

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ *ULMUS PUMILA* L. В ОГРАНИЧЕНИИ ПОСТУПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ НЕКОТОРЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ

© 2018

Копылова Любовь Викторовна, кандидат биологических наук,
доцент кафедры экологии, экологического и химического образования
Забайкальский государственный университет (г. Чита, Российская Федерация)

Аннотация. В данной статье рассматривается одно из наиболее негативных загрязнений окружающей среды – загрязнение тяжелыми металлами. Описываются основные источники поступления тяжелых металлов в почву, их форма и характер распределения на поверхности почвенного покрова. Приведены данные многих исследователей по изучению способности растений аккумулировать различные микроэлементы, в том числе и тяжелые металлы. Рассмотрена территория Забайкальского края, как старейшая горнорудная территория, которая на протяжении многих лет подвергалась различным техногенным воздействиям. Представлена актуальность данного исследования, заключающаяся в выявлении видов, способных эффективно аккумулировать тяжелые металлы в своих органах и тканях, с целью улучшения и поддержки экологического баланса техногенных территорий. Дано описание вяза приземистого (*Ulmus pumila* L.) – древесного вида, часто используемого в озеленении урбанизированных территорий. В работе обсуждаются результаты исследований по определению содержания и особенностей накопления некоторых тяжелых металлов в органах *Ulmus pumila* L. (лист, корень, кора) в условиях техногенного загрязнения. Проанализированы данные о накоплении тяжелых металлов (Zn, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr, Sr, Rb, Ti) в почве пробных площадей и исследуемых органах *Ulmus pumila* L. (лист, корень, кора). Установлено, что *Ulmus pumila* L. аккумулирует все исследуемые тяжелые металлы в различных количествах, преимущественно накапливая их высокие концентрации в корне и коре. Больше всего исследуемый вид в своих органах накапливает Fe, Sr, Mn, Ti, Zn, меньше – Rb, Cu, Cr и Ni. Избыточное накопление тяжелых металлов исследуемым видом связано с его месторасположением. Таким образом, нами определена возможность использования *Ulmus pumila* L. в качестве естественного биофильтра, ограничивающего поступление тяжелых металлов в окружающую среду техногенных территорий.

Ключевые слова: загрязнение окружающей среды; химические элементы; тяжелые металлы; аккумуляция; почвенный покров; кларк; предельно-допустимая концентрация; техногенные территории; урбанизированные территории; техногенное воздействие; древесные виды растений; вяз приземистый; *Ulmus pumila* L.; Забайкальский край.

Введение

Возрастающие масштабы загрязнения окружающей среды и резкое ухудшение экологической ситуации в различных регионах нашей планеты являются порождением современной промышленной и транспортной эпохи. Среди многочисленных загрязнителей наиболее сильными по действию и распространению во всех природных средах являются тяжелые металлы. К ним относят группу химических элементов с атомным весом более 50, либо значительной плотностью, равной или превосходящей плотность железа [1]. В.Б. Ильин [2, с. 3] к наиболее токсичным относит: кобальт, никель, медь, цинк, свинец, теллур, рубидий, ртуть, кадмий, молибден и др., ввиду их способности аккумулироваться в окружающей среде быстрыми темпами.

Одним из основных концентраторов тяжелых металлов в биосфере является почва. К естественным источникам поступления тяжелых металлов в почву относятся продукты выветривания горных и осадочных пород, вулканические извержения, пыльные бури, подземные и грунтовые воды, термальные воды и рассолы, эрозионные процессы, лесные пожары, живое вещество и др. [3]. Такой вид загрязнения определяется в качестве фоновый, так как практически со временем не меняется. Знание фонового уровня является основой для оценки степени загрязнения тяжелым металлом окружающей среды. Загрязнение

техногенного характера имеет стремительный приток тяжелых металлов в естественную среду, заметно нарушающий природные экосистемы. Основными источниками такого рода загрязнения являются: добыча и переработка полезных ископаемых, металлургическая, металлообрабатывающая и химическая промышленности, движение автомобильного, железнодорожного и авиатранспорта, сельскохозяйственная деятельность и ряд других. В результате техногенеза в окружающую среду поступает большое количество химических элементов, значительно превышающее уровень их естественного поступления.

Распространение тяжелых металлов в верхнем слое почвы, с последующей их миграцией по почвенному профилю, зависит от характера источников загрязнения, метеорологических и климатических условий, геохимической обстановки, природного ландшафта и т.д. В почве тяжелые металлы представлены различными формами, что в сумме составляет их валовое содержание. Соотношение этих форм зависит от типа почвы и экологической обстановки почвенного покрова [4]. Максимальное сосредоточение тяжелых металлов наблюдается в верхнем гумусовом слое почвы, в форме обменных ионов, находящихся в почвенно-поглощающем комплексе, а также в прочно фиксированной необменной форме. Определение валового содержания тяжелых металлов в почве позволяет вести контроль за состоянием

почвенного покрова территорий, подвергшихся техногенному воздействию.

Результаты многочисленных исследований показали, что тяжелые металлы относительно быстро депонируются в почвенном покрове и довольно медленно выводятся из него, о чем свидетельствуют данные периода полувыведения их из почвы: Zn – до 500 лет, Cd – до 1100 лет, Cu – до 1500 лет, Pb – до нескольких тысяч лет [5; 6]. Находящиеся в почве в подвижных и легкорастворимых формах тяжелые металлы в дальнейшем быстро распространяются, включаясь в природные биогеохимические циклы, и в результате смыва поступают в открытые водоемы, активно мигрируя в растения, и далее, по трофическим путям, быстро усваиваются живыми организмами. Следует отметить то, что почва может не только накапливать компоненты загрязнений, но и способна выступать своеобразным мощным природным барьером, контролирующим попадание токсических выбросов в атмосферу, гидросферу и живое вещество [7].

