

На правах рукописи

СЕМЕНОВА ВИКТОРИЯ ВАЛЕНТИНОВНА

**АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
ПРЕДСТАВИТЕЛЯМИ РОДА ТЫСЯЧЕЛИСТНИК (*ACHILLEA* L.)
В УСЛОВИЯХ ВЫСОТНОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ СЕВЕРО-
ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА**

03.02.08. - Экология (биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Нижний Новгород
2020

Работа выполнена в лаборатории почвенных и растительных ресурсов Прикаспийского института биологических ресурсов - обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории почвенных и растительных ресурсов Прикаспийского института биологических ресурсов - обособленного подразделения ФГБУН Дагестанского федерального исследовательского центра РАН (ПИБР ДФИЦ РАН)
Гасанов Гасан Никуевич

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, доцент, декан факультета естествознания, математики и информатики Нижнетагильского государственного социально-педагогического института (филиал) ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет» (г. Нижний Тагил)
Жуйкова Татьяна Валерьевна

доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры экологии, ботаники и охраны природы ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (г. Самара)
Прохорова Наталья Владимировна

Ведущая организация: Институт экологии Волжского бассейна Российской академии наук – филиал ФГБУН «Самарский федеральный исследовательский центр» РАН (г. Тольятти)

Защита диссертации состоится «___» _____ 2020 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 212.166.12 при Национальном исследовательском Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского по адресу: 603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23, корп. 1, ауд. 321, Институт биологии и биомедицины

Е-mail: dis212.166.12@gmail.com

Факс: (831) 462-30-85

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского по адресу: <https://diss.unn.ru/files/2020/1013/diss-Semenova-1013.pdf>, с авторефератом – в сети Интернет на сайте ВАК России по адресу: <http://vak.minobrnauki.gov.ru>

Автореферат разослан «___» _____ 2020 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, кандидат биологических наук



Н.И. Зазнобина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В условиях нарастающего ухудшения экологической ситуации все большее внимание привлекает проблема загрязнения биосферы тяжелыми металлами (ТМ). Среди загрязнителей биосферы, представляющих наибольший интерес для различных служб контроля ее качества, ТМ относятся к числу важнейших. В значительной мере это связано с биологической активностью многих из них. Газопылевые выбросы предприятий и автотранспорта создают мощные техногенные потоки токсичных веществ, в том числе ТМ на поверхность почв и растений, вызывая их загрязнение (Орлов и др., 1991; Плеханова, 2000, 2001). Тяжелые металлы быстро накапливаются в почве и очень долгое время из нее удаляются. Большую роль в очистке почв играют фиторемедиационные мероприятия, в которых задействованы дикорастущие растения (Меженский, 2004; Prasad, 2001). В связи с этим, важным становится вопрос о выявлении растений-аккумуляторов ТМ, которые могут быть использованы для фиторемедиации. Виды семейства сложноцветных являются толерантными к высокому содержанию ТМ в надземной массе (Безель, Жуйкова, 2007). Необходимо изучить аккумулялирующую способность видов тысячелистника и оценить возможность их использования для фиторемедиации загрязненных почв.

В литературе имеются сведения о содержании ТМ в пастбищных растениях Северо-Восточного Кавказа, в частности Дагестана, и о влиянии экологической среды на элементный состав растений (Салманов и др., 1982; Османова, Курамагомедов, 1982; Абдурахманов и др., 2009; Гиреев и др., 2012). Исследования по выявлению влияния высотной зональности на содержание ТМ в органах разных видов тысячелистника, по воздействию выбросов автотранспорта на растения ранее не проводились.

Одним из путей поступления ТМ в организм человека являются лекарственные растения (Клемпер и др., 1993; Гравель и др., 1994; Попов, 1993, 1995). В последнее время вопросы загрязнения лекарственных растений ТМ, поступающими во внешнюю среду от промышленных предприятий и автотранспорта, привлекают внимание многих специалистов. С этой точки зрения изучение данного вопроса очень актуально.

Высокое разнообразие природно-климатических условий делает Дагестан ценной моделью для проведения нашего исследования по изучению содержания ТМ в видах тысячелистника. Такое разнообразие условий является причиной частой встречаемости целого комплекса эндемических заболеваний человека и животных, связанных с недостатком или избытком жизненно важных химических элементов.

Целью работы является изучение накопления тяжелых металлов растениями *Achillea millefolium* L., *Achillea nobilis* L., *Achillea filipendulina* Lam., *Achillea biebersteinii* Afan. в условиях высотной зональности Северо-Восточного Кавказа.

Задачи работы: 1. Определить содержание Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Ni, Pb, Cd в почвах и растениях рода *Achillea* L. фоновых и загрязненных участков;

2. Исследовать содержание ТМ в органах представителей разных видов тысячелистника (*Achillea* L.) в условиях загрязнения выбросами автотранспорта;

3. Выявить влияние эдафического фактора на накопление тяжелых металлов в видах рода *Achillea* L. в условиях высотной зональности;

4. Установить связь между содержанием ТМ в растениях тысячелистника и почвах;

5. Дать экологическую оценку возможного использования видов тысячелистника для фиторемедиации почв, загрязненных ТМ.

Научная новизна и теоретическая значимость. Впервые проведено исследование содержания ТМ в видах тысячелистника: т. обыкновенного (*Achillea millefolium* L.), т. благородного (*Achillea nobilis* L.), т. таволгового (*Achillea filipendulina* Lam.), т. Биберштейна (*Achillea biebersteinii* Afan.) в разных эколого-эдафических условиях Республики Дагестан. Определено фоновое содержание ТМ в видах тысячелистника и почвах разных природных зон. Выявлено, что содержание Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Ni, Pb, Cd в органах тысячелистника зависит от вида растений. В результате статистического анализа установлено, что содержание ТМ в органах тысячелистника обыкновенного различается в зависимости от типа почв, пород, подвижности элементов в почвах, а также от загрязняющего воздействия выбросов автотранспорта. Исследована видовая специфика в накоплении ТМ, выявлены виды тысячелистника, аккумулирующие ТМ в повышенном количестве в надземной массе, и виды, устойчивые к избыточному накоплению ТМ.

Практическая значимость. Показана зависимость содержания ТМ в растениях тысячелистника от их концентрации в почве, а также влияние антропогенного фактора (выбросов автотранспорта) на накопление ТМ в растениях. Это даст возможность провести топографические исследования и паспортизацию мест заготовки сырья с указанием содержания потенциально опасных ТМ для человека, а также внести дополнения в инструкцию по заготовке лекарственных растений.

Результаты исследований позволяют рекомендовать определенные виды тысячелистника для фиторемедиационной очистки почв от загрязнения ТМ.

Соответствие паспорту научной специальности. Результаты проведенного исследования соответствуют шифру специальности 03.02.08 – экология, конкретно области исследования – факториальной экологии.

Основные положения, выносимые на защиту:

1) Содержание Cu, Pb, Cd в почвах Дагестана превышает кларковые уровни, что обусловлено обогащением почвообразующих пород этими элементами. В условиях загрязнения валовое содержание Zn, Pb, Cd превышено по сравнению с фоном;

2) На фоновых участках низменной зоны Pb накапливается у *Achillea millefolium* – в корнях, при загрязнении – в соцветиях, у *Achillea nobilis*, *Achillea filipendulina*, *Achillea biebersteinii* на фоновых и антропогенно нарушенных участках максимальное количество Pb накапливается в листьях. Содержание ТМ в растениях *Achillea millefolium*, произрастающих в разных природных зонах, различается в зависимости от почвенно-климатических условий;

3) Связь между содержанием подвижных форм ТМ в почве и растениях различается в зависимости от вида тысячелистника. Эта связь выявлена для *Achillea filipendulina*, но не для *Achillea millefolium*;

4) При сравнении видовой специфики накопления ТМ в условиях загрязнения выявлено, что *Achillea filipendulina* является аккумулятором Fe, Cu, Ni, Pb, Cd. *Achillea millefolium* оказался наиболее устойчивым к загрязнению Fe, Mn, Zn, Cu, *Achillea biebersteinii* - к Ni, Pb, *Achillea nobilis* - к Cd.

Личный вклад. Лабораторные и аналитические исследования проведены лично автором, а полевые сборы совместно с научным руководителем с 2008 по 2015 гг.

Апробация работы. Материалы исследования доложены и обсуждены на XVI и XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (Москва, 2009, 2010), Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2009» (Мурманск, 2009), VII Международной научной конференции «Устойчивое развитие горных территорий в условиях глобальных

изменений» (Владикавказ, 2010), Международной научной конференции «Актуальные проблемы обеспечения продовольственной безопасности юга России: инновационные технологии для сохранения биоресурсов, плодородия почв, мелиорации и водообеспечения» (Ростов-на-Дону, 2011), Международной молодежной конференции «Биокаталитические технологии и технологии возобновляемых ресурсов в интересах рационального природопользования» (Кемерово, 2012), XIV и XIX Международной научной конференции «Биологическое разнообразие Кавказа и Юга России» (Махачкала, 2012, 2017), IV Международной научной конференции «Современные проблемы загрязнения почв» (Москва, 2013), Всероссийской научно-практической конференции «Почвы аридных территорий и проблемы охраны их биологического разнообразия» (Махачкала, 2014), Международной научной конференции «Роль почв в биосфере и жизни человека» (Москва, 2015), Всероссийской научно-практической конференции «Почвенные ресурсы основа создания продовольственной безопасности» (Махачкала, 2015).

Публикации. По материалам диссертации опубликована 21 печатная работа, в том числе 7 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Благодарности. Автор выражает благодарность за оказанную помощь при работе над диссертацией своему научному руководителю д.с.-х.н., профессору Гасанову Г.Н.. Автор выражает огромную признательность д.с.-х.н., профессору З.Г. Магомедалиеву за оказанное внимание, поддержку и неоценимую помощь в работе. Автор благодарит за ценные рекомендации главного научного сотрудника лаборатории региональной геологии и твердого минерального сырья института геологии ДФИЦ РАН, д.б.н., профессора З.Г. Залибекова.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, выводов, списка литературы и приложения. Общий объем диссертации 141 страница, включает 21 таблицу, 16 рисунков. В библиографии 266 источников, из них 29 иностранные.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

В главе представлен обзор литературных данных, посвященный описанию физиологической роли ТМ в растениях, содержанию ТМ в лекарственных растениях. Обсуждена взаимосвязь содержания ТМ в почвах и растениях. Приведена оценка степени влияния антропогенного фактора на содержание ТМ в почвах и растениях.

ГЛАВА 2. ПРИРОДНО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ДАГЕСТАНА

В главе описаны природно-географические условия республики Дагестан. Приведены сведения о климате, рельефе, гидрологии, породах, почвах, растительности Дагестана.

ГЛАВА 3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В главе описаны объекты исследования. Приведены исследуемые типы почв (каштановые, лугово-каштановые, светло-каштановые, луговые, горно-луговые, горно-каштановые, коричневые, горно-луговые дерновые), биологические особенности видов тысячелистника, их систематическое положение, ботаническое описание.

