УДК 574.21

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГВОЗДИЧНЫХ РАСТЕНИЙ В ИНДИКАЦИИ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ

Несговорова Н.П., Савельев В.Г., Иванцова Г.В.

ФГБОУ ВПО «Курганский государственный университет», Курган, e-mail: ecology@kgsu.ru

Статья посвящена теоретическому обоснованию выявленной эмпирическим путем динамики некоторых тяжелых металлов во взаимосвязи химического состава почвы и растений, целостной системы «почва-растения». Приводится доказательная база возможности использования гвоздичных растений в качестве индикаторов содержания тяжелых металлов в почве. Изучен химический состав почв и растений, собранных на исследуемых территориях в различных районах Курганской области. Выявлено наличие в них тяжелых металлов естественного происхождения. Составлен список растений, обладающих биоаккумуляционными свойствами. Обнаружена избирательная специфичность растений в поглощении и накоплении в тканях растений тяжелых металлов. Так, медь накапливается в тканях Смолевки поникшей (Silene nutans), цинк – Смолевки-хлопушки (Oberna behen (L), кобальт – Смолевки-хлопушки (Oberna behen (L) и Качима постенного (Psammophiliella muralis (L), марганец – Смолевки поникшей (Silene nutans) и Смолевки-хлопушки (Oberna behen (L). Применение комплекса эмпирических и теоретических методов позволило построить модель взаимосвязи динамики некоторых химических элементов в системе «почва-растения» в природных условиях Курганской области.

Ключевые слова: экологический мониторинг, биоиндикация, Гвоздичные, тяжелые металлы

THE USE CARYOPHYLLACEAE PLANTS IN INDICATORS OF HEAVY METALS IN SOIL

Nesgovorova N.P., Savelev V.G., Ivantsova G.V.

FGBOU VPO «Kurgan State University», Kurgan, e-mail: ecology@kgsu.ru

The article is devoted to the theoretical justification identified empirically the dynamics of some heavy metals in conjunction soil chemistry and plant integrated system «soil-plant». Provided the possibility of using the evidence base Caryophyllaceae plants as indicators of heavy metals in the soil. The chemical composition of soils and plants collected in the study areas in different regions of the Kurgan region . The presence of heavy metals of natural origin. A list of plants with bioaccumulation properties. Election specificity found in plant uptake and accumulation in plant tissues of heavy metals. Thus, copper accumulates in tissues Silene nutans, zinc – Oberna behen (L), cobalt – Oberna behen (L) and Psammophiliella muralis (L), manganese – Silene nutans and Oberna behen (L). Using the complex empirical and theoretical methods allowed us to construct a model relationship dynamics of some chemical elements in the system «soil – plant» in nature Kurgan region.

Keywords: environmental monitoring, bioindication, Caryophyllaceae, heavy metals

Использование только химических методов анализа нередко сопряжено с определенными трудностями исследования естественных природных территорий и сообществ и определения степени антропогенного воздействия на них [3]. В таких случаях в качестве индикаторов, свидетельствующих об особенностях химического состава почв тех или иных территорий, используют метод биоиндикации. Виды-индикаторы позволяют выявить специфические особенности среды их обитания, в том числе и связь с антропогенной нагрузкой, что сказывается на условиях обитания организмов [1].

Биоиндикация позволяет оценить минимальное содержание тяжелых металлов в естественном состоянии в почвах [5]. В то же время информация о накоплении тяжелых металлов в органах растений разноречива. Это обусловлено тем, что содержание одного и того же элемента в различных тканях может одновременно отражать как физиологическую потребность растения в минеральном питании, так и результат влияния окружающей среды. В условиях Курганской области данная проблема является актуальной и малоизученной.

Цель работы: выявить эмпирическим путем и теоретически обосновать возможности использования гвоздичных растений в качестве объекта биомониторинга тяжелых металлов в почвах.

Задачи: теоретически обосновать выбор группы индикаторных организмов, подобрать методику полевых и лабораторных исследований; определить места полевых наблюдений; изучить динамику содержания тяжелых металлов в почвах и тканях растений; выявить и обосновать закономерные зависимости в системе «почва-растение» по содержанию тяжелых металлов.