Научные труды многих исследователей свидетельствуют о том, что растения, как и почва, обладают уникальной сорбционной способностью, являясь природным аккумулятором микроэлементов, в том числе и тяжелых металлов. Работы многих исследователей (Н.В. Прохоровой и др. [8], Т.В. Черненьковой [9], А.А. Кулагина и А.Ю. Шагиевой [10], О.В. Шергиной и Т.А. Михайловой [11] и др.) посвящены изучению способности древесных растений накапливать в своих органах и тканях различные химические элементы. Учеными установлено, что зеленые насаждения, за счет их физиологических и морфологических особенностей, поглощают и нейтрализуют значительное количество вредных компонентов окружающей среды, способствуя при этом сохранению экологического благополучия биосферы.

Забайкальский край является старейшим горно-рудным регионом России. За многолетнюю историю его территория постоянно подвергалась интенсивным разработкам рудных месторождений, что сопровождалось образованием значительного количества токсичных промышленных отходов, в том числе и тяжелых металлов [12, с. 164–170].

На сегодняшний день наиболее актуальным вопросом является решение проблемы загрязнения окружающей среды. Существенным способом улучшения ее состояния является выявление видов растений, способных эффективно накапливать в своих органах и тканях токсические элементы, сохраняя при этом биологическую устойчивость, что позволит поддерживать экологический баланс территорий, подвергшихся техногенному воздействию.

Объектами наших исследований служили почвенный покров территорий с различным уровнем техногенного воздействия и *Ulmus pumila* L. (вяз (ильм) приземистый), род *Ulmus* L. (ильм), семейство *Ulmaceae* Mirb. (ильмовые) [13, с. 72]. *Ulmus pumila* L. – наиболее распространенный древесный вид, используемый в озеленении урбанизированных территорий, применяемый в степном и полесостойном лесоразведении благодаря его высоким адаптационным возможностям и экологической пластичности [14, с. 14]. *Ulmus pumila* L. в Забайкальском крае является видом-интродуцентом, переселенным из южно-азиатских аридных территорий [14, с. 61]. Общими эко-

логическими чертами вида является устойчивость к засухе, нетребовательность к минеральному и органическому богатству почв, легкость разведения, быстрота роста и устойчивость к загрязнению окружающей среды [14, с. 67].

Цель исследований, выполненных в 2007–2012 гг., заключалась в оценке металлоаккумулирующей способности *Ulmus pumila* L., используемого в озеленении техногенных территорий Забайкальского края.

Материал и методы исследований

Работа выполнена в рамках комплексных исследований по изучению накоплению тяжелых металлов в почвах и растениях на территории Забайкальского края [3; 15; 16, с. 59–63; 17, с. 64–67]. Отбор почвенных и растительных образцов (лист, корень, кора) осуществлялся в соответствии с общепринятыми методиками [18; 19, с. 126–140; 20], в середине вегетационного периода, в сухую погоду, на пробных площадях, отличающихся различным уровнем загрязнения. Для определения элементного состава коры деревьев, с их стволов на высоте 1,3–1,5 м от земли равномерно состругивали по всей окружности и отбирали образцы наружного, омертвевшего слоя коры (2–3 мм толщиной). Пробные площади закладывались в трех районах Забайкальского края [3]: Шилкинском – пос. Первомайский (участок № 1), Агинском – пос. Новоорловск (участок № 2), Читинском – г. Чита (участок № 3), в этом же районе был определен условно чистый (фоновый) участок – с. Беклемишево, из-за его удаленности не менее чем на 50 км от загрязняющих источников, аналогичных почв и присутствия в озеленении исследуемого древесного вида. Поселок Первомайский и пос. Новоорловск выбраны в качестве исследуемых участков из-за наличия рядом с ними или на их территории горнорудных комплексов по разработке рудных месторождений лития, ниобия, тантала и вольфрама. Территория г. Читы взята для сравнения урбанизированной среды со средой техногенных территорий. Основными поставщиками загрязнителей в городе являются: ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, частный сектор с печным отоплением, ряд котельных, работающих на мазуте, промышленные предприятия, городской и железнодорожный транспорт, расположенные вблизи города территории свалок с твердыми бытовыми отходами, сточные воды и др.

Начальная обработка собранных образцов почв и растений, а также их подготовка к поэлементному анализу проводилась по общепринятым методикам в лабораторных условиях на базе кафедры биологии и методики обучения биологии Забайкальского государственного гуманитарно-педагогического университета им. Н.Г. Чернышевского, г. Чита [3; 18; 19, с. 126–140; 20]. Определение валового содержания исследуемых тяжелых металлов (Zn, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr, Sr, Rb, Ti) в почвенных и растительных образцах проводился методом рентгенофлуоресцентного анализа в лаборатории рентгеновских методов анализа института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск.

Результаты исследований и их обсуждение

Проведя анализ образцов почв, взятых на пробных площадях, было установлено, что все образцы содержат разное количество исследуемых тяжелых

металлов (табл. 1). В таблице 1 полученные в результате исследований данные сопоставлены нами с официально утвержденными предельно-допустимыми концентрациями (ПДК) тяжелых металлов в поч-

ве. Некоторые тяжелые металлы не имеют установленных ПДК в почвах, поэтому полученные нами данные мы соотносим с кларками тяжелых металлов в почвах мира [21, с. 5].