ГЛАВА 4. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1. Методы отбора растительных и почвенных проб

Материалом исследований являются 4 вида тысячелистника: тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), тысячелистник благородный (*A. nobilis* L.), тысячелистник таволговый (*A. filipendulina* Lam.), тысячелистник Биберштейна (*A. biebersteinii* Afan.). Растения собирали в разных районах Дагестана в 2008 – 2015 гг. в период цветения растений (июнь-июль) согласно общепринятой методике (Правила..., 1985; Кортиков, 2002). Объекты исследования были отобраны в районах Терско-Сулакской и Приморской низменности, Предгорной, Горной зон Дагестана (рис. 1). В каждом пункте, где отдельные виды образуют заросли, закладывали учетные площадки в 10-кратной повторности, где отбирали 5-10 модельных экземпляров и выкапывали. Собранные образцы растений разделяли на подземную и надземную части и высушивали до воздушно-сухого состояния. Всего отобрано и подвергнуто химическому анализу на тяжелые металлы 506 растительных образцов (табл. 1).

Пробы почвы в местах массового произрастания растений брали из зоны расположения корневой системы (0-20 см). Подготовка проб выполнена в соответствии с ГОСТ 174.3.01-83 – «Общие требования к отбору проб». Всего отобрано и подвергнуто химическому анализу на тяжелые металлы 105 почвенных проб (табл. 1).

Образцы растений и почв отбирали на территориях, расположенных вдали от дороги, на расстоянии 250-300 м от дороги, также отбирали растения и почвы на расстоянии 5, 10, 50, 70 м от дороги.

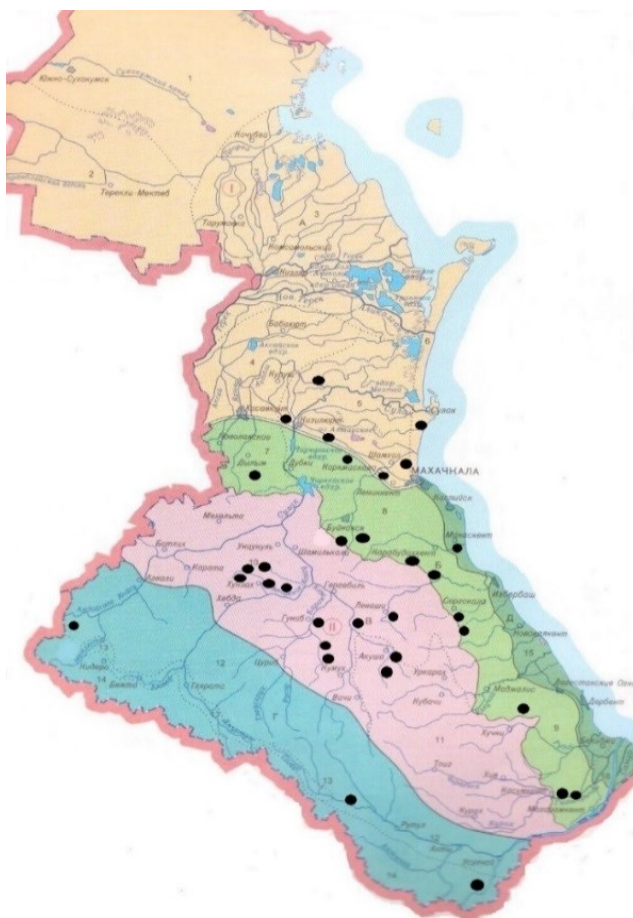


Рис. 1. Карта Республики Дагестан с обозначением мест отбора почвенных и растительных образцов

Таблица 1. Исследуемые пробы почв и растений тысячелистника (*Achillea* L.)

Пробы	Фоновые (незагрязненные)	Антропогенно нарушенные
Низменная зона		
Почвы	n = 15	n = 20
<i>Achillea millefolium</i>	n = 20	n = 50
<i>Achillea filipendulina</i>	n = 10	n = 10
<i>Achillea nobilis</i>	n = 20	n = 30
<i>Achillea biebersteinii</i>	n = 20	n = 30
Предгорная зона		
Почвы	n = 15	n = 12
<i>Achillea millefolium</i>	n = 10	n = 36
<i>Achillea filipendulina</i>	n = 30	n = 20
<i>Achillea nobilis</i>	n = 10	n = 28
Среднегорная зона		
Почвы	n = 15	n = 22
<i>Achillea millefolium</i>	n = 60	n = 102
Высокогорная зона		
Почвы	n = 6	
<i>Achillea millefolium</i>	n = 20	

Примечание: n – количество проб

4.2. Методы анализа почв и растений

Валовое содержание элементов в почвах определялось по методу К.В. Веригиной (1977). Метод основан на сжигании органических веществ прокаливанием и последующем разложении плавиковой кислотой в присутствии серной кислоты.

Для определения содержания кислоторастворимых форм элементов почвенные пробы обрабатывали 1 М раствором соляной кислоты при соотношении 1:10 (Научно-производственное..., 2004).

Подвижные формы элементов извлекали ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH = 4,8, по методу Крупского и Александровой (Практикум по агрохимии, 2001). Содержание Zn, Cu, Ni, Pb, Cd в вытяжках определяли на полярографе ПУ-1 в переменном-токовом режиме: для меди U = 250 мВ, для никеля U = 950 мВ, для цинка U = 1100 мВ, для свинца U = 450 мВ, для кадмия U = 650 мВ. Содержание Fe, Mn, Co в вытяжках определяли фотометрическим методом (РД 52.18.191-90, ОСТ 10-221-98). Железо в почвенных образцах определяли орто-фенантролиновым методом, марганец определяли перйодатным методом, кобальт определяли с использованием нитрозо - R – соли (Самохвалов и др., 1973). Измерение оптической плотности проводилось на КФК-2.

Определение содержания гумуса в почвах проводили по методу Тюрина в модификации ЦИНАО - ГОСТ 26213-91, pH водной вытяжки почв определяли потенциометрическим методом.

Пробы растений озоляли методом сухой минерализации (ГОСТ 26929-86) при температуре 500°C в течение 4 часов. Зола растворяли в растворе 20% HCl (Разумов, 1986). Полученный раствор переносили в мерную колбу на 50 мл. Доводили раствор в колбе до метки бидистиллированной водой. В полученном растворе определяли содержание элементов. Железо, марганец, кобальт в растительных образцах определяли фотометрическим методом (Самохвалов и др., 1973), Zn, Cu, Ni, Pb, Cd - на полярографе ПУ-1.

Оценку степени накопления элементов растениями проводили на основе коэффициента биологического поглощения (КБП), рассчитываемого как отношение содержания металла в надземной и подземной части растения (мг/кг сухой массы) к общему содержанию элемента в почве, а также коэффициента биогеохимической

подвижности (B_x), представленного отношением содержания элемента в растении к содержанию его кислоторастворимых и подвижных форм в почве (B_x 1, B_x 2) (Перельман, 1975).

Все анализы проводили в 2 повторностях. Статистическую обработку данных проводили с использованием программы «Microsoft Excel - 2007», Statistica 8.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

ГЛАВА 5. НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВИДАХ РОДА *ACHILLEA* L.

5.1. Фоновые содержания тяжелых металлов в почвах Республики Дагестан

Для изучения поглощения ТМ растениями тысячелистника определяли содержание ТМ в почвах разных районов Республики Дагестан. В анализируемых образцах почвы содержание некоторых ТМ превышало кларковые уровни, приводимые А.П. Виноградовым (1957). В почвах низменной зоны Дагестана валовое содержание Fe, Mn, Zn, Ni, Co ниже их кларков в 1,4-4,4 раза. Содержание Cu, Pb, Cd в почвах низменной зоны Дагестана выше кларка в 1,5-2 раза. В почвах предгорной зоны Дагестана содержание Fe, Mn, Cu, Co, Ni ниже их кларков в 1,5-5,3 раза, Zn близко к кларку, Pb, Cd выше кларка в 1,6-1,8 раз. В почвах среднегорной зоны Дагестана содержание Fe, Mn, Zn, Co, Ni ниже их кларков в 1,5-10 раз, концентрация Cu, Pb, Cd выше кларка в 1,2-1,8 раз. В почвах высокогорной зоны Дагестана содержание Mn, Zn, Co, Ni ниже их кларков в 1,6-5,3 раза, концентрация Cu, Pb, Cd выше кларка в 1,4-2,7 раз.

По кларкам концентраций (Кк) и рассеяния элементов были построены геохимические спектры (рис. 2), которые показывают, что почвы низменной, предгорной, среднегорной зон обогащены Pb, Cd, а почвы высокогорной зоны - Cu, Pb, Cd, и относительно обеднены Fe, Mn, Zn, Co, Ni. Ковальский В.В., Андрианова В.А. (1970), Рубилин Е.В. (1968) отмечают повышенное содержание в почвах Северного Кавказа Zn, Cu, Pb. Они объясняют это повышенным содержанием этих элементов в горных породах, принявших участие в формировании почвообразующих пород, а также распространением среди последних медноколчеданных и полиметаллических месторождений.

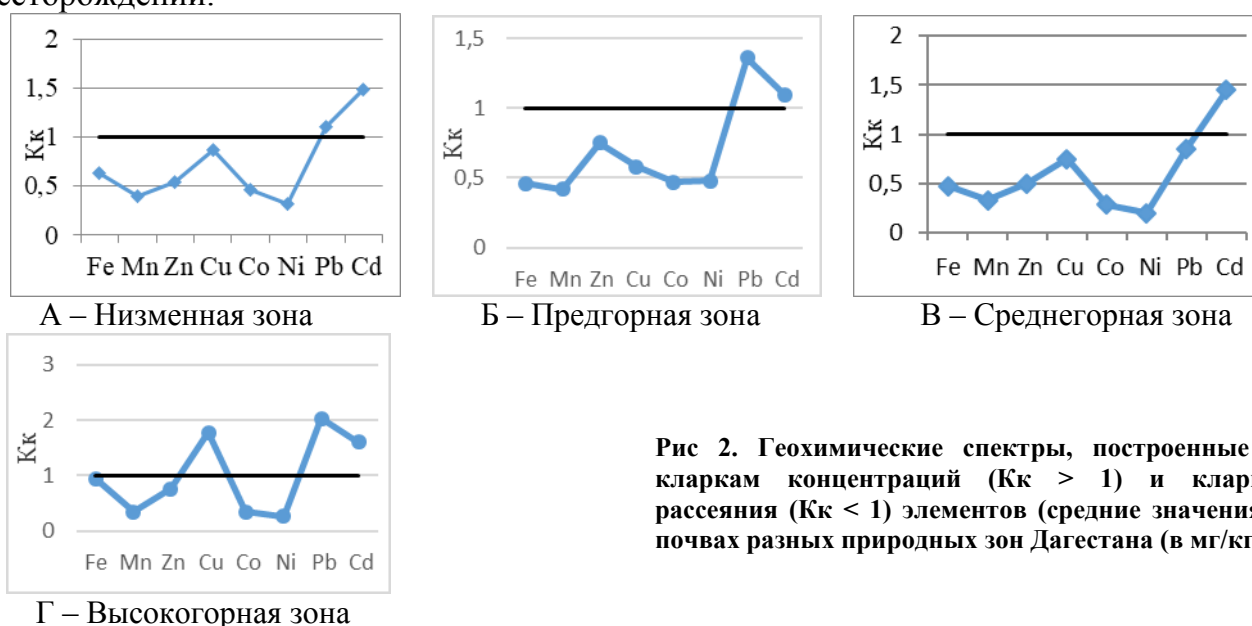


Рис 2. Геохимические спектры, построенные по кларкам концентраций ($K_k > 1$) и кларкам рассеяния ($K_k < 1$) элементов (средние значения) в почвах разных природных зон Дагестана (в мг/кг)

Критерий Шапиро-Уилка не выявил отклонений от нормального распределения для валового содержания ТМ в почвах.