Материалы и методы исследования

Охарактеризованы особенности природно-климатических условий и распределение почв Курганской области. Курганская область в географическом положении располагается в трех природно-климатических зонах: южной подтайги, лесостепи и степи. На территории Курганской области выделены три агроклиматических района, отличающихся по количеству

выпадающих осадков, динамике температурного режима. Кроме того, область не однородна по рельефу, распределению почвенного покрова. Так, западные территории отличаются волнистым рельефом, в почвенном покрове преобладают черноземы выщелоченные, незначительное место занимают черноземы обыкновенные солонцеватые и лугово-черноземные почвы, а также солонцы. Восточная часть – плоскоравнинная с широко развитым микрорельефом. В почвенном покрове значительное место занимают черноземы обыкновенные солонцеватые. Здесь много солонцов, солончаков. Центральная часть формируется на границе западной и восточной частей, поэтому сочетает их признаки. Юг области представлен южной оконечностью западной и восточной частей [4].

Для сравнительной оценки результатов исследования в административном плане сбор материала проводился в территориях Звериноголовского (юг области), Каргапольского (западная часть), Лебяжьевского (восток области), Кетовского (центр) районах Курганской области.

Изучены и описаны фитоценозы, определена встречаемость гвоздичных растений, изучена морфология почв, проведено изучение химического состава почв и растительности, определен естественный радиационный фон территорий.

Эмпирические методы: геоботаническое описание территории; методы физико-химического анализа: атомно-адсорбционная спектрометрия [2]; инструментальные методы: изучение естественного радиационного фона с помощью дозиметра ДБГ-01Н; теоретические методы: анализ, моделирование; математические методы – оценка флористического сходства по коэффициенту Чекановского-Серенсена; статистические методы: корреляционный анализ.

Результаты исследования и их обсуждение

В основу эмпирической части исследования было положено выявление ассоциаций растений семейств Свинчатковые и Гвоздичные, относящихся к порядку Гвоздичные, в естественных условиях на территории Курганской области, определение плотности популяций, частоты встречаемости и биоразнообразия.

Для изучения химического состава были собраны образцы почв и следующих растений: *Качим метельчатый (Gypsophila paniculata), Качим постенный (Psammophiliella muralis (L.),, Смолёвка липкая (Silene viscosa (L.) , Смолевка-хлопушка (Oberna behen (L.), Смолевка поникшая (Silene nutans), Гвоздика Барбаша (Dianthus borbasii Vandas), Кермек Гмелина (Limonium gmelinii), Звездчатка средняя (Stellaria media L.), Звездчатка злачная (Stellaria graminea L.).*

Изучен естественный радиационный фон территорий.

Результаты проведенного анализа позволили сделать следующие выводы.

1. При сравнении биоразнообразия исследуемых территорий нами была выявлена следующая тенденция: 100%-е сходство характерно для площадок на территории Звериноголовского района. Несмотря на разные типы почв, сходство биоразнообразия этих площадок объясняется схожестью сообществ, а также обогащенностью почв тяжелыми металлами (рис. 1).

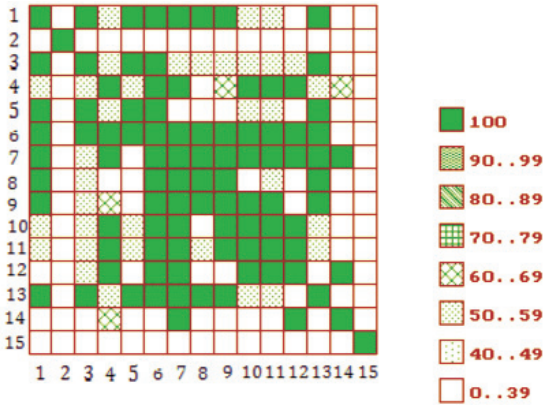

Рис. 1. Диаграмма сходства пробных площадок по биоразнообразию.
Примечание: 1 – Южная часть лесного массива озера Горькое в 3 км от поселка Искра; 2 – Третья санитарная зона поймы реки Тобол к юго-востоку от озера Горькое; 3 – Лесопарковая зона вблизи озера Горькое; 4 – Третья санитарная зона юго-восток от озера Горькое, пойма реки Тобол; 5 – Первая санитарная зона озера Горькое; 6 – Вторая санитарная зона к юго-востоку от озера Горькое, бывший горельник; 7 – Вторая санитарная зона к югу от озера Горькое; 8 – Санаторий «Сосновая роща», «Поляна любви»; 9 – Котельная санатория «Сосновая роща»; 10 – Парк на территории санатория «Сосновая роща»; 11 – Парк возле часовни на территории санатория «Сосновая роща»; 12 – Западная граница озера Горькое; 13 – Каргапольский район (станция Кособродск); 14 – Лебяжьевский район (остепненный злаковый луг); 15 – Кетовский район (поселок Болдинцево)

Показатель сходства лишь на 50–59% с остальными характерен для площадки № 3, находящейся в лесопарковой зоне вблизи озера Горькое. Это можно объяснить высоким уровнем антропогенной нагрузки, урбанизированностью территории, близостью к санаторию «Сосновая роща».

