tenuifolius*, *Sorbaria sorbifolia*, *Spiraea ussuriensis*), а также эндемики и реликты дальневосточной флоры (*Kalopanax septemlobus*, *Phellodendron amurense*, *Securinega suffruticosa*, *Schisandra chinensis* и др.).

Виды с высоким и средним содержанием ТМ представляют наибольший интерес с практической точки зрения. Многие виды-концентраторы металлов можно рекомендовать для экологической оптимизации урбанизированной среды и биоремедиации загрязненных тяжелыми металлами территорий, а виды с локально-фоновым содержанием металлов – в качестве индикаторов для проведения экологического мониторинга лесной растительности Приморья и Дальнего Востока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баргальи Р. Биогеохимия наземных растений. Пер. с англ. М.: ГЕОС, 2005. 457 с.
- Бойченко Е. А., Саенко Г. Н., Удельнова Т. М. Изменение соотношений металлов в эволюции растений биосферы // Очерки современной геохимии и аналитической химии. М.: Наука, 1972. С. 454–458.
- Бураго А. И., Шлыков С. А., Бураго В. А. Промежуточный отчет ТОО МИФ «Экоцентр». Кн. 1. Текст отчета. 1998. 77 с.
- Виноградов А. П. Химический элементарный состав организмов и периодическая система Д. И. Менделеева // Тр. Биогеохимической лаборатории АН СССР. 1935. Т. 3. С. 5–30.
- Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. 2-е изд. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 239 с.
- Второва В. Н., Маркерт Б. Мультиэлементный анализ лесных экосистем Восточной Европы // Изв. РАН. Сер. биол. 1995. № 4. С. 447–454.
- Голов В. И. Микроэлементный состав почв Приморья // Характеристика агроземов Приморья. Уссурийск: ФГУ ГЦАС «Приморский», 2002. С. 145–155.
- Добровольский В. В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М.: Мысль, 1983. 272 с.
- Добровольский В. В. Основы биогеохимии: учебное пособие. М.: Высш. шк., 1998. 413 с.
- Иванов Г. И. Почвообразование на юге Дальнего Востока. М.: Наука, 1976. 200 с.
- Иванов Г. И., Журавков А. Ф. Почвы пригородных лесов Владивостока // Итоги изучения лесов Дальнего Востока: сб. статей. Владивосток: ДВФ СО АН СССР, 1967. С. 72–74.
- Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва–растение. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 151 с.
- Ильин В. Б., Сысо А. И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.

- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
- Кист А. А.* Феноменология биогеохимии и биоинорганической химии. Ташкент: ФАН, 1987. 236 с.
- Колесников Б. П.* Растительность // Дальний Восток: физико-географическая характеристика. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 183–245.
- Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами / Под ред. Н. Г. Зырина, С. Г. Малахова. М.: Гидрометеиздат, 1981. 108 с.
- Малюга Д. П.* Биогеохимический метод поисков рудных месторождений. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 264 с.
- Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИХ СПбГУ, 2002. 240 с.
- Полевая геоботаника / Под ред. Е. М. Лавренко, А. А. Корчагина. Т. 3. М.: Наука, 1964. 530 с.
- Прайс В. Дж.* Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия. М.: Мир, 1976. 355.
- Практикум по агрохимии / Под ред. В. Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 1989. 304 с.
- Рассеянные элементы в бореальных лесах / Отв. ред. А. С. Исаев. М.: Наука, 2004. 616 с.
- Растения в экстремальных условиях минерального питания: эколого-физиологические исследования. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1983. 176 с.
- Ровинский Ф. Я., Бурцева Л. В., Петрухин В. А., Чичева Т. Б.* Фоновое содержание свинца, ртути, мышьяка и кадмия в природных средах (по мировым данным) // Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1982. Вып. 1. С. 14–35.
- Ровинский Ф. Я., Виженский В. А., Петрухин В. А.* Фоновое содержание микроэлементов в природных средах (по мировым данным) // Мониторинг фонового загрязнения природных сред. Л.: Гидрометеиздат, 1987. Вып. 4. С. 34–50.
- Скарлыгина-Уфимцева М. Д.* Системно-иерархический анализ микроэлементного состава фитобиоты ландшафтов // Тр. Биогеохимической лаборатории АН СССР. 1991. Т. 22 (Проблемы геохимической экологии). С. 120–134.
- Сосудистые растения советского Дальнего Востока. В 8 т. / Под ред. С. С. Харкевича. Л.; СПб.: Наука, 1985–1996.
- Уфимцева М. Д., Терехина Н. В.* Фитоиндикация экологического состояния урбоэкосистем Санкт-Петербурга. СПб.: Наука, 2005. 339 с.
- Цыпленков В. П., Банкина Т. А., Федоров А. С.* Определение зольного состава растительных материалов. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. 160 с.
- Шихова Н. С.* Комплексная оценка состояния лесов зеленой зоны Владивостока // Лесоведение. 2015. № 6. С. 436–446.
- Шихова Н. С., Полякова Е. В.* Деревья и кустарники в озеленении города Владивостока. Владивосток: Дальнаука, 2006. 236 с.
- Bergkvist B., Folkesson L., Berggren D.* Fluxes of Cu, Zn, Pb, Cd, Cr and Ni in temperate forest ecosystems: a literature review // Water, Air and Soil Pollut. 1989. V. 47. P. 217–286.
- Bowen H. J. M.* Trace elements in biochemistry. London; New York, 1966. 240 p.