Среднее валовое содержание тяжелых металлов в исследуемых типах почв представлено в табл. 2.

Таблица 2. Среднее валовое содержание тяжелых металлов в основных типах почв природных зон Дагестана, мг/кг (среднее за 2008-2015 гг.)

Тип почвы	Число проб	Fe	Mn	Zn	Cu	Co	Ni	Pb	Cd
Низменная зона									
Каштановая на глинах	6	21250	310,5	22,5	13,0	3,3	12,7	9,5	1,1
Лугово-каштановая на галечниках, песках	6	25750	410,0	35,0	10,7	4,6	13,0	14,0	0,6
Лугово-каштановая на глинах	3	26500	400,0	22,0	40,0	2,5	9,0	8,0	0,3
Предгорная зона									
Горно-каштановая на известняках	3	10800	430,0	26,0	5,0	3,0	9,5	9,0	0,4
Горно-луговая на глинах	12	19350	343,7	38,0	12,7	3,9	20,1	14,7	0,6
Среднегорная зона									
Горно-луговая на глинах	6	17200	160,0	28,0	14,0	1,9	11,2	13,0	0,5
Горно-луговая на известняках	6	18950	405,0	24,5	19,5	2,3	6,0	6,5	0,89
Горно-луговая на песчаниках	3	21300	280,0	26,0	11,0	3,0	8,6	7,7	0,9
Высокогорная зона									
Горно-луговая на сланцах	3	35200	340,0	45,0	52,0	4,0	10,0	13,6	0,6
Горно-луговая типичная на песчаниках с прослоями сланцев	3	36500	250,0	31,0	19,0	1,5	11,0	27,0	1,0
Кларк по Виноградову (1957)		38000	850	50	20	8	40	10	0,5

Максимальное валовое содержание в почвах Дагестана наблюдалось для Fe и Mn, потом следовали (в порядке уменьшения) Zn, Cu, Ni, Pb, замыкали ряд Co и Cd.

Для выяснения, какие элементы накапливаются в почвах, мы сравнивали содержание элементов в пробах каждого типа почв с их кларками с применением критерия Стьюдента. В лугово-каштановой почве на глинах ($t = 21,92$, $p = 0,002$), горно-луговой почве на сланцах ($t = 27,71$, $p = 0,001$) накапливается Cu (табл. 2). В лугово-каштановой почве на галечниках, песках ($t = 7,05$, $p = 0,001$), горно-луговой почве на глинах ($t = 4,89$; $t = 7,8$, $p = 0,0004$), горно-луговой типичной почве на песчаниках ($t = 14,7$, $p = 0,004$) и горно-луговой почве на сланцах ($t = 17,5$, $p = 0,003$) накапливается Pb. В каштановой почве на глинах ($t = 10,78$, $p = 0,0001$), лугово-каштановой почве на галечниках, песках ($t = 2,65$, $p = 0,04$), горно-луговой почве на известняках ($t = 9,1$, $p = 0,0002$), горно-луговой почве на песчаниках ($t = 6,93$, $p = 0,02$), горно-луговой типичной почве на песчаниках ($t = 8,66$, $p = 0,01$) накапливается Cd.

Большие колебания содержания микроэлементов в почвах Дагестана обусловлены, прежде всего, многообразием почвообразующих пород, на которых они развиты. Так, например, содержание Fe в горно-луговой почве на сланцах почти в 2 раза превышает его содержание в горно-луговой почве, развитой на известняках, а Cu в 3 раза (табл. 2).

5.2. Воздействие антропогенного фактора (выбросов автотранспорта) на накопление тяжелых металлов в исследуемых почвах и растениях

Валовое содержание Mn, Zn, Cu, Ni, Pb в почвах не было выше ориентировочно допустимой концентрации (ОДК по ГН 2.1.7.2511-09), за исключением Cd, содержание которого превысило ОДК в 1,3-3,2 раза (18 %). Содержание подвижных форм превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК по ГН 2.1.7.2041-06) по Mn в 1,4-2,8 раза (52 %).

По кобальту превышение максимально допустимого уровня (МДУ) в органах растений отмечено для 14 проб (5 %), по никелю – для 54 проб (21 %), по цинку - для 2 проб (0,8 %), по свинцу – для 4 проб (1,6 %), по кадмию для 28 проб (11 %). *Achillea millefolium* интенсивно концентрирует Ni (в 1,4-10 раз), Pb (в 7 раз), Cd (в 1,5-2,7 раз), Co (в 1,4-6,8 раз), *Achillea nobilis* – Zn (в 1,5 раза), Ni (в 1,5-5 раз), Cd (в 1,4-2,6 раз), Co (в 2-3,6 раз), *Achillea filipendulina* – Pb (в 5 раз), *Achillea biebersteinii* – Cd (в 1,4 раз), в количествах, превышающих МДУ.

В наземной массе растений тысячелистника таволгового антропогенно нарушенного участка на расстоянии 5 м от трассы Махачкала-Манас (10000 авт./сутки) содержание Pb составляет 9,0 мг/кг, что превышает фон в 30 раз ($t = 142,8$, $p = 0,00005$), а МДУ в 1,8 раз ($t = 66$, $p = 0,009$), содержание свинца в листьях составляет 26,0 мг/кг, что превышает МДУ в 4,3 раза (табл. 5, 6). При небольшом количестве свинца в почве 3,4 мг/кг, в листьях аккумулируются очень большие концентрации свинца, что свидетельствует о поглощении листьями токсического металла из воздуха.

Таблица 3. Содержание элементов в почвах природных зон Дагестана, мг/кг

Район, населенный пункт	Fe	Mn	Zn	Cu	Co	Ni	Pb	Cd
Низменная зона								
Лугово-каштановая карбонатная тяжелосуглинистая								
Карабудах-кентский, с. Манаскент	26500/ 1050 (4,3)	400,0/ 250 (100,0)	22,0/ 8,0 (0,70)	40,0/ 10,0 (0,70)	2,50/ 1,20 (0,10)	9,0/ 1,50 (0,20)	8,0/ 3,0 (0,30)	0,30/ 0,10 (0,01)
Каштановая карбонатная среднесуглинистая								
Карабудах-кентский, с. Манаскент	16900/ 1088 (4,20)	201,0/ 100 (76,0)	15,0/ 12,0 (0,62)	15,0/ 2,1 (0,46)	2,60/ 0,23 (0,18)	9,4/ 2,9 (0,19)	10,0/ 5,5 (0,18)	1,00/ 0,05 (0,01)
Кумторкалинский, с. Коркмаскала	25600/ 1700 (9,0)	420,0/ 260,0 (98,0)	30,0/ 8,70 (0,75)	11,0/ 3,40 (0,90)	4,10/ 0,96 (0,85)	16,0/ 2,50 (0,10)	9,0/ 5,0 (0,12)	1,10/ 0,12 (0,02)
Предгорная зона								
Горно-луговая карбонатная среднесуглинистая								
Буйнакский, с. Эрпели	20000/ 1468 (12,0)	370,0/ 260,0 (250,0)	55,0/ 13,0 (0,50)	9,50/ 4,70 (0,40)	3,30/ 1,0 (0,30)	42,0/ 2,30 (0,80)	11,0/ 4,10 (0,30)	0,60/ 0,20 (0,02)
Среднегорная зона								
Горно-луговая карбонатная среднесуглинистая								
Хунзахский, с. Батлаич	20400/ 1759,0 (8,50)	570,0/ 300,0 (130,0)	24,0/ 7,0 (0,42)	15,0/ 6,50 (0,25)	2,80/ 2,40 (0,35)	4,0/ 1,50 (0,08)	7,0/ 4,50 (0,60)	0,80/ 0,50 (0,01)

Примечание к табл. 3, 4. В числителе – валовое содержание, в знаменателе – кислоторастворимые формы элементов, в скобках – подвижные формы элементов. Полужирным шрифтом выделены превышения ПДК.

Таблица 4. Содержание элементов в антропогенно нарушенных почвах, мг/кг

Район, населенный пункт	Расстояние от дороги, м	Fe	Mn	Zn	Cu	Co	Ni	Pb	Cd
Низменная зона									
Светло-каштановая карбонатная легкосуглинистая									
Карабудахкентский. Трасса Махачкала-Манас	5	15900/ 820 (0,80)	190,0/ 130,0 (51,0)	13,0/ 7,10 (0,31)	13,0/ 0,80 (0,14)	3,0/ 0,25 (0,08)	9,5/ 3,66 (0,03)	15,0/ 3,40 (0,19)	1,0/ 0,03 (0,01)
Лугово-каштановая карбонатная тяжелосуглинистая									
Карабудахкентский, с. Манаскент	10	38300/ 1090 (4,50)	440,0/ 315,0 (140,0)	22,0/ 12,0 (0,71)	60,0/ 11,0 (0,67)	2,80/ 1,90 (0,15)	10,0/ 1,90 (0,23)	10,0/ 7,50 (2,40)	0,60/ 0,39 (0,01)
Каштановая карбонатная среднесуглинистая									
Кумторкалинский, с. Учкент	10	26700/ 1920 (3,80)	480,0/ 340,0 (113,0)	27,0/ 25,0 (0,17)	22,0/ 6,0 (0,11)	3,0/ 1,90 (0,08)	15,0/ 2,50 (0,16)	29,0/ 27,0 (4,20)	0,90/ 0,43 (0,04)
Предгорная зона									
Горно-луговая карбонатная среднесуглинистая									
Буйнакский, турбаза Терменлик	5	25500/ 3220 (46,0)	740,0/ 560,0 (280,0)	73,0/ 20,0 (0,94)	11,5/ 10,0 (1,20)	3,8/ 2,50 (0,55)	67,0/ 2,50 (1,13)	11,9/ 11,2 (2,3)	1,60/ 1,0 (0,01)
Среднегорная зона									
Горно-луговая карбонатная среднесуглинистая									
Хунзахский, с. Батлаич	5	25500/ 1806,0 (8,80)	530,0/ 400,0 (140,0)	25,0/ 8,50 (0,60)	14,0/ 5,60 (0,35)	1,50/ 1,26 (0,38)	3,80/ 1,90 (0,09)	9,80/ 7,70 (0,80)	1,0/ 0,70 (0,01)
ОДК валового содержания элементов по ГН 2.1.7.2511-09		-	1500,0	220,0	132,0	-	80,0	130,0	2,0
ПДК подвижных форм элементов в почве по ГН 2.1.7.2041-06		-	100,0	23,0	3,00	5,0	4,0	6,0	-

Лугово-каштановая почва нарушенного участка Карабудахкентского района с. Манаскент содержит повышенные количества по сравнению фоном подвижного Pb в 8 раз ($t = 14,8$, $p = 0,004$), кислоторастворимых форм Pb в 2,5 раз ($t = 4,47$, $p = 0,04$) и Cd в 4 раза ($t = 10,21$, $p = 0,009$) (табл. 3, 4). В надземной массе тысячелистника обыкновенного повышено количество Pb в 3 раза ($t = 39,59$, $p = 0,0006$) (табл. 5, 6).