Коэффициент сходства 0–39% имеют площадки, пространственно отдаленные друг от друга (2 площадки на разных территориях Звериноголовского района, две – за его пределами, в Лебяжьевском и Кетовском районах), а также различиями почв изучаемых территорий. Значимо отличается площадка агроценоза, в котором выращиваются культурные растения.

2. Выявлено, что большинство исследуемых территорий сходны по содержанию подвижных форм фосфора и калия, нитратного азота, содержанию хлоридов и сульфатов, а также тяжелых металлов в почвах, степень сходства составляет 50–59%. К этой группе можно отнести площадки, расположенные на территории Звериноголовского района, вокруг озера Горькое. Имеющиеся различия можно объяснить следующими причинами:

1) одной из причин различий между площадками может служить тот факт, что почвы исследуемых территорий Звериноголовского района относятся к разным типам, что обуславливает их физико-химические свойства;

2) площадки 12–14 обладают сходством с остальными на 40–49%, а между собой – на 50–59%. Они территориально удалены друг от друга (расположены в разных районах – Каргапольском и Лебяжьевском и на западной границе озера Горькое). Наличие сходства можно объяснить сходством условий формирования водного режима почв: территория западной границы озера Горькое испытывает воздействие пресных паводковых вод при разливе реки Тобол и соединении их с солеными водами озера. Площадка 13 подвержена подтоплению грунтовыми водами из-за высокого уровня их залегания и имеет склонность к заболачиванию. Площадка 14 расположена в низине и также склонна к заболачиванию (рис. 2);

3) обнаруженные различия объясняются в первую очередь географическим расположением районов относительно друг друга (Звериноголовский район расположен на юге, Лебяжьевский – на востоке, а Каргапольский – на западе Курганской области), а в случае с площадкой 12 – еще и близостью озера Горькое. Кроме того, влияние оказывают климатические условия: Каргапольский район расположен в умеренно теплой агроклиматической зоне. Лебяжьевский – в умеренно теплой, относительно засушливой, а Звериноголовский – в умеренно теплой засушливой с меньшим количеством выпадающих осадков.

4) отдельно следует отметить площадку, расположенную на территории Кетовского района. Она по всем изучаемым показателям отличается от остальных. Она является частью искусственного агроценоза на урбанизированных почвах.

3. Проведенный химический анализ почв позволил сделать следующие выводы. Максимальное содержание тяжелых металлов выявлено в почвах Каргапольского (по марганцу, цинку, меди), Звериноголовского (марганец, медь) и Лебяжьевского (медь) районов (табл. 1).

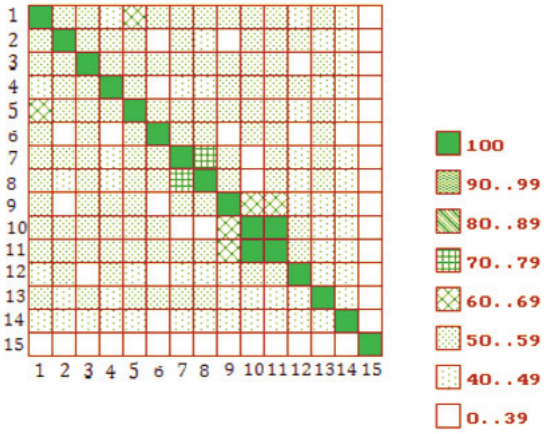

Рис. 2. Диаграмма сходства пробных площадок по физико-химическим свойствам почв. Примечания: 1. – Южная часть лесного массива озера Горькое в 3 км от поселка Искра; 2 – Третья санитарная зона поймы реки Тобол к юго-востоку от озера Горькое; 3 – Лесопарковая зона вблизи озера Горькое; 4 – Третья санитарная зона юго-восток от озера Горькое, пойма реки Тобол; 5 – Первая санитарная зона озера Горькое; 6 – Вторая санитарная зона к юго-востоку от озера Горькое, бывший горельник; 7 – Вторая санитарная зона к югу от озера Горькое; 8 – Санаторий «Сосновая роща», «Поляна любви»; 9 – Котельная санатория «Сосновая роща»; 10 – Парк на территории санатория «Сосновая роща»; 11 – Парк возле часовни на территории санатория «Сосновая роща»; 12 – Западная граница озера Горькое; 13 – Каргапольский район (станция Кособродск); 14 – Лебяжьевский район (остепненный злаковый луг); 15 – Кетовский район (поселок Болдинцево)