Таблица 1 – Среднее содержание тяжелых металлов в почвах пробных площадей, мг/кг

Металл Участки	Fe	Ti	Mn	Sr	Rb	Zn	Cr	Cu	Ni
№ 1	25103,0 ±61,80	3374,7 ±14,20	506,0 ±9,56	380,7 ±5,80	138,7 ±3,50	122,3 ±2,15	66,0 ±2,90	26,3 ±2,08	23,3 ±1,69
№ 2	20813,0 ±50,14	2908,0 ±19,30	518,0 ±9,47	319,7 ±5,96	170,0 ±4,17	128,3 ±2,43	41,0 ±1,78	20,3 ±1,40	13,0 ±1,05
№ 3	15260,0 ±37,19	2446,0 ±17,70	387,7 ±7,46	285,6 ±6,27	105,7 ±2,23	102,3 ±1,98	30,0 ±1,24	14,0 ±0,90	13,0 ±1,09
Фоновый	28280,0 ±75,70	2130,0 ±17,56	1049,0 ±13,07	228,0 ±3,06	91,0 ±1,53	74,0 ±1,15	40,0 ±1,15	20,0 ±1,00	10,0 ±0,58
ПДК*, кларк** [18]	38000,0**	5000,0*	1500,0*	300,0**	60,0**	100,0*	100,0*	55,0*	85,0*

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения, превышающие фоновые; одна черта – значения, превышающие кларк; две черты – значения, превышающие ПДК.

Анализ полученных результатов показал, что концентрация *железа* в почве всех исследуемых участков не превышает его почвенный кларк. Наибольшее количество металла отмечается в почвенных образцах фонового участка – 28280,0 мг/кг, что, вероятнее всего, связано с естественным повышенным содержанием железа в почве данного участка. Железо является самым распространенным в земной коре металлом, занимающим второе место после алюминия. В почвах некоторых эндемичных районов Забайкальского края, в частности в Читинском, отмечается повышенное природное содержание многих микроэлементов, в том числе и железа.

Титан максимально накапливается в почвах участка № 1 – 3374,7 мг/кг, минимально – 2130,0 мг/кг на фоновом участке. Полученные количественные значения титана не превышают его ПДК в почвах. При сравнении показателей содержания титана в почвах исследуемых участков с фоновыми показателями отмечается его повышенное содержание в 1,6 раз в почвах участка № 1, в 1,4 раза в почвах участка № 2 и в 1,1 раза – на участке № 3. Титан входит в элементный состав вредных примесей, содержащихся в бериллиевых и танталовых рудах и отходах их месторождений, что, возможно, объясняет его высокие концентрации на участках № 1 и № 2 [3; 22]. Превышение фоновых концентраций титана на участке № 3, вероятно, связано с деятельностью ТЭЦ, т.к. исследуемый элемент входит в состав сажи, образующейся при сжигании каменного угля.

Анализ накопления *марганца* в почвах исследуемых участков показал, что в данных образцах не прослеживается превышения его ПДК. Небольшие повышенные значения отмечаются в почвах участка № 1 и № 2, по сравнению с городом. Максимальное накопление марганца, как и железа, отмечается в почвах фонового участка – 1049,0 мг/кг. Марганец является довольно частым спутником железа, вторым металлом, содержащимся в земной коре после него [23], что, вероятнее всего, объясняет его увеличенное содержание в почве фонового участка.

Наблюдается превышение значений почвенного кларка *стронция* на участках № 1 и № 2. При сравнении с фоновым участком было выявлено повы-

шенное содержание стронция в 1,7 раза в почвах участка № 1, в 1,4 раза в почвах участка № 2 и в 1,3 раза – в почвах участка № 3. Высокая концентрация стронция на участках № 1 и № 2 может быть связана с открытым способом разработки месторождений полезных ископаемых. Добываемые руды в своем составе содержат минерал лопарит, при переработке которого в качестве попутного компонента присутствует стронций [24]. Увеличенное количество стронция в почвенном покрове г. Читы, вероятно, связано с работой городских теплоэлектроцентралей. При сжигании твердого минерального топлива образуется зола, химический состав которой представлен основными микроэлементами, в число которых входит стронций.

Рубидий в почвах исследуемых участков аккумулируется в пределах 91,0–170,0 мг/кг, что указывает на превышение почвенного кларка рубидия на всех пробных площадях. Увеличенные концентрации рубидия в почвах фонового участка, вероятнее всего, связаны с его естественным повышенным содержанием. Наибольшее депонирование элемента отмечается на участке № 2, что превышает кларк рубидия в почвах мира в 2,8 раза. В почвах участка № 1 содержание рубидия превышает кларк в 2,3 раза, на участке № 3 – в 1,8 раза. Высокие значения концентрации рубидия в почвах исследуемых участков № 1 и № 2, по-видимому, связаны с влиянием на их окружающую среду горноперерабатывающих комплексов, т.к. рубидий, так же как и многие другие элементы, является неотъемлемым спутником тантал-ниобиевых руд [24]. Загрязнение городских почв рубидием может происходить за счет работы двигателей автотранспорта, разноса угольной пыли и золы с золошлакоотвалов ТЭЦ и т.д.

Результаты анализа накопления *цинка* в почвах исследуемых территорий показали превышение его ПДК в 1,3 раза на участках № 1 и № 2. Фоновые концентрации превышены в 1,7 раза на участках № 1 и № 2, в 1,4 раза на участке № 3. Превышающие фоновые значения цинка и его ПДК в почвах поселков объясняется все той же разработкой добычи руды открытым способом и ее переработкой. При добыче олова в его комплексе содержится цинк, при добыче

вольфрама сопутствующим элементом является также цинк [23]. Дополнительным источником поступления цинка в окружающую среду населенных пунктов являются: автомобильный транспорт, жилищно-коммунальное хозяйство, золошлакоотвалы ТЭЦ [25].

Анализ данных по аккумуляции *хрома, меди и никеля* в почвах исследуемых участков показал отсутствие повышенных предельно-допустимых норм этих элементов на всех участках. На участке № 1 нами прослеживается превышение фоновых значений хрома в 1,7 раза, меди в 1,3 раза, никеля в 2,3 раза. Никель в почве участков № 2 и № 3 аккумулируется в равных количествах – 13,0 мг/кг, превышая показатели фона в 1,3 раза. Концентрация хрома и меди в почвах на участках № 2 и № 3 не превышает значений фонового участка. Повышенное содержание хрома, меди и никеля, вероятнее всего, связано с присутствием данных элементов в составе примесей бериллиевой и танталовой продукции [22] и более длительным периодом депонирования их в почвах исследуемых участков, т.к. горнорудное предприятие на участке № 1 организовано в 1937 г., а на участке № 2 – в 1962 г. Превышение фоновых значений содержания никеля в почвах участков № 2 и № 3, возможно, связано с их дополнительным поступлением в окружающую среду урбанизированных территорий при сжигании твердого топлива, при попадании осадков бытовых сточных вод, при работе двигателей внутреннего сгорания автомобилей и т.д.