Каштановые почвы на глинах антропогенно нарушенного участка Кумторкалинского района с. Учкент (8000 авт./сутки) содержат повышенные концентрации по сравнению с участком с. Коркмаскала подвижных форм Pb – в 35 раз ($t = 40,8$, $p = 0,01$) (табл. 3, 4). В тысячелистнике благородном повышено по сравнению с фоном содержание Pb в надземной массе в 8 раз ($t = 20,2$, $p = 0,03$), Cd – в 3,8 раз ($t = 14$, $p = 0,04$), Ni – в 3 раза ($t = 42$, $p = 0,01$) (табл. 5, 6). В тысячелистнике Биберштейна повышено по сравнению с фоном содержание Pb в надземной массе в 1,6 раз ($t = 29$, $p = 0,02$), Cd – в 5,5 раз ($t = 18$, $p = 0,03$) (табл. 5, 6). Выявлено превышение МДУ Co в надземной массе растений тысячелистника благородного, отобранных в с. Учкент на расстоянии 10 м от дороги, в 1,3 раза ($t = 31$, $p = 0,02$).

В горно-луговых почвах на глинах загрязненного участка Буйнакского района (турбаза Терменлик, 600 авт./сутки) повышено по сравнению с фоновым участком (с. Эрпели) содержание подвижных форм Pb в 7,6 раз ($t = 20$, $p = 0,03$) (табл. 3, 4). В

надземной массе тысячелистника обыкновенного повышено содержание Pb в 1,4 раза ($t = 14$, $p = 0,04$), Ni - в 1,6 раз ($t = 175$, $p = 0,004$), Cd в надземной массе – в 7 раз ($t = 46$, $p = 0,01$) (табл. 5, 6). Превышение МДУ наблюдаются в надземной массе для Ni в 1,5 раза ($t = 158$, $p = 0,004$), в подземной массе для Cd в 2,6 раза ($t = 8,66$, $p = 0,003$).

В горно-луговых почвах антропогенно нарушенного участка с. Батлаич Хунзахского района превышено содержание кислоторастворимых форм Pb в 1,7 раз ($t = 32$, $p = 0,01$). В растениях тысячелистника обыкновенного, отобранных в с. Батлаич на расстоянии 5 м от дороги, отмечено содержание свинца в листьях растений равное 6 мг/кг, в среднем в надземной массе - 2,2 мг/кг, что превышает фон в 4 раза ($t = 16,6$, $p = 0,03$) (табл. 5, 6).

Таблица 5. Содержание элементов в разных видах тысячелистника природных зон Дагестана, мг/кг сухого вещества

Вид растения. Район, населенный пункт	Fe	Mn	Zn	Cu	Co	Ni	Pb	Cd
Низменная зона								
Тысячелистник обыкновенный.	<u>197</u>	<u>30,0</u>	<u>4,50</u>	<u>2,50</u>	<u>0,24</u>	<u>1,03</u>	<u>0,26</u>	<u>0,06</u>
Карабудахкентский, с. Манаскент	235	47	5,6	3,20	0,50	1,80	0,50	0,03
Тысячелистник таволговый.	<u>416</u>	<u>24,3</u>	<u>9,50</u>	<u>4,85</u>	<u>0,01</u>	<u>1,75</u>	<u>0,27</u>	<u>0,12</u>
Карабудахкентский, с. Манаскент	438	13,0	12,6	2,80	0,01	1,3	0,40	0,10
Тысячелистник благородный.	<u>530</u>	<u>25,5</u>	<u>3,80</u>	<u>0,73</u>	<u>0,40</u>	<u>0,19</u>	<u>0,28</u>	<u>0,05</u>
Кумторкалинский, с. Коркмаскала	1050	42,0	5,8	1,60	0,50	0,10	0,44	0,06
Тысячелистник Биберштейна.	<u>306</u>	<u>70,0</u>	<u>3,80</u>	<u>0,85</u>	<u>0,17</u>	<u>0,52</u>	<u>0,45</u>	<u>0,04</u>
Кумторкалинский, с. Коркмаскала	1068	92	4,8	2,80	0,24	0,45	0,86	0,04
Предгорная зона								
Тысячелистник обыкновенный.	<u>366</u>	<u>21,50</u>	<u>4,90</u>	<u>4,30</u>	<u>0,50</u>	<u>2,83</u>	<u>0,35</u>	<u>0,07</u>
Буйнакский, с. Эрпели	450	20,0	7,3	5,10	0,60	2,50	0,30	0,09
Среднегорная зона								
Тысячелистник обыкновенный.	<u>443</u>	<u>37,30</u>	<u>8,30</u>	<u>2,93</u>	<u>0,37</u>	<u>2,0</u>	<u>0,54</u>	<u>0,02</u>
Хунзахский, с. Батлаич	1120	31	11,0	5,2	0,38	2,0	1,10	0,06

Примечание к табл. 5, 6. В числителе – надземная масса, в знаменателе – подземная масса. Полужирным шрифтом выделены превышения максимально допустимого уровня (МДУ), мг/кг.

Таблица 6. Содержание элементов в разных видах тысячелистника антропогенно нарушенных ландшафтов Дагестана, мг/кг сухого вещества

Вид растения. Район, населенный пункт	Расстояние от дороги, м	Fe	Mn	Zn	Cu	Co	Ni	Pb	Cd
Низменная зона									
Тысячелистник обыкновенный.	10	<u>206</u>	<u>33,0</u>	<u>4,70</u>	<u>4,86</u>	<u>0,34</u>	<u>2,38</u>	<u>0,82</u>	<u>0,08</u>
Карабудахкентский, с. Манаскент		236	53,0	5,9	6,20	0,63	8,0	0,43	0,05
Тысячелистник таволговый.	5	<u>420</u>	<u>25,60</u>	<u>10,30</u>	<u>4,03</u>	<u>0,02</u>	<u>1,60</u>	<u>9,01</u>	<u>0,14</u>
Карабудахкентский. Трасса Махачкала-Манас		440	15,0	12,9	2,40	0,01	1,5	0,63	0,11
Тысячелистник благородный.	10	<u>1956</u>	<u>120,6</u>	<u>4,10</u>	<u>0,80</u>	<u>1,31</u>	<u>0,61</u>	<u>2,30</u>	<u>0,19</u>
Кумторкалинский, с. Учкент		1070	110,0	6,0	2,65	0,25	0,35	1,20	0,08
Тысячелистник Биберштейна.	10	<u>653</u>	<u>91,0</u>	<u>8,40</u>	<u>1,34</u>	<u>0,66</u>	<u>0,53</u>	<u>0,74</u>	<u>0,22</u>
Кумторкалинский, с. Учкент		702	82,0	7,3	2,10	0,64	0,18	1,10	0,07
Предгорная зона									
Тысячелистник обыкновенный.	5	<u>440</u>	<u>33,60</u>	<u>5,53</u>	<u>4,63</u>	<u>0,71</u>	<u>4,58</u>	<u>0,49</u>	<u>0,53</u>
Буйнакский, турбаза Терменлик		490	27,0	10,0	5,5	0,75	2,70	0,20	0,80
Среднегорная зона									
Тысячелистник обыкновенный.	5	<u>292</u>	<u>18,0</u>	<u>8,70</u>	<u>1,30</u>	<u>0,01</u>	<u>1,2</u>	<u>2,20</u>	<u>0,05</u>
Хунзахский, с. Батлаич		240	2,0	12,5	6,1	0,01	0,8	0,24	0,03
МДУ для кормовых трав (Санитарные..., 2002)		-	-	50,0	30	1,0	3,0	5,0	0,3

Исходя из вышесказанного, можно заключить, что транспортные магистрали оказывают негативное влияние на накопление тяжелых металлов в почвах и представителях разных видов тысячелистника.

5.3. Накопление и распределение тяжелых металлов в органах разных представителей рода *Achillea* L.

Химический состав растений и распределение элементов в органах определяется физиологическими особенностями видов растений. Различные части растения имеют разный микроэлементный состав (Зырин и др., 1976; Церлинг, 1980; Ильин, 1991).

Исследованиями установлено, что у всех видов тысячелистника низменной зоны Дагестана, произрастающих на фоновых участках (рис. 3), максимальное количество Fe, Mn накапливается в листьях, Cu – в корнях у тысячелистника обыкновенного, тысячелистника благородного, тысячелистника Биберштейна. Тысячелистник обыкновенный накапливает наибольшие концентрации Zn, Ni, Pb – в корнях, Co – в листьях, Cd – в соцветиях. Тысячелистник благородный аккумулирует максимальное содержание Zn, Ni, Pb, Cd – в листьях, Co – в корнях. Тысячелистник таволговый аккумулирует максимальные концентрации Zn – в соцветиях, Cu, Co, Ni, Pb, Cd – в листьях. Тысячелистник Биберштейна содержит наибольшие концентрации Zn, Co, Pb, Cd – в листьях, Ni – в соцветиях. Накопление элементов в органах разных видов тысячелистника согласуется с литературными данными (Башмаков, 2002; Бускунова, 2009; Кашин, 2010).