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в почвенных образцах опытных площадок

Район	Максимальное содержание ТМ (мг/кг)			
	Cu	Zn	Co	Mn
Каргапольский	0,20	10,53	0,16	96,4
Кетовский	0,13	24,2	0,12	12,0
Лебяжьевский	0,20	0,12	0,12	30,3
Звериноголовский	0,17	1,13	0,14	42,5

4. Проведенный качественный и количественный химический анализ тканей подтверждает наличие в растениях тяжелых металлов (меди, цинка, кобальта, марганца). Максимальное количество меди и кобальта содержится в Смолевке поникшей, цинка – в Смолевке-хлопушке, а марганца – как в Смолевке-хлопушке, так и в Смолевке поникшей. Наименьшее количество тяжелых металлов содержится в Кермеке Гмелина (табл. 2).

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в растительных образцах опытных площадок

Район	Максимальное содержание ТМ (мг/кг)				
	Cu	Zn	Co	Mn	Fe
Кетовский	5,19	50,66	9,74	106,47	242,21
Лебяжьевский	7,38	22,26	4,22	14,02	174,77
Звериноголовский	18,91	63,34	13,86	274,10	164,36

5. Содержание тяжелых металлов во всех исследуемых образцах растений превышает содержание их в почвах. Это свидетельствует об аккумуляции гвоздичными таких металлов, как медь, цинк, кобальт и марганец.

Содержание меди в тканях растений порядка гвоздичные превышает ее содержание в контрольных растениях (семейство крестоцветные).

Однако в почвах данных территорий выявлено низкое содержание меди. Вероятно, гвоздичные растения способны аккумулировать медь при низком ее содержании в почве, поэтому для использования их в качестве биоиндикаторов загрязнения почв медью они не подходят.

Кроме того, выявлено, что при увеличении концентрации меди в почве концентрация ее в некоторых растениях не увеличивается. Для участка с максимальным содержанием меди в почве характерно присутствие Кермека Гмелина и Качима метельчатого (площадка 13), наибольшее содержание меди в растении характерно лишь для Качима метельчатого (площадка 2).

Содержание цинка в исследуемых почвах на всех площадках ниже, чем в контрольных. В то же время содержание цинка в растительном материале на данных территориях превышает содержание его в контрольных растениях. Это характерно для Смолевки-хлопушки, Смолевки липкой и Кермека Гмелина. Следовательно, мы можем сделать предположение о биоаккумулирующем свойстве указанных растений и индикационных свойствах на содержание цинка в почве.

Для участка с максимальным содержанием цинка в почве характерно присутствие Кермека Гмелина и Смолевки-хлопушки (площадка 13), наибольшее же содержание цинка в самом растении характерно лишь для Смолевки-хлопушки (площадка 3).

Содержание кобальта в почвах на всех изучаемых территориях превышает контрольное и является практически одинаковым для рассматриваемых почв. Максимальное содержание кобальта в почве наблюдается на площадке, для которой характерно произрастание Качима метельчатого и Качима постенного. Наибольшее же содержание кобальта в самом растении характерно лишь для Качима постенного, который скорее всего аккумулирует кобальт в своих тканях (площадка 2).

Анализ почв на содержание марганца показал, что оно превышает содержание в контрольных образцах (исключение – образец 5). Для растительных образцов характерно колебание содержания марганца от 14 до 268,17 мг/кг (при значении в контроле – 37,12 мг/кг) (рис. 3).

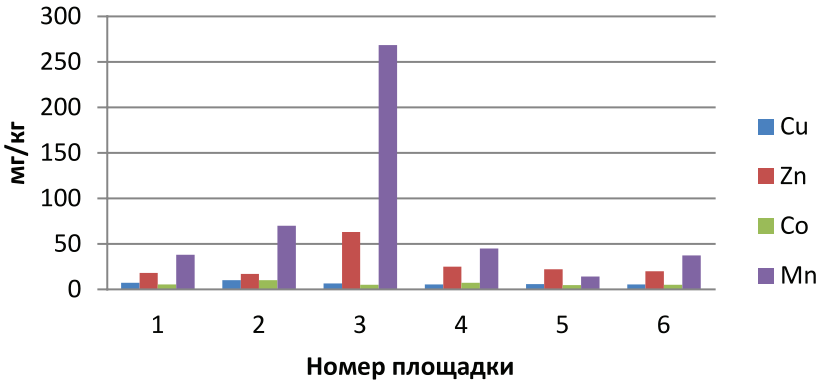

Рис. 3. Динамика содержания тяжелых металлов в растениях. Примечание. 1 – площадка – 1, 2 – площадка – 2, 3 – площадка – 3, 4 – площадка – 5, 5 – площадка – 13, 6 – контроль