Результаты определения количества металлов-загрязнителей в почве пробных площадей показывают сходство миграционных и аккумулятивных процессов на всех исследуемых территориях. Нами построен последовательный элементный ряд тяжелых металлов по убыванию их концентраций в почвенном покрове исследуемых участков: Fe > Ti > Mn > Sr > Rb > Zn > Cr > Cu > Ni, что свидетельствует о постоянстве физико-химических свойств почв территорий Забайкальского края. Анализ образцов почв определил повышенное содержание тяжелых металлов в почвах техногенных территорий, что соответствует их техногенной нагрузке. Концентрация токсических элементов убывает в ряду пос. Первомайский > пос. Новоорловск > г. Чита.

С целью установления роли *Ulmus pumila* L. в ограничении поступления некоторых тяжелых металлов в окружающую среду техногенных территорий нами был проведен анализ содержания железа, цинка, марганца, меди, никеля, хрома, стронция, рубидия и титана в листьях, корне и коре однолетних (20-летних) представителей изучаемого древесного вида. Выявление органов, способных аккумулировать те или иные химические элементы, имеет особое значение. Распределение и накопление тяжелых металлов в органах растений в основном происходит в следующем порядке: корень → вегетативные органы (стебель, лист) → генеративные органы (цветок, семя, плод). С целью мониторинга загрязнения тяжелыми металлами почвы и атмосферы широко исследуются листья растений. Изучение элементного состава коры древесных растений используется в биомониторинге окружающей среды с целью выявления атмосферных загрязнителей, т.к. клетки наружной коры древесных растений способны аккумулировать в себе различные поллютанты [3; 9; 10].

Нормативы предельно-допустимых концентраций (ПДК) тяжелых металлов в растениях разработаны весьма слабо и зависят от целого комплекса факторов, поэтому в своей работе мы будем придерживаться данных, представленных Н.В. Прохоровой [8] в виде нормального содержания, фитотоксичных и критических концентраций [3].

Результаты анализа показали, что в органах *Ulmus pumila* L. больше всего концентрируется *железо* (табл. 2). Наибольшее содержание железа прослеживается в корне и коре, наименьшее – в листьях. Установлено превышение фоновых значений в коре на участке № 3 в 4,7 раза, на участке № 1 в 2,8 раза, на участке № 2 в 1,4 раза. Превышение фоновых величин установлено также и в корне исследуемого вида на участке № 1 в 3,0 раза, на участке № 2 в 2,3 раза, на участке № 3 в 1,7 раза. Критическая концентрация железа в растении равна 750,0 мг/кг [8] и ее значения превышены в корне и коре *Ulmus pumila* L. на участках № 1 и № 3, в корне – на участке № 2 [3]. Норма содержания железа в растении составляет – 300,0 мг/кг [8]. Нами отмечено превышение нормального содержания железа в корне и коре *Ulmus pumila* L., произрастающего на всех исследуемых территориях.

Максимальное содержание *стронция*, как и железа, установлено в коре и корне *Ulmus pumila* L., минимальное – в листьях. Превышение фоновых концентраций отмечается во всех исследуемых органах древесного вида на участке № 3 – в коре в 2,4 раза, в корне в 1,5 раза, в листьях 1,3 раза и на участке № 1 – в коре в 1,5 раза. Норма содержания стронция в растении – 113,0 мг/кг [8], и ее показатели превышены на участке № 3 во всех исследуемых органах *Ulmus pumila* L., на условно чистом (фоновом) участке и участке № 2 – в корне и коре, на участке № 1 – в коре. Следует отметить, что с увеличением техногенной нагрузки возрастает содержание стронция в почве исследуемых участков от участка № 1 к участку № 3. Но наибольшие концентрации данного элемента наблюдаются во всех исследуемых нами органах *Ulmus pumila* L., особенно в коре (398,0 мг/кг) на участке № 3, что, вероятнее всего, связано с дополнительными источниками поступления тяжелых металлов в окружающую среду городской территории. Нами прослеживается уменьшение содержания стронция в корне и листьях *Ulmus pumila* L. от участка № 3 к участку № 1, что, вероятнее всего, связано с включением данным видом защитных физиологических и биохимических механизмов, задерживающих процесс аккумуляции стронция в исследуемых органах, в связи с увеличенным поступлением загрязняющих веществ в окружающую среду техногенных участков.

Высокие концентрации *марганца* наблюдается в корне – 110,0 мг/кг и листьях – 78,0 мг/кг *Ulmus pumila* L. на фоновом участке, что соответствует его высоким показателям в почве данного участка, по сравнению с другими исследуемыми участками. На всех пробных площадях максимальное накопление марганца отмечается в корнях *Ulmus pumila* L., минимальное – в листьях. На участке № 3 прослеживается превышение фоновых значений марганца в коре в 2,2 раза, что так же, как и в случае с превышением фоновых показателей стронция на участке № 3, говорит о присутствии дополнительных источников за-

грязняющих веществ в воздушной среде урбанизированных территорий. Отмечается снижение концентраций марганца в корне *Ulmus pumila* L. в ряду: участок № 1 < участок № 2 < участок № 3. Снижение аккумулирующей способности корневой системы *Ulmus pumila* L. на участках с повышенным техно-

генным воздействием может происходить из-за включения защитной функции корней, связанной с задержкой транспорта токсичных ионов в надземные органы растений. Норма марганца в растении – 25,0–250,0 мг/кг [8], и ее показатели не превышены ни на одном участке.