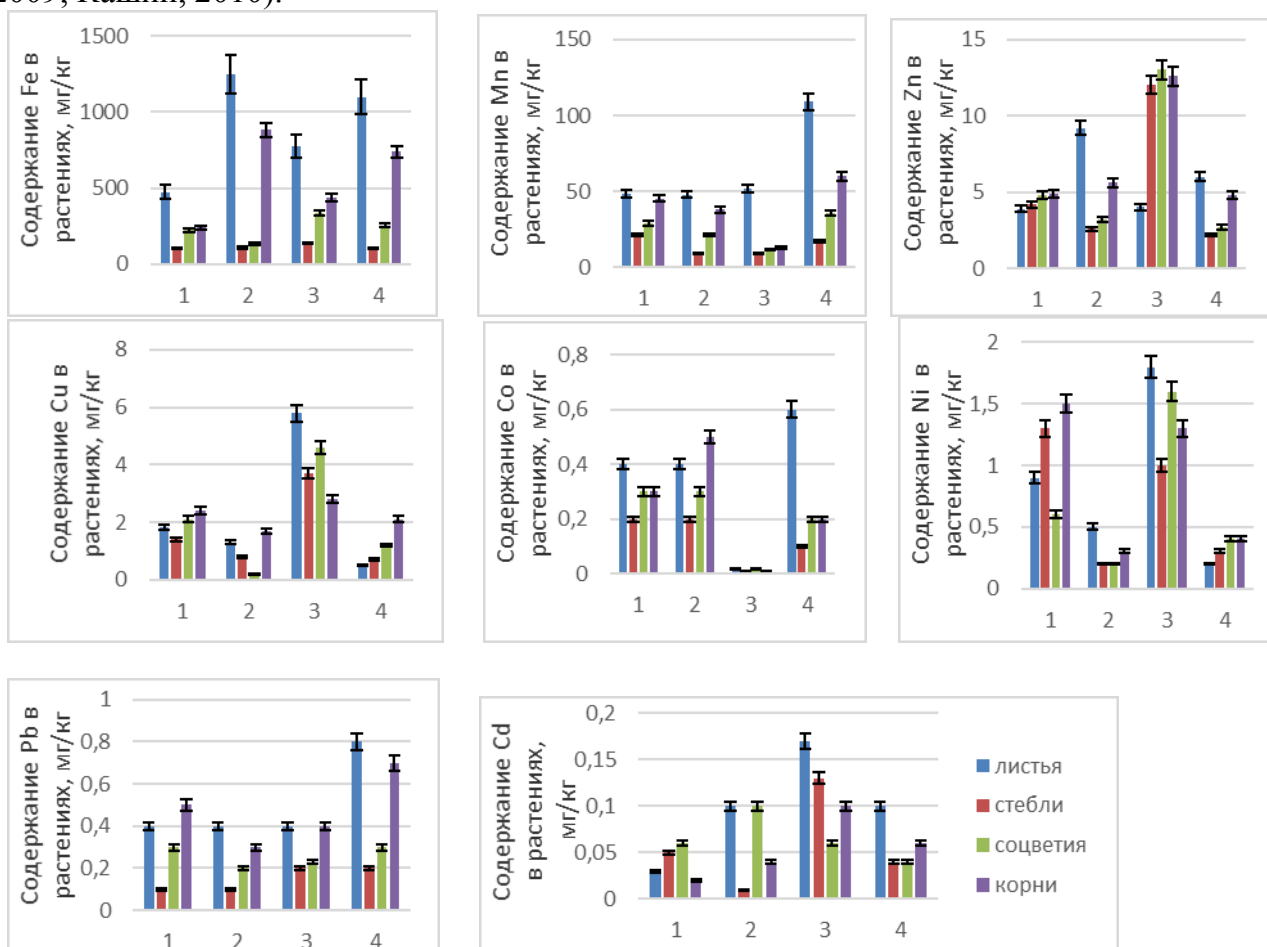


Рис. 3. Среднее содержание тяжелых металлов в органах растений рода *Achillea* L. фоновых участков низменной зоны Дагестана, мг/кг (среднее за 2008-2015 гг.)
1 – тысячелистник обыкновенный, 2 – тысячелистник благородный, 3 – тысячелистник таволговый, 4 – тысячелистник Биберштейна (планка погрешностей - $\pm$ ошибка).

Критерий Шапиро-Уилка не выявил отклонений от нормального распределения для содержания ТМ в органах разных видов тысячелистника.

Чтобы выяснить достоверность различий содержания ТМ в органах растений в зависимости от вида тысячелистника, был проведен двухфакторный дисперсионный анализ. Факторами выступали виды растений и их органы, рассматривался также эффект взаимодействия факторов. На рис. 4 представлены компоненты дисперсии, объясненной рассмотренными в дисперсионном анализе факторами. По результатам дисперсионного анализа видно, что содержание Fe, Pb ($p < 0,01$), Mn ($p < 0,05$) различается в органах растений фоновых участков низменной зоны. Содержание Cu, Ni ($p < 0,01$), Co ($p < 0,05$) зависит от вида тысячелистника. Выявлены различия содержания всех элементов в органах в зависимости от вида растений тысячелистника, F-критерий имеет высокий уровень значимости ($p < 0,001$).

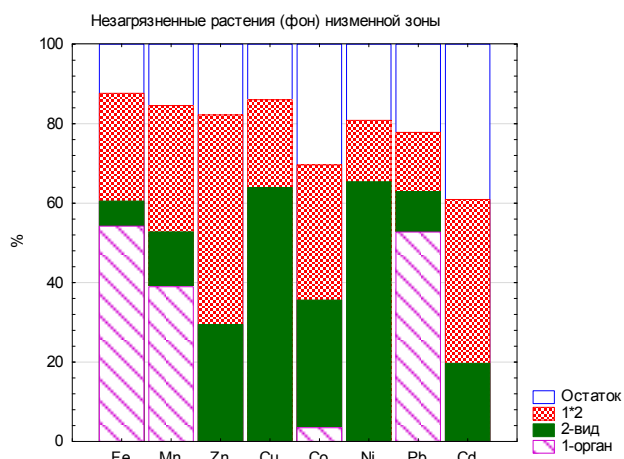


Рис. 4. Компоненты дисперсии в процентах по факторам влияния на содержание элементов в органах незагрязненных растений тысячелистника низменной зоны. 1 – листья, стебли, соцветия, корни, 2 – тысячелистник обыкновенный, тысячелистник благородный, тысячелистник таволговый, тысячелистник Биберштейна. Остаток - неучтенные факторы.

Выявлены различия в содержании Zn, Pb в органах тысячелистника обыкновенного низменной зоны в зависимости от загрязнения. В растениях фоновых участков Zn и Pb накапливаются в корнях (4,9; 0,5 мг/кг), а на загрязненных участках Zn - в листьях (6,8 мг/кг), а Pb – в соцветиях растений (1,1 мг/кг) (рис. 5). Возможно, это связано не только с поглощением металлов из почвы, но и с поступлением их в листья растений из воздуха. Максимальные концентрации Pb на фоновых и антропогенно нарушенных участках у тысячелистника благородного (0,4; 2,5 мг/кг), тысячелистника таволгового (0,4; 26 мг/кг), тысячелистника Биберштейна (0,8; 1,2 мг/кг) содержатся в листьях.

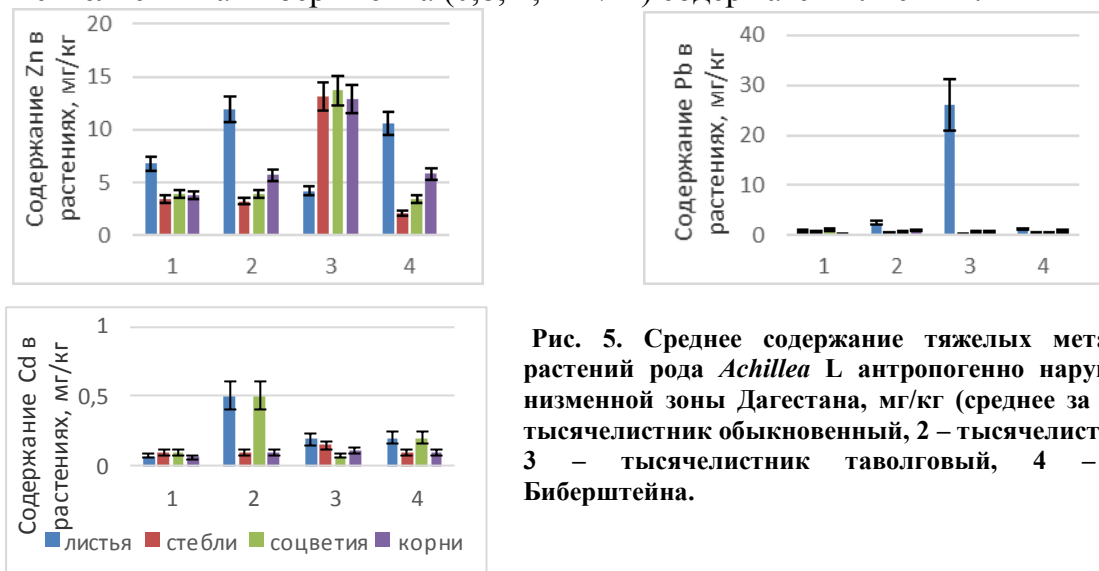


Рис. 5. Среднее содержание тяжелых металлов в органах растений рода *Achillea* L антропогенно нарушенных участков низменной зоны Дагестана, мг/кг (среднее за 2008-2015 гг.) 1 – тысячелистник обыкновенный, 2 – тысячелистник благородный, 3 – тысячелистник таволговый, 4 – тысячелистник Биберштейна.

По результатам дисперсионного анализа (рис. 6) видно, что содержание Mn, Co ($p < 0,05$) различается в органах растений антропогенно нарушенных участков низменной зоны. Содержание Co, Ni ($p < 0,05$) зависит от вида тысячелистника. Выявлены различия содержания Fe, Mn, Zn, Pb, Cd в различных органах в зависимости от вида растений тысячелистника, F-критерий имеет высокий уровень значимости ($p < 0,001$).

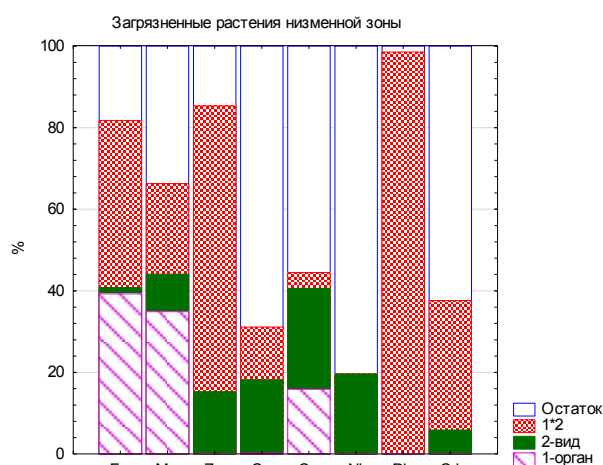


Рис. 6. Компоненты дисперсии в процентах по факторам влияния на содержание элементов в органах загрязненных растений тысячелистника низменной зоны. 1 – листья, стебли, соцветия, корни, 2 – тысячелистник обыкновенный, тысячелистник благородный, тысячелистник таволговый, тысячелистник Биберштейна. Остаток – неучтенные факторы.

Превышение содержания элементов в органах растений тысячелистника обыкновенного, тысячелистника Биберштейна загрязненных участков низменной зоны над фоном наблюдается для Mn, Zn, Pb, Cd в 2-6 раз, тысячелистника благородного для Fe в 2,2, Mn в 1,8-2,6, Co в 3,7, Pb в 3,3-6, Cd в 2,5-10 раз, тысячелистника таволгового для Pb в 3-65 раз.