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL PECULIARITIES OF THE SOUTH PRIMORYE VEGETATION AND ARBORIFLORA SPECIES SPECIFICITY IN THE HEAVY METAL ACCUMULATIONS

N. S. Shikhova

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Russian Academy of Sciences,
Far Eastern Branch
Prospekt Stoletiya Vladivostoka, 159, Vladivostok, 690022 Russian Federation

E-mail: shikhova@ibss.dvo.ru

The article deals with the submission of data on ecological and geochemical peculiarities of the forest ecosystems, still conserved, which were obtained during vegetation research of the Muravyov-Amursky Peninsula of the Primorsky Krai. For the first time, the species specificity on the heavy metal accumulations has been identified for many Far-Eastern species of the trees, bushes and woody climbing plants (78 species), which participate in the formation of the natural phytocenoses of the South Primorye. The accumulative plant properties to accumulate heavy metals (Pb, Ni, Co, Cd, Zn, Cu, Mn, Fe) are found out in the different systematic groups and life forms of the plants. The best capacity to concentrate heavy metals (3–9 times more than background level) has been found out at 14 species: *Salix udensis* Trautv. et Mey. and *S. gracilistyla* Miq. (Zn, Mn, Cd); *Syringa wolfii* C. K. Schneid. (Zn, Mn); *Lonicera caerulea* L. (Co, Cd); *Rubus sachalinensis* Levl. (Pb, Cd); *Populus tremula* L., *Betula davurica* Pall. and *B. costata* Trautv. (Zn); *B. platyphylla* Sukacz., *Rhododendron mucronulatum* Turcz., *Aralia elata* (Miq.) Seem. and *Corylus mandshurica* Maxim. (Mn); *Euonymus macroptera* Rupr. (Co), *Alnus hirsuta* (Spach) Fisch. ex Rupr. (Cu). The best abilities of the total metal accumulations have been observed at the families as Vitaceae Juss. (Pb, Co, Cd, Cu), Hydrangeaceae Dumort. (Ni, Co, Cd), Rhamnaceae Juss. (Pb, Co, Cd) and Shisandraceae Blume (Pb, Cu). All heavy metal contents, mentioned above, correspond to the local and background levels at *Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Br., minimum content – at *Celastrus flagellaris* Rupr. liane. Coniferous species have low ability to accumulate most metals and also *Juglans mandshurica* Maxim., *Fraxinus mandshurica* Rupr., *Tilia amurensis* Rupr., *Salix caprea* L., *Ulmus pumila* L., *Maackia amurensis* Rupr. et Maxim., *Berberis amurensis* Rupr. et al. The background contents of the most metals are registered in *Acer mono* Maxim., *Abelia coreana* Nakai, *Crataegus maximowiczii* C. K. Schneid., *Phellodendron amurense* Rupr., *Ulmus japonica* (Rehd.) Sarg., *Viburnum burejaeticum* Regel et Herd., *V. sargentii* Koehne. In the region of investigation the plant specificity and soils have been identified basing on the ecological and geochemical criteria. The plant species, which are perspective representatives for monitoring and photo indication in the regional environmental conditions, or close to them, have been proposed.

Keywords: arboriflora, geochemical ecology of plants, heavy metals, accumulation of heavy metals by plants.

How to cite: Shikhova N. S. Ecological and geochemical peculiarities of the South Primorye vegetation and arboriflora species specificity in the heavy metal accumulations // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2017. N. 6: 76–88 (in Russian with English abstract).