Таблица 2 – Среднее содержание тяжелых металлов в органах *Ulmus pumila* L., мг/кг

Участки	Исследуемый объект	Металлы								
		Fe	Sr	Mn	Ti	Zn	Rb	Cu	Cr	Ni
№ 1	лист	127,7 ± ± 2,78	77,3 ± ± 2,08	24,7 ± ± 1,23	11,0 ± ± 0,46	23,3 ± ± 1,11	7,0 ± ± 0,36	5,3 ± ± 0,25	2,6 ± ± 0,14	2,7 ± ± 0,10
	корень	1231,6 ± ± 15,73	114,0 ± ± 2,92	34,3 ± ± 1,54	105,7 ± ± 2,89	37,3 ± ± 1,65	11,0 ± ± 0,49	6,7 ± ± 0,33	6,9 ± ± 0,31	4,0 ± ± 0,18
	кора	965,0 ± ± 18,29	244,7 ± ± 5,66	25,3 ± ± 1,28	81,0 ± ± 2,34	23,3 ± ± 1,15	8,7 ± ± 0,46	5,3 ± ± 0,25	4,1 ± ± 0,18	3,3 ± ± 0,13
№ 2	лист	119,5 ± ± 2,93	92,5 ± ± 1,55	27,5 ± ± 1,34	9,5 ± ± 0,49	26,0 ± ± 1,15	3,5 ± ± 0,17	4,5 ± ± 0,19	2,6 ± ± 0,15	2,0 ± ± 0,08
	корень	943,0 ± ± 22,04	104,5 ± ± 2,93	38,5 ± ± 1,77	93,5 ± ± 2,54	34,5 ± ± 1,53	7,0 ± ± 0,34	6,0 ± ± 0,30	9,0 ± ± 0,25	5,0 ± ± 0,24
	кора	495,5 ± ± 9,51	240,3 ± ± 6,83	21,0 ± ± 1,08	49,5 ± ± 2,20	29,0 ± ± 1,34	6,0 ± ± 0,28	4,5 ± ± 0,21	2,7 ± ± 0,13	3,0 ± ± 0,12
№ 3	лист	160,0 ± ± 3,39	122,0 ± ± 3,11	25,3 ± ± 1,04	16,0 ± ± 0,72	28,3 ± ± 1,40	5,0 ± ± 0,22	4,7 ± ± 0,22	2,3 ± ± 0,09	2,3 ± ± 0,11
	корень	706,7 ± ± 16,17	191,0 ± ± 4,40	41,0 ± ± 1,86	88,0 ± ± 2,56	29,3 ± ± 1,60	5,0 ± ± 0,22	6,3 ± ± 0,32	10,3 ± ± 0,35	4,0 ± ± 0,16
	кора	1646,0 ± ± 20,65	398,0 ± ± 7,35	48,3 ± ± 1,87	145,3 ± ± 3,11	32,3 ± ± 1,66	9,3 ± ± 0,47	5,3 ± ± 0,25	5,7 ± ± 0,25	4,0 ± ± 0,18
Фоновый	лист	140,0 ± ± 3,61	95,0 ± ± 2,65	78,0 ± ± 2,00	8,0 ± ± 0,38	20,0 ± ± 1,00	4,0 ± ± 0,17	3,0 ± ± 0,12	1,0 ± ± 0,06	3,0 ± ± 0,10
	корень	410,0 ± ± 7,21	125,0 ± ± 2,65	110,0 ± ± 2,65	48,0 ± ± 2,00	33,0 ± ± 1,53	3,0 ± ± 0,12	7,0 ± ± 0,35	6,0 ± ± 0,30	4,0 ± ± 0,17
	кора	350,0 ± ± 6,66	163,0 ± ± 3,61	22,0 ± ± 1,15	39,0 ± ± 1,73	18,0 ± ± 1,00	3,0 ± ± 0,12	4,0 ± ± 0,17	4,0 ± ± 0,17	3,0 ± ± 0,10

Анализ количественных данных о содержании титана в органах *Ulmus pumila* L. показал его максимальное накопление в корне и коре и минимальное – в листьях. На всех пробных площадях во всех исследуемых органах *Ulmus pumila* L. отмечается превышение фоновых показателей титана. Максимальное превышение фоновых концентраций металла отмечено в коре на участке № 3 в 3,7 раза, на участке № 1 – в 2,1 раза. Следует отметить, что в сравнении с фоновым содержанием титана в корне *Ulmus pumila* L. наблюдается повышение его концентраций на участках: № 3 – в 1,8 раза, № 2 – в 1,9 раза, № 1 – в 2,2 раза, что связано с увеличением содержания металла в почвах исследуемых территорий. Также прослеживается превышение фоновое содержание титана в листьях *Ulmus pumila* L. – на участке № 3 в 2 раза, на участке № 1 в 1,4 раза, на участке № 2 в 1,2 раз. Норма содержания титана в растении – 0,15–80,0 мг/кг [8], ее превышение отмечается в коре *Ulmus pumila* L. на участке № 3 в 1,8 раз, в корне на участках: № 1 – в 1,3 раза, № 2 – в 1,2 раза, № 3 – в 1,1 раза.

Цинк *Ulmus pumila* L. больше всего аккумулирует в корне и коре, меньше – в листьях. Превышение фоновых концентраций цинка прослеживается в корне на участках: № 1 – в 1,1 раза, № 2 – в 1,0 раза, в коре на всех исследуемых участках: № 1 – в 1,3 раза, № 2 – в 1,6 раза и № 3 – в 1,8 раза. В листьях также отме-

чается превышение фоновых значений на всех исследуемых участках: № 1 – в 1,2 раза, № 2 – в 1,3 раза, № 3 – в 1,4 раза. Следует отметить, что повышенные концентрации цинка в коре отвечают его повышенным концентрациям в листьях *Ulmus pumila* L., что, вероятнее всего, связано с его увеличенным содержанием в воздушной среде исследуемых территорий. Нормальное содержание цинка в растениях варьирует от 15,0 до 150,0 мг/кг [2; 8], и оно не превышено ни на одном из исследуемых участков.