У тысячелистника благородного на фоновых участках предгорной зоны наибольшие количества Zn (9,8 мг/кг) и Pb (0,3 мг/кг) накапливаются в корнях, а Cu (5,7 мг/кг) и Cd (0,07 мг/кг) в соцветиях растений. В растениях загрязненных участков Zn (33,3 мг/кг), Cu (8,6 мг/кг), Pb (1,6 мг/кг), Cd (0,4 мг/кг) накапливаются в листьях. У тысячелистника таволгового на фоновых участках Zn аккумулируется в стеблях (5,4 мг/кг), Cu (2,7 мг/кг) и Co (0,04 мг/кг) – в корнях, а на загрязненных участках Zn (13,8 мг/кг) и Cu (7,3 мг/кг) – в соцветиях, Co – в листьях.

Наиболее низкие концентрации Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Ni, Pb обнаружены в стеблях всех изученных видов растений низменной, предгорной зон. Минимальные концентрации Cd выявлены в стеблях и корнях растений низменности, в стеблях и соцветиях растений предгорья.

Чтобы выяснить достоверность различий содержания ТМ в органах растений в зависимости от высотной зональности и влияния загрязнения, был проведен трехфакторный дисперсионный анализ. Факторами выступали органы тысячелистника обыкновенного, влияние загрязнения, высотная зональность, рассматривался также эффект взаимодействия факторов. На рис. 7 представлены компоненты дисперсии, объясненной рассмотренными в дисперсионном анализе факторами. Содержание Fe, Mn ($p < 0,05$) различается в органах тысячелистника обыкновенного. Высотная зональность повлияла на содержание Zn ($p < 0,05$) в растениях. Выявлены зависимости содержания Fe, Ni ($p < 0,05$) в органах растений от почвенно-климатических условий мест произрастания. На содержание Cd в органах растений установлено влияние загрязнения и почвенно-климатических условий ($p < 0,001$).

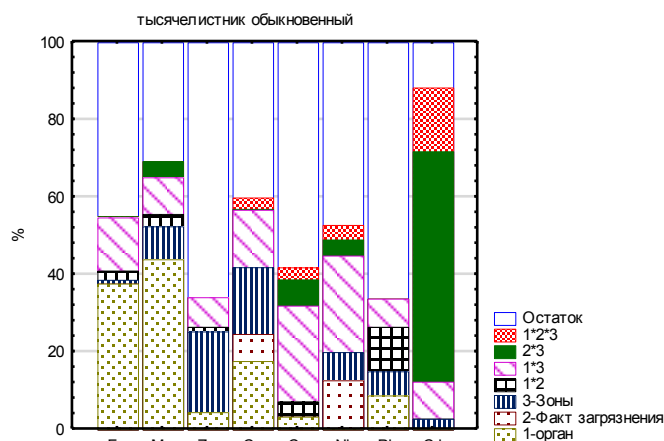


Рис. 7. Компоненты дисперсии в процентах по факторам влияния на содержание элементов в органах тысячелистника обыкновенного. 1 – листья, стебли, соцветия, корни, 2 – влияние загрязнения, 3 – низменная, предгорная, среднегорная зоны. Остаток – неучтенные факторы.

Были вычислены средние статистические значения содержания элементов в растениях тысячелистника обыкновенного для каждой зоны (табл. 7). Наибольшие концентрации Ni, Cu содержатся в надземной и подземной массе растений тысячелистника обыкновенного, отобранных на фоновых участках предгорной зоны. Это связано с тем, что почвы предгорья имеют щелочную реакцию среды ($pH = 7,7$), а в таких почвах соединения Ni, Cu подвижны и легко поглощаются растениями (Садовникова и др., 2006). Содержание Fe, Zn в надземной и подземной массе растений возрастает с увеличением высоты над уровнем моря. Высокая концентрация Fe, Zn в растениях среднегорной зоны обусловлена тем, что с высотой происходит уменьшение температуры воздуха и увеличение количества осадков, что способствует изменению водного режима почв и, возможно, некоторому увеличению подвижности Fe, Zn. Почвы среднегорной зоны имеют нейтральную и щелочную реакцию среды ($pH = 7,1-7,8$), при которой Fe, Zn становятся доступными для растений.

На загрязненных выбросами автотранспорта участках низменной, предгорной и среднегорной зоны среднее содержание ТМ в растениях тысячелистника обыкновенного превышает фоновое в 1,3-5 раз.

Таблица 7. Статистические показатели содержания элементов в растениях *Achillea millefolium* L., отобранных на фоновых и загрязненных участках, мг/кг сухого вещества (среднее за 2008-2015 гг.)

	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Co	Pb	Cd
Низменная зона (0-160 м над уровнем моря)								
M ± m	<u>360,0 ± 59,7</u> 484,0 ± 74,7 (267,8) (240,5)	<u>51,0 ± 6,3</u> 54,3 ± 0,9 (33,0) (45,5)	<u>4,7 ± 0,4</u> 3,8 ± 0,6 (4,3) (4,9)	<u>1,8 ± 0,5</u> 2,8 ± 0,6 (1,7) (2,4)	<u>1,0 ± 0,2</u> 2,3 ± 0,9 (0,9) (1,5)	<u>0,3 ± 0,01</u> 0,3 ± 0,1 (0,3) (0,3)	<u>0,8 ± 0,1</u> 0,3 ± 0,1 (0,3) (0,5)	<u>0,1 ± 0,01</u> 0,06 ± 0,02 (0,05) (0,02)
Предгорная зона (840-950 м)								
M ± m	<u>507,0 ± 43,2</u> 600,0 ± 72,7 (366,6) (450,0)	<u>31,5 ± 1,2</u> 29,0 ± 1,9 (21,5) (20,0)	<u>7,9 ± 1,5</u> 15,2 ± 3,6 (4,9) (7,3)	<u>4,6 ± 0,02</u> 5,8 ± 0,2 (4,3) (5,1)	<u>8,8 ± 2,7</u> 4,6 ± 1,2 (2,8) (2,5)	<u>0,6 ± 0,04</u> 0,7 ± 0,01 (0,5) (0,6)	<u>0,6 ± 0,1</u> 0,3 ± 0,04 (0,3) (0,3)	<u>0,4 ± 0,1</u> 0,5 ± 0,2 (0,1) (0,1)
Среднегорная зона (1181-1810 м)								
M ± m	<u>532,0 ± 61,6</u> 736,9 ± 92,7 (483,1) (774,0)	<u>32,2 ± 2,6</u> 37,5 ± 3,3 (31,2) (23,4)	<u>9,1 ± 0,8</u> 12,8 ± 1,3 (8,8) (11,3)	<u>3,4 ± 0,3</u> 5,5 ± 0,5 (2,6) (5,0)	<u>1,7 ± 0,3</u> 2,3 ± 0,3 (1,5) (0,6)	<u>0,2 ± 0,04</u> 0,4 ± 0,1 (0,3) (0,5)	<u>1,1 ± 0,1</u> 0,9 ± 0,2 (0,5) (1,5)	<u>0,06 ± 0,01</u> 0,04 ± 0,01 (0,04) (0,03)

Примечание: М – среднее содержание, m – ошибка средней. Над чертой – содержание элементов в надземной, под чертой – в подземной массе растений, в скобках указан фон.

По литературным данным (Салманов и др., 1982) в пастбищных растениях Ногайской степи и Терско-Сулакской низменности (полынь Лерха, полынь таврическая) содержание Mn в надземной массе (82,5 и 55 мг/кг) меньше, чем в корнях (99 и 73,7 мг/кг), что не согласуется с нашими данными. Содержание Co, по данным Османовой Р.Р., Курамагомедова М.К. (1982) и Гиреева Г.И. с соавторами (2012), в надземной массе разных видов полыни составляет 0,32-0,42 мг/кг, что согласуется с нашими данными (от 0,2 до 0,5 мг/кг). Исследования по содержанию ТМ в растениях тысячелистника узколистного проводились в Калмыкии (Даваева и др., 2017) и согласуются с нашими данными, за исключением содержания Fe (100 мг/кг) и Cu (20,0 мг/кг), по нашим данным содержание Fe выше (от 197 до 1068 мг/кг), а Cu ниже (от 0,73 до 4,85 мг/кг). Литературные данные (Минкина и др., 2017) по содержанию Mn (29 мг/кг), Cd (0,1 мг/кг), Pb (1 мг/кг) в надземной массе тысячелистника благородного согласуются с нашими данными.

В результате наших исследований установлено накопление Fe, Mn в листьях, Cd в листьях и соцветиях растений всех зон, но наблюдаются различия в накоплении Zn, Cu, Ni, Co, Pb разными органами растений природных местообитаний. В загрязненных местообитаниях эти металлы (Zn, Cu, Ni, Co, Pb) накапливаются в листьях и соцветиях.

5.4. Взаимосвязь между содержанием тяжелых металлов в растениях тысячелистника и почвах

Главным источником элементов для растений является почва. Состав и свойства почвы оказывают влияние на потребление элементов растениями.

В незагрязненных выбросами автотранспорта местообитаниях (фон) тысячелистника обыкновенного с увеличением содержания подвижных форм Co в почве увеличивается их содержание в надземной массе растений ($r = 0,55$, $p < 0,05$), в подземной для Ni ($r = 0,54$, $p < 0,05$), Pb ($r = 0,79$, $p < 0,05$). Содержание Zn в надземной части растений тысячелистника обыкновенного загрязненных местообитаний увеличивается с повышением кислоторастворимой формы в почве ($r = 0,44$, $p < 0,05$).

В фоновых местообитаниях выявлена значимая корреляция между количеством подвижных форм Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb в почве и содержанием их в надземной и подземной массе тысячелистника таволгового ($r = 0,78-0,97$, $p < 0,05$). Также выявлена значимая корреляция между кислоторастворимыми формами в почве и содержанием Mn ($r = 0,89$, $p < 0,05$), Cu ($r = 0,74$, $p < 0,05$), Co ($r = 0,84$, $p < 0,05$) в надземной массе и Mn ($r = 0,78$, $p < 0,05$), Ni ($r = 0,81$, $p < 0,05$) в подземной массе тысячелистника таволгового. Отрицательная корреляция между количеством кислоторастворимых форм элементов в почве и содержанием их в надземной массе растений тысячелистника таволгового отмечена для Fe, Zn, Cd ($r = -0,83-0,9$, $p < 0,05$), в подземной массе связь выявлена для Fe, Zn ($r = -0,88-0,98$, $p < 0,05$).

Наблюдается положительная значимая корреляция высокой степени между содержанием подвижных форм Fe, Zn, Cu в почве и растениях тысячелистника таволгового загрязненных местообитаний ($r = 0,96-0,99$, $p < 0,05$).

Накопление Pb и Cd растениями тысячелистника таволгового на загрязненных участках происходит путем поглощения надземными частями растений из воздуха, а не путем поступления из почвы, поэтому не прослеживается корреляционная связь с содержанием подвижных форм элементов в почве.

5.5. Влияние эдафического фактора на накопление тяжелых металлов в растениях рода *Achillea* L.

Исследование накопления ТМ видами тысячелистника проводили в разных эколого-эдафических условиях. Были исследованы следующие эдафические факторы: тип почвы, гумус, pH почвы.

При исследовании механизмов адаптации растений к ТМ необходимо учитывать уровень их аккумуляции в надземной и подземной массе. Поэтому для оценки степени поглощения Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Ni, Pb, Cd растениями нами был рассчитан коэффициент биологического поглощения (КБП).

В соответствии с классификацией Перельмана (1975) при КБП > 1 элементы накапливаются в растениях (элементы концентраторы), а при КБП < 1 только захватываются (элементы деструкторы). По вычисленным средним показателям КБП элементов видно, что данные ТМ относятся к элементам слабого накопления (КБП Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Ni, Pb, Cd = 0,01-0,8).

Элементы в порядке убывания показателей B_x кислоторастворимых форм элементов в антропогенно нарушенных местообитаниях для тысячелистника обыкновенного можно расположить следующим образом: для надземной – Cu > Ni > Zn > Co > Cd > Fe > Mn > Pb, для подземной массы – Cu > Ni > Zn > Cd > Fe > Co > Mn > Pb; для тысячелистника таволгового: для надземной – Ni > Cu > Cd > Pb > Fe > Zn > Mn > Co, для подземной массы – Cu > Ni > Cd > Zn > Fe > Mn > Pb > Co; для тысячелистника благородного: для надземной – Zn > Ni > Cd > Co = Cu = Fe > Mn > Pb, для подземной массы – Zn > Ni > Cu = Fe > Cd > Co > Mn > Pb, для тысячелистника Биберштейна: для надземной – Zn > Cd = Co > Mn > Fe = Cu > Ni > Pb, для подземной массы – Zn > Cu > Fe = Cd > Co > Mn > Ni > Pb.

По коэффициентам биогеохимической подвижности кислоторастворимых форм элементов, можно отнести Zn, Cu, Cd, Ni - к элементам сильного накопления, а Fe, Mn, Co, Pb – к элементам слабого накопления.

На природных участках высокий B_x подвижных форм Fe (B_x = 323-568), Zn (5,4-8,2), Cu (8,7-33), Co (1,7-2,2), Pb (B_x = 3,8-5,4), Cd (1,2-3,7) выявлен для надземной массы тысячелистника обыкновенного на горно-луговой типичной и горно-луговой почве на сланцах высокогорной зоны. Высокий B_x связан с тем, что горно-луговые типичные почвы на песчаниках, горно-луговые почвы на сланцах характеризуются слабокислой реакцией среды (pH = 6,5-6,6), а в слабокислой среде возрастает растворимость соединений Fe, Zn, Cd (Добровольский, 1983, 1997; Цинк и кадмий..., 1992; Кадмий: экологические ..., 1994; Садовникова и др., 2006).

Высокая аккумуляция Zn наблюдалась в подземной массе (B_x = 425) и Ni в надземной массе (B_x = 18,6) тысячелистника таволгового, произрастающего на горно-каштановой почве предгорья. Высокая интенсивность накопления Zn и Ni растениями на горно-каштановой почве обусловлена тем, что этот тип почвы характеризуется щелочной реакцией среды (pH = 7,6), низким содержанием гумуса (3,2 %), а в нейтральных и щелочных почвах с малым содержанием гумуса соединения Zn и Ni подвижны и легко выносятся растениями (Садовникова и др., 2006).

Для оценки видовой специфичности накопления ТМ растениями тысячелистника мы сравнили показатели биогеохимической подвижности (B_x 2) элементов для разных видов тысячелистника, произрастающих на каштановых почвах. Для тысячелистника обыкновенного, произрастающего вдали от дороги, по величинам содержания ТМ в надземной массе, исследуемые ТМ можно представить в виде следующего убывающего ряда: Fe (53,6) > Zn (6,1) > Ni (4,8) > Cd (3,7) > Cu (3,1) > Co (1,8) > Pb (0,8) > Mn (0,3), в

подземной массе: Fe (49,6) > Ni (7,7) > Zn (7) > Cu (4,3) > Co (2,6) > Cd (2) > Pb (1,5) > Mn (0,4).

Для тысячелистника обыкновенного, произрастающего в условиях антропогенного воздействия, по величинам содержания ТМ в надземной массе, исследуемые ТМ можно представить в виде следующего убывающего ряда: Fe (48,6) > Cu (7,1) > Ni (6,5) > Zn (6,2) > Cd (6) > Co (1,5) > Mn (0,5) > Pb (0,3), в подземной массе: Fe (59,8) > Ni (15,2) > Cu (11,3) > Zn (6,2) > Cd (3) > Co (2,1) > Mn (0,5) > Pb (0,2).

Для тысячелистника таволгового, произрастающего на незагрязненном участке, по величинам содержания ТМ в надземной массе, исследуемые ТМ можно представить в виде следующего убывающего ряда: Fe (99) > Zn (15,3) > Cd (12) > Cu (10,5) > Ni (9,2) > Pb (1,5) > Mn (0,3) > Co (0,05), в подземной массе: Fe (104,3) > Zn (20,3) > Cd (10) > Ni (6,8) > Cu (6,1) > Pb (2,2) > Mn (0,2) > Co (0,05).

Для тысячелистника таволгового, произрастающего около дороги, по величинам содержания ТМ в надземной массе, исследуемые ТМ можно представить в виде следующего убывающего ряда: Fe (525) > Ni (53) > Pb (47) > Zn (33,2) > Cu (28,7) > Cd (14) > Mn (0,5) > Co (0,2), в подземной массе: Fe (550) > Ni (50) > Zn (41,6) > Cu (17,1) > Cd (11) > Pb (3,3) > Mn (0,3) > Co (0,1).

По величинам содержания ТМ в надземной массе тысячелистника благородного, произрастающего на незагрязненном участке, исследуемые ТМ можно представить в виде следующего убывающего ряда: Fe (58,8) > Zn (5,1) > Cd (2,5) > Pb (2,3) > Ni (1,9) > Cu (0,8) > Co (0,5) > Mn (0,3), в подземной массе: Fe (116,6) > Zn (7,7) > Pb (3,6) > Cd (3) > Cu (1,7) > Ni (1) > Co (0,6) > Mn (0,4).

По величинам содержания ТМ в надземной массе тысячелистника благородного, произрастающего на загрязненном участке, исследуемые ТМ можно представить в виде следующего убывающего ряда: Fe (514,7) > Zn (24,1) > Co (16,4) > Cu (7,3) > Cd (4,7) > Ni (3,8) > Mn (1,1) > Pb (0,5), в подземной массе: Fe (281,6) > Zn (35,3) > Cu (24,1) > Co (3,1) > Ni (2,2) > Cd (2) > Mn (0,9) > Pb (0,3).

На незагрязненном участке по величинам содержания в надземной массе тысячелистника Биберштейна элементы располагаются в следующий ряд: Fe (34) > Ni (5,2) > Zn (5,1) > Pb (3,7) > Cd (2) > Cu (0,9) > Mn (0,7) > Co (0,2), в подземной массе: Fe (118,6) > Pb (7,2) > Zn (6,4) > Ni (4,5) > Cu (3,1) > Cd (2) > Mn (0,9) > Co (0,3).

В условиях антропогенного воздействия по величинам содержания в надземной массе тысячелистника Биберштейна элементы располагаются в следующий ряд: Fe (171,8) > Zn (49,4) > Cu (12,2) > Co (8,3) > Cd (5,5) > Ni (3,3) > Mn (0,8) > Pb (0,2), в подземной массе: Fe (184,7) > Zn (42,9) > Cu (19,1) > Co (8) > Cd (1,7) > Ni (1,1) > Mn (0,7) > Pb (0,3).

По величинам $B_x 2$ для надземной массы растений, произрастающих в условиях загрязняющего воздействия, виды располагаются в виде следующих убывающих рядов:

Fe: тысячелистник таволговый > тысячелистник благородный > тысячелистник Биберштейна > тысячелистник обыкновенный

Mn: тысячелистник благородный > тысячелистник Биберштейна > тысячелистник обыкновенный = тысячелистник таволговый

Zn: тысячелистник Биберштейна > тысячелистник таволговый > тысячелистник благородный > тысячелистник обыкновенный

Cu: тысячелистник таволговый > тысячелистник Биберштейна > тысячелистник благородный > тысячелистник обыкновенный

Co: тысячелистник благородный > тысячелистник Биберштейна > тысячелистник обыкновенный > тысячелистник таволговый

Ni: тысячелистник таволговый > тысячелистник обыкновенный > тысячелистник благородный > тысячелистник Биберштейна

Pb: тысячелистник таволговый > тысячелистник благородный > тысячелистник обыкновенный > тысячелистник Биберштейна

Cd: тысячелистник таволговый > тысячелистник обыкновенный > тысячелистник Биберштейна > тысячелистник благородный

В условиях антропогенного воздействия меняется аккумуляция ТМ в надземной и подземной массе растений. У всех видов тысячелистника в надземной массе V_x 2 больше, чем в подземной массе, кроме тысячелистника обыкновенного. Наибольшая концентрация ТМ в корнях тысячелистника обыкновенного по сравнению с надземной массой объясняется барьерной функцией корня, ограничивающего поступление ТМ в надземные органы (Серегин и др., 2014). Среди всех изученных видов тысячелистник таволговый является аккумулятором Fe, Cu, Ni, Pb, Cd, тысячелистник благородный – Mn, Co, тысячелистник Биберштейна – Zn. Тысячелистник обыкновенный оказался наиболее устойчивым к загрязнению Fe, Mn, Zn, Cu, тысячелистник Биберштейна устойчивый к Ni, Pb, тысячелистник благородный – к Cd.

На загрязненных участках в предгорье на горно-луговых почвах проявлялись видовые особенности в накоплении ТМ. Тысячелистник обыкновенный аккумулировал Ni, Pb – в надземной массе, Fe, Zn, Cu, Co, Cd – в корнях. У тысячелистника благородного накопление Cu, Pb, Cd – в надземной массе, Fe, Zn, Ni – в корнях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе представлены результаты исследования содержания Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Co, Pb, Cd в 4 видах рода *Achillea* L. и почвах, на которых они произрастают. Исследовалось содержание ТМ в растениях не только природных, но и антропогенно нарушенных местообитаний. Это важно, так как виды тысячелистника являются лекарственными растениями. В результате исследований определено фоновое содержание ТМ в разных типах почв Северо-Восточного Кавказа, выявлены превышения концентраций Cu, Pb, Cd по сравнению с кларками, что обусловлено обогащением почвообразующих пород этими элементами. Проведено также изучение содержания ТМ в органах видов тысячелистника разных природных зон. Проведенные исследования показали, что представители разных видов рода *Achillea* L. в одинаковых почвенных и природно-климатических условиях аккумулируют ТМ в разных количествах. Это связано с видовыми особенностями растений тысячелистника. Растения одного вида, произрастающие на разных типах почв, накапливали разные концентрации элементов, что связано с влиянием эдафического и антропогенного факторов.