Рубидий на участках техногенных территорий в основном депонируется в корне и коре, на фоновом участке его аккумуляция в исследуемых органах составила в корне и коре – 3,0 мг/кг, и в листьях – 4,0 мг/кг. Максимальное содержание рубидия отмечается в корне *Ulmus pumila* L. на участке № 1 – 11,0 мг/кг, минимальное на участке № 3 – 5,0 мг/кг, отмечается увеличение концентраций рубидия от участка № 3 к участку № 1. В коре высокое содержание элемента наблюдается на участке № 3 – 9,3 мг/кг и на участке № 1 – 8,7 мг/кг, концентрация рубидия на участке № 2 составила – 6,0 мг/кг. Наблюдается превышение фоновое содержание рубидия во всех исследуемых органах *Ulmus pumila* L., исключение составляет его концентрация в листьях на участке № 2. Наибольшее превышение фоновых значений отмечено в корне *Ulmus pumila* L. на участке № 1 в

3,7 раза и коре на участке № 3 в 3,1 раза. Для рубидия нет установленных норм содержания и критических концентраций в растениях, поэтому полученные показатели сравниваем только с фоновыми значениями.

Медь в органах *Ulmus pumila* L. на всех пробных площадях в максимальном количестве накапливается в корне, не превышая фоновые значения. Незначительное превышение фоновых концентраций прослеживается в листьях и коре на участках № 1–3. Данные о нормальном содержании меди в растительном материале сильно варьируют, по В.Б. Ильину (1991) она равно 9,9 мг/кг [2; 8], и это значение не превышено ни на одном из исследуемых участков.

Наибольшие концентрации **хрома** отмечаются в корне *Ulmus pumila* L. и коре, наименьшие – в листьях. Превышение фоновых значений прослеживается в корне *Ulmus pumila* L. на участках № 2 в 1,5 раза, и № 3 в 1,7 раза. Превышение фонового содержания хрома в листьях составило: на участке № 1 и № 2 – 2,6 раз, на участке № 3 – 2,3 раза, в коре на участке № 3 – в 1,4 раза. Норма хрома для растений по В.Б. Ильину (1991) – 1,3 мг/кг, критическая концентрация по D. Sauerbeck (1982) – 1,0–2,0 мг/кг [2; 8; 26]. Установлено превышение нормального содержания хрома и критической концентрации в *Ulmus pumila* L. на всех пробных площадях во всех органах, за исключением содержания хрома в листьях исследуемого древесного вида, произрастающего на фоновом участке – 1,0 мг/кг.

Результаты анализа показали, что **никель** максимально аккумулируется в корне *Ulmus pumila* L. и коре, минимально – в листьях. Следует отметить, что превышение фоновых значений в небольших количествах прослеживается лишь в коре на участке № 2 в 1,3 раза и в корне на участке № 1 в 1,3 раза. Нормальное содержание никеля в растениях, по В.Б. Ильину (1991) – от 0,1 до 1,0 мг/кг, и оно превышено на всех пробных площадях, включая и фоновый участок. Критическая концентрация никеля в растениях – 20,0–30,0 мг/кг [2; 8; 26], и ее показатели не превышены ни на одном из участков.

Проведенный анализ результатов исследования позволяет нам судить о характере накопления тяжелых металлов в исследуемых органах *Ulmus pumila* L. Данный вид аккумулирует все исследуемые металлы в различных количествах, преимущественно накапливая в своих органах большие концентрации железа. В меньших количествах *Ulmus pumila* L. де-

понирует рубидий, медь, хром и никель. Количественное содержание железа, стронция, титана, цинка, меди, рубидия, хрома и никеля в органах *Ulmus pumila* L., произрастающего на участках с повышенным техногенным воздействием, превышает их фоновое содержание. Таким образом, повышенное содержание тяжелых металлов в окружающей среде исследуемых территорий, подверженных техногенному воздействию, приводит к значительному увеличению их концентрации в органах *Ulmus pumila* L., в большей мере в корне и коре.

Для выявления способности *Ulmus pumila* L. поглощать тяжелые металлы из почвы нами был рассчитан коэффициент биологического поглощения (КБП) как отношение содержания элементов в золе растений к их валовым содержаниям в почвах [27, с. 80–85]. По полученным данным установили, что железо, титан и рубидий являются элементами очень слабого захвата, стронций, цинк, медь, хром и никель – элементами слабого поглощения и среднего захвата, марганец – элементом слабого захвата [3].

Таким образом, можно отметить, что интенсивность поглощения тяжелых металлов изучаемым древесным видом не одинакова и происходит по барьерному типу, задерживая большое количество токсических элементов в корневой системе, что свидетельствует о способности корней удерживать поступающие из почвы в растение поллютанты [3]. *Ulmus pumila* L. можно отнести к виду-исключителю, т.к. тяжелые металлы им накапливаются в основном в корнях, а поступление элементов в побеги ограничивается даже при высокой их концентрации в окружающей среде.

Избыточное накопление тяжелых металлов исследуемым видом зависит от его месторасположения. С увеличением техногенной нагрузки концентрация железа, титана, цинка, рубидия в корне *Ulmus pumila* L. увеличивается в ряду г. Чита → пос. Новорольск → пос. Первомайский. Для того чтобы дать оценку способности исследуемого древесного вида извлекать тяжелые металлы из окружающей среды, подверженной техногенному воздействию территорий, нами была рассчитана доля каждого исследуемого металла в *Ulmus pumila* L. и представлены данные об их суммарном содержании в растениях, произрастающих на пробных площадях с разной техногенной нагрузкой (табл. 3).