Выявлено влияние высотной зональности, эдафического фактора (тип почвы, содержание подвижных элементов в почве, реакция среды, гранулометрический состав, содержание гумуса), антропогенного фактора (выбросов автотранспорта) на аккумуляцию ТМ в растениях. Исследована возможность применения растений разных видов тысячелистника в фиторемедиации, выявлены растения-аккумуляторы и виды, устойчивые к загрязнению ТМ.

ВЫВОДЫ

1. Выявлены превышения концентраций Zn, Pb и Cd в загрязненных почвах низменной, предгорной, среднегорной зоны в 1,6-21,6 раз по сравнению с фоновыми почвами. Валовое содержание Cd превысило ОДК в 1,3-3,2 раза.

2. Определена видовая специфика накопления и распределения тяжелых металлов между генеративными и вегетативными органами разных видов рода *Achillea* L., произрастающих на фоновых участках и в условиях загрязнения. У *Achillea nobilis* на фоновых участках предгорной зоны наибольшие концентрации Zn и Pb накапливаются в корнях, а Cu и Cd в соцветиях растений. В образцах, произрастающих на загрязненных участках, Zn, Cu, Pb, Cd накапливаются в листьях. У *Achillea filipendulina* на фоновых участках Zn аккумулируется в стеблях, Cu и Co – в корнях, а на загрязненных участках Zn и Cu – в соцветиях, Co – в листьях.

3. Установлена зависимость содержания ТМ в растениях тысячелистника от высотной зональности. С возрастанием высоты над уровнем моря происходит изменение типа почв, пород, природно-климатических условий. Наибольшие концентрации Ni, Cu содержатся в растениях *Achillea millefolium*, произрастающих в предгорной зоне, так как в щелочных почвах соединения Ni, Cu подвижны. Выявлено максимальное содержание Fe, Zn в растениях в среднегорной зоне. С высотой температура воздуха уменьшается, а количество осадков увеличивается, что влияет на подвижность Fe, Zn в почвах, кроме того, оказывает влияние pH почвы.

4. Выявлена положительная корреляция между количеством подвижного Co ($r = 0,55$, $p < 0,05$) в почве и содержанием его в надземной массе растений *Achillea millefolium*, в подземной массе для Ni ($r = 0,54$, $p < 0,05$), Pb ($r = 0,79$, $p < 0,05$). Отмечена также положительная корреляция между количеством подвижных форм Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb в почве и содержанием их в надземной и подземной массе *Achillea filipendulina* ($r = 0,78-0,97$, $p < 0,05$).

5. Эдафические факторы оказывают влияние на поглощение тяжелых металлов растениями. На подвижность элементов в почве и их доступность для растений оказывает влияние содержание гумуса, pH почвы, гранулометрический состав. Максимальная интенсивность поглощения представителями рода тысячелистник кислоторастворимых форм Zn наблюдалась на коричневых почвах, Cu, Pb, Cd – на светло-каштановых, Ni – на коричневых и горно-каштановых почвах, минимальная – на лугово-каштановых, луговых, каштановых, горно-луговых почвах.

6. Установлены различия в содержании тяжелых металлов в почвах и исследованных растениях тысячелистника в зависимости от произрастания вблизи автомобильных дорог. Причем, *Achillea millefolium* интенсивно концентрирует Ni, Pb, Cd, *Achillea nobilis* – Zn, Ni, Cd, *Achillea filipendulina* – Pb, *Achillea biebersteinii* – Cd, в количествах, превышающих МДУ.

7. На каштановых почвах *Achillea filipendulina* является аккумулятором Fe, Cu, Ni, Pb, Cd, поэтому данный вид можно использовать как фиторемедиатор. *Achillea millefolium* оказался наиболее устойчивым к загрязнению Fe, Mn, Zn, Cu, *Achillea biebersteinii* устойчивый к Ni, Pb, *Achillea nobilis* – к Cd.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. На основании полученных в работе результатов по содержанию тяжелых металлов в почве необходимо провести картографирование и паспортизацию мест

заготовки лекарственного растительного сырья (в данном случае растений тысячелистника) для выявления безопасных мест сбора растений.

2. При сборе лекарственных трав и последующем применении растений в лечебных целях следует учитывать район сбора растений и отбирать лекарственные растения вдали от автомобильных дорог.

3. *Achillea filipendulina* Lam. можно использовать для фиторемедиации почв, загрязненных Fe, Cu, Ni, Pb, Cd.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ

1. Семенова В.В. Влияние экологических факторов на содержание некоторых тяжелых металлов в *Achillea millefolium* L. / В.В. Семенова, З.Г. Магомедалиев // Юг России: экология, развитие. – 2009. – № 2. – С. 46-49.
2. Семенова В.В. Влияние эдафических факторов на содержание тяжелых металлов (Fe, Mn, Co, Cd) в *Achillea millefolium* L. / В.В. Семенова, З.Г. Магомедалиев // Вестник Дагестанского научного центра РАН. 2009. – №35. – С.18-23.
3. Семенова В.В. Воздействие транспорта на накопление тяжелых металлов в почвах и растениях рода *Achillea* (Asteraceae) / В.В. Семенова, З.Г. Магомедалиев // Вестник Дагестанского государственного университета. – 2012. – С. 118-122.
4. Семенова В.В. Аккумуляция тяжелых металлов *Achillea millefolium* и *A. filipendulina* (Asteraceae) в условиях Дагестана / В.В. Семенова, З.Г. Магомедалиев // Растительные ресурсы. – 2012. – Т. 48. – Вып. 2. – С. 253-261.
5. Семенова В.В. Влияние техногенного загрязнения на содержание тяжелых металлов в *Achillea millefolium* L. горной провинции Дагестана / В.В. Семенова // Аграрная Россия. – 2015. – № 2. – С. 35-37.
6. Семенова В.В. Влияние высотной поясности на накопление микроэлементов *Achillea millefolium* (Asteraceae) в условиях Республики Дагестан / В.В. Семенова, Г.Н. Гасанов // Растительные ресурсы. – 2018. – Т. 54. – № 1. – С. 139-151.
7. Семенова В.В. Воздействие антропогенного фактора на накопление тяжелых металлов в видах рода *Achillea* L., произрастающих в предгорной зоне Дагестана / В.В. Семенова // Экология урбанизированных территорий. – 2019. – № 1. – С. 87-92.

Работы, опубликованные в других изданиях

8. Семенова В.В. Влияние эдафических факторов на содержание тяжелых металлов (Cu, Ni, Zn, Pb) в *Achillea millefolium* L., *A. filipendulina* Lam. / В.В. Семенова // Ломоносов – 2009. Сборник материалов XVI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 13-18 апреля 2009 г. - Москва: ООО «МАКС Пресс», 2009. – С. 334-335.
9. Семенова В.В. Влияние экологических факторов на содержание некоторых тяжелых металлов в *Achillea millefolium* L., *A. filipendulina* Lam. / В.В. Семенова, З.Г. Магомедалиев // Наука и образование – 2009. Материалы международной научно-технической конференции. – Мурманск: МГТУ, 2009.
10. Семенова В.В. Зависимость содержания некоторых тяжелых металлов в *Achillea millefolium* L. от почвенных условий горной провинции Дагестана / В.В. Семенова, З.Г. Магомедалиев // Материалы VII Международной научной конференции «Устойчивое развитие горных территорий в условиях глобальных изменений». – Владикавказ, 14-16 сентября, 2010.
11. Семенова В.В. Закономерности содержания тяжелых металлов в *Achillea millefolium* L. от почвенно-климатических факторов / В.В. Семенова // Ломоносов – 2010. Сборник материалов XVII Междунар. конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - Москва: ООО «МАКС Пресс», 2010.- С. 110.
12. Семенова В.В. Накопление тяжелых металлов в почвах и растениях придорожных зон / В.В. Семенова // Междунар. науч. конф. «Актуальные проблемы обеспечения

продовольственной безопасности юга России: инновационные технологии для сохранения биоресурсов, плодородия почв, мелиорации и водообеспечения». – Ростов-на-Дону. 27-30 сентября 2011 г. – С. 245-247.

13. Семенова В.В. Видовая специфика накопления тяжелых металлов лекарственными растениями / В.В. Семенова // Всероссийский журнал научных публикаций. – М. - 2011, март. - С. 17-18.

14. Семенова В.В. Оценка уровня накопления тяжелых металлов растениями тысячелистника при загрязняющем воздействии автотранспорта / В.В. Семенова // Материалы междунар. молодежной конференции «Биокаталитические технологии и технологии возобновляемых ресурсов в интересах рационального природопользования». 10-12 сентября 2012 г; ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности». Кемерово, 2012. – 211-215.

15. Семенова В.В. Видовое различие в накоплении тяжелых металлов растениями рода *Achillea* / В.В. Семенова, З.Г. Магомедалиев // Международная конференция «Биологическое разнообразие Кавказа и Юга России». 5-8 ноября. Махачкала. – 2012. – С. 329-330.

16. Семенова В.В. Проблема загрязнения почв и растений разных районов Дагестана / В.В. Семенова // IV Междунар. науч. конф. «Современные проблемы загрязнения почв», г. Москва. 27-31 мая, 2013. – С. 348-350.

17. Семенова В.В. Содержание тяжелых металлов в растениях тысячелистника обыкновенного в условиях антропогенного воздействия / В.В. Семенова // Почвы аридных территорий и проблемы охраны их биологического разнообразия: сб. науч. трудов по матер. Всероссийской научно-практич. конф. - Вып. 63, Махачкала. 27-29 мая, 2014. – С. 179-182.

18. Семенова В.В. Влияние антропогенного фактора на содержание тяжелых металлов в почвах и растениях Прибрежных провинций Дагестана / В.В. Семенова // Почвенные ресурсы основа создания продовольственной безопасности: сб. науч. трудов по матер. Всероссийской научно-практич. конф. - Вып. 65, Махачкала, 2015. – С. 126-129.

19. Семенова В.В. Распределение элементов в системе почва-растение на примере видов рода *Achillea* / В.В. Семенова // Международная науч. конф. «Роль почв в биосфере и жизни человека», посвященная 100-летию со дня рождения академика Г.В. Добровольского и Международному году почв. М., 2015. – С. 242-244.

20. Семенова В.В. Накопление тяжелых металлов в системе почва-растение в условиях загрязнения / В.В. Семенова // Молодежная научная школа «Технологии экологического развития». М., 2015. – С. 173-178.

21. Семенова В.В. Накопление микроэлементов в растениях разных видов тысячелистника (*Achillea* L.) в зависимости от содержания в почвах предгорной зоны Дагестана / В.В. Семенова // XIX Международная конференция «Биологическое разнообразие Кавказа и Юга России». Том 1. Махачкала. 4-7 ноября, 2017. – С. 277-279.