Таблица 3 – Доля тяжелых металлов в *Ulmus pumila* L. и их суммарное содержание в растениях

Участки исследований	Доля тяжелых металлов, %									Суммарное содержание тяжелых металлов, мг/кг
	Fe	Sr	Mn	Ti	Zn	Rb	Cu	Cr	Ni	
№ 1	72,8	13,7	2,7	6,2	2,6	0,8	0,5	0,4	0,3	3193,8
№ 2	65,5	18,3	3,7	6,4	3,8	0,7	0,6	0,6	0,4	2380,1
№ 3	67,1	19,0	3,1	6,7	2,4	0,5	0,4	0,5	0,3	3741,7
Фоновый	52,8	22,5	12,3	5,6	4,2	0,6	0,8	0,6	0,6	1704,0

Из таблицы видно, что максимальная доля тяжелых металлов в *Ulmus pumila* L. приходится на железо – 72,8% и стронций – 22,5%. Доля марганца составляет – 12,3%, титана – 6,7%, цинка – 4,2%. Доля рубидия, меди, хрома и никеля не превышает 0,8%. Наиболее высокое суммарное содержание тяжелых

металлов отмечается у *Ulmus pumila* L. используемого в озеленении урбанизированных и техногенных территорий. Повышенное содержание тяжелых металлов на данных территориях связано с их значительным поступлением в окружающую среду за счет увеличения техногенной нагрузки.

Заключение

Проведенное исследование и расчеты суммарного содержания тяжелых металлов в *Ulmus pumila* L. свидетельствуют о том, что в условиях урбанизации и интенсивного техногенного воздействия исследуемый вид аккумулирует в своих органах более высокие концентрации тяжелых металлов. Наши исследования подтверждают мнения ученых о возможности использования древесных видов растений, в частности *Ulmus pumila* L., в качестве эффективного и естественного биофильтра, ограничивающего поступление различных токсикантов в окружающую среду техногенных территорий, сохраняя и улучшая при этом их экологическое состояние. Полученные результаты могут быть использованы природоохранными органами при создании и размещении новых населенных пунктов, санитарно-защитных зон промышленных предприятий, территорий для ведения сельского хозяйства, а также как справочные данные для организации и проведения мониторинговых исследований.

Данная работа не исчерпала всей глубины проблемы загрязнения окружающей среды Забайкальского края и возможных путей ее решения, что будет продолжено нами в следующих научных изысканиях.

Список литературы:

1. Водяницкий Ю.Н., Добровольский В.В. Железистые минералы и тяжелые металлы в почвах. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 1998. 216 с.
2. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва–растение. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 151 с.
3. Копылова Л.В. Накопление тяжелых металлов в древесных растениях на урбанизированных территориях Восточного Забайкалья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Улан-Удэ, 2012. 24 с.
4. Добровольский В.В. Биосферные циклы тяжелых металлов и регуляторная роль почвы // Почвоведение. 1997. № 3. С. 431–441.
5. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
6. Майстренко В.Н., Хамитов Р.З., Будников Г.К. Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов. М.: Химия, 1996. 312 с.
7. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Экология почв: учебное пособие для студентов вузов. Ч. 3. Загрязнение почв. Ростов-на-Дону: УПЛ РГУ, 2004. 54 с.
8. Прохорова Н.В., Матвеев Н.М., Павловский В.А. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Изд-во «Самарский университет», 1998. 131 с.
9. Черненко Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М.: Наука, 2002. 191 с.
10. Кулагин А.А., Шагиева А.Ю. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей. М.: Наука, 2005. 190 с.
11. Шергина О.В., Михайлова Т.А. Состояние древесных растений и почвенного покрова парковых Самарский научный вестник. 2018. Т. 7, № 4 (25)

и лесопарковых зон г. Иркутска. Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2007. 200 с.

12. Мязин В.П., Михайлютина С.И. Комплексная оценка техногенного загрязнения почв и продуктов питания тяжелыми металлами при размещении хвостохранилищ в Восточном Забайкалье // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2006. № 9. С. 164–170.
13. Красноборов И.М. Ulmaceae – Ильмовые, вязовые // Флора Сибири. Salicaceae – Amarantaceae – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. Т. 5. С. 72.
14. Линдеман Г.В. Естественный растущий вяз мелколистный. М.: Наука, 1981. 90 с.
15. Войтюк Е.А. Аккумуляция тяжелых металлов в почве и растениях в условиях городской среды (на примере г. Чита): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Улан-Удэ, 2011. 22 с.
16. Ефименко Е.А., Лескова О.А., Якимова Е.П. Роль растений в детоксикации тяжелых металлов в городской среде // Естественные и технические науки. 2008. № 5 (37). С. 59–64.
17. Красноперова Л.В., Ефименко Е.А., Лескова О.А., Якимова Е.П. Накопление тяжелых металлов древесными растениями г. Читы // Проблемы озеленения городов Сибири и сопредельных территорий: мат-лы междунар. науч. практ. конф. Чита, 2009. С. 64–67.
18. Алексеенко В.А. Геохимия ландшафта и окружающая среда. М.: Недра, 1990. 142 с.
19. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М.: Недра, 1965. 227 с.
20. 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. 109 с.
21. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. 85 с.
22. Юргенсон Г.А. Минеральное сырье Забайкалья. Ч. I. Книга 2. Редкие элементы. Чита: Поиск, 2008. 240 с.
23. Юргенсон Г.А. Минеральное сырье Забайкалья. Ч. I. Черные и цветные металлы. Чита: Поиск, 2006. 256 с.
24. Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Ниобиевые, танталовые руды и редкоземельные элементы. М., 2007. 42 с.
25. Алексеенко В.А., Алешукин Л.В., Беспалько Л.Е. Цинк и кадмий в окружающей среде. М.: Наука, 1992. 199 с.
26. Sauerbeck D. Welche Schwermetallgehalte in Pflanzen dürfen nicht überschritten werden, um Wachstumsbeeinträchtigungen zu vermeiden? // Landwirtschaftliche Forschung: Kongressband. 1982. S.-H.16. S. 59–72.
27. Ильин В.Б., Степанова М.Д. Защитные возможности системы почва–растения при загрязнении почв тяжелыми металлами // Тяжелые металлы в окружающей среде. М.: Из-во МГУ, 1986. С. 80–85.

ECOLOGICAL ROLE OF *ULMUS PUMILA* L. IN LIMITATION OF HEAVY METALS INPUT INTO THE ENVIRONMENT OF SOME ANTHROPOGENIC AREAS OF TRANS-BAIKAL TERRITORY

© 2018

Kopylova Lubov Viktorovna, candidate of biological sciences,
associate professor of Ecology, Ecological and Chemistry Education Department
Transbaikal State University (Chita, Russian Federation)

Abstract. The paper deals with the most negative pollution of the environment – heavy metal pollution. We describe the main sources of heavy metal input to soils, their form and character of distribution on the surface of land. The paper presents the research data on study of plants' capacity to accumulate different microelements including heavy metals. We study the Trans-Baikal Territory as the oldest mining territory which has been influenced by different anthropogenic factors. The urgency of this study is determined by the fact that it is important to reveal species capable of accumulating heavy metals in their organs and tissues for the purpose of improving and supporting the ecological balance of anthropogenic territories. We describe Siberian elm (*Ulmus pumila* L.), a tree species often used in urban lands greening. The research findings on determination of content and characteristic features of some heavy metals accumulation in *Ulmus pumila* L. organs (leaves, roots, bark) in anthropogenic conditions are discussed. We analyze the data on accumulation of heavy metals (Zn, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr, Sr, Rb, Ti) in soil of test sites and the studied organs of *Ulmus pumila* L. It has been determined that *Ulmus pumila* L. accumulates all heavy metals studied in different quantities, accumulating their high concentrations mainly in the root and bark. This species accumulates Fe, Sr, Mn, Ti, Zn most of all, it accumulates less quantities of Rb, Cu, Cr и Ni. Excessive accumulation of heavy metals by the studied species is associated with its location. Thus, we have determined the possible use of *Ulmus pumila* L. as a natural biofilter limiting the input of heavy metals into the anthropogenic territories environment.

Keywords: environmental pollution; chemical elements; heavy metals; accumulation; soil cover; clarke; maximum allowable concentration; anthropogenic territories; urban lands; anthropogenic impact; tree species; Siberian elm; *Ulmus pumila* L.; Trans-Baikal Territory.

УДК 582.31: 582.4: 582.293: 582.284

DOI 10.24411/2309-4370-2018-14111

Статья поступила в редакцию 03.07.2018

РАЗНООБРАЗИЕ РАСТЕНИЙ И ГРИБОВ КРАСНОЯРСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА В ОКРЕСТНОСТЯХ П. ЖАРЕНЬ БУГОР (КРАСНОЯРСКИЙ РАЙОН САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ)

© 2018

Кузовенко Оксана Анатольевна, кандидат биологических наук,
доцент кафедры экологии, ботаники и охраны природы

Корчиков Евгений Сергеевич, кандидат биологических наук,
доцент кафедры экологии, ботаники и охраны природы

Сочнева Елена Васильевна, студент биологического факультета

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва
(г. Самара, Российская Федерация)*

Аннотация. Проведённые исследования позволили выявить на территории Красноярского лесничества в окрестностях посёлка Жареный Бугор 298 видов сосудистых растений из 205 родов, 60 семейств, 5 классов и 4 отделов, а также 30 видов образующих лишайник и 6 видов не образующих лишайник грибов. Большинство видов сосудистых растений принадлежит отделу Spermatophyta (293 вида, 98,3%), незначительное количество представителей относится к отделам Equisetophyta (2 вида, 0,67%), Pteridophyta (2 вида, 0,67%) и Ophioglossophyta (1 вид, 0,33%). Систематическое разнообразие лесничества довольно высокое. Среднее число видов в семействе сосудистых растений составляет 4,96. По количеству видов лидирующее положение занимают 10 семейств, насчитывающие 187 видов (62,75% от общего числа видов). К ним относятся Asteraceae – 35 видов (11,74%), Poaceae – 26 (8,72%), Rosaceae – 23 (7,71%), Fabaceae – 20 (6,71%), Lamiaceae – 19 (6,37%), Ranunculaceae – 15 (5,03%), Scrophulariaceae – 14 (4,70%), Caryophyllaceae – 13 (4,36%), Brassicaceae – 12 (4,03%), Apiaceae – 10 (3,36%). На изучаемой территории отмечены включённые в Красную книгу Самарской области виды сосудистых растений *Adonanthe vernalis*, *A. volgensis*, *Cephalanthera rubra*, *Cypripedium calceolus*, *Fritillaria ruthenica*, *Helichrysum arenarium*, *Gladiolus tenuis*, *Ophioglossum vulgatum*, *Platanthera bifolia*, *Pulsatilla patens*, *Pyrola rotundifolia*, *Stipa pennata*, *Tulipa biebersteiniana*, а также образующие лишайник грибы *Cladonia arbuscula*, *Cladonia rangiferina* и не образующие лишайник грибы *Fistulina hepatica*, *Geastrum fimbriatum* и *Hericium coralloides*. К редким видам, исключённым из второго издания Красной книги Самарской области, относятся *Epipactis helleborine*, *Gentiana cruciata*, *Hypericum elegans*, *Lychnis chalconica*, *Myostis alpestris*, *Populus alba*.

Ключевые слова: сосудистые растения; покрытосеменные растения; папоротникообразные; хвощеобразные; уховниковые; лишайники; базидиомицеты; Красная книга; Самарская область; флора; памятник природы; Красноярский березняк; природный резерват; биоразнообразие; мониторинг редких видов; ведущие семейства.