При этом наибольшему содержанию марганца в почве (42,5 мг/кг, образец 3) соответствует наибольшее содержание его в растительном образце (268,17 мг/кг, образец 12), взятому с той же площадки (3). Для данной территории характерно произрастание Смолевки-хлопушки.

Изучаемые растения с физиологической точки зрения делятся на группы, в зависимости от реакции на повышенное содержание тяжелых металлов в почве:

1. Обладающие биоконцентрационной способностью – поглощающие из почвы и концентрирующие в тканях металлы.

2. Обладающие аккумулирующим действием – активно поглощающие и медленно расходующие в процессах метаболизма металлы.

3. Поглощающие, но не накапливающие в тканях вследствие активного использования в метаболизме.

В целом между содержанием тяжелых металлов в почве и растениях выявлена определенная динамика. Обнаружена некоторая приуроченность к территориям со значительным содержанием данных металлов в почве определенных видов гвоздичных растений.

6. Выявлена приуроченность гвоздичных растений и к местам произрастания с более высоким естественным радиационным фоном. Средний уровень фона на исследуемых территориях составил 0,09 мкЗв/ч.

Выявлено, что на территориях с максимальным уровнем радиационного фона преобладают такие растения, как Смолевка липкая (среднее значение – 0,87 мкЗв/ч), Качим метельчатый (0,82 мкЗв/ч), Смолёвка татарская (0,67 мкЗв/ч) и Кермек Гмелина (0,83 мкЗв/ч).

Результаты корреляционного анализа. Для того чтобы выявить и проследить динамику тяжелых металлов в химическом составе системы «почва-растение», необходимо доказать наличие корреляционных зависимостей между содержанием различных химических элементов в почвах и растениях.

Хотя биологическая избирательность в отношении химических элементов и позволяет растениям контролировать в определенных пределах свой химический состав, относительно микроэлементов возможности подобного контроля все же ограничены. Поэтому концентрации микроэлементов в растениях часто имеют положительную корреляцию с содержанием этих элементов в почвах и даже с содержанием в подстилающих породах. Вследствие такой корреляции для развития растений и животных возникают трудности, связанные либо с дефицитом микроэлементов, либо с их избытком.

Тяжелые металлы, содержащиеся в почве в большом количестве, в избытке поступают в растения. Избыточное накопление тяжелых металлов в растениях вызывает токсические эффекты как у самих растений, так и у поедающих их животных. Растения, относящиеся к различным видам и семействам, обладают неодинаковой толерантностью к избытку тяжелых металлов в среде обитания. Содержание подвижной формы тяжелых металлов зависит от количества гумуса и карбонатов, наличия влаги, реакции почвенной среды.

В результате проведенного корреляционного анализа взаимодействия тяжелых металлов в системе «почва-растения» нами было выявлено, что подвижные формы меди и цинка находятся в прямой зависимости. Они достаточно сходны в некоторых физико-химических свойствах (относятся к одной группе). Кроме того, так называемые подвижные соединения тяжелых металлов (то есть доступные растениям) составляют лишь 10–25 % общего количества. Их значительная часть входит в состав почвенных минералов, нередко состоящих из песчаных частиц, которые медленно подвергаются разрушающему действию дождевых вод или корневых выделений, и поэтому входящие в их состав элементы питания растениями не усваиваются.

Наблюдаемая отрицательная корреляционная зависимость между содержанием подвижного фосфора и подвижными формами тяжелых металлов почв объясняется образованием малорастворимых соединений указанными элементами с ним и, соответственно, уменьшением содержания подвижных форм.

Кроме того, была выявлена положительная корреляция между кислотностью почв и содержанием тяжелых металлов, которая объясняется тем, что чем выше кислотность почвы, тем более подвижными становятся соединения, образуемые этими элементами.

Что касается выявления содержания в почве подвижных соединений меди, то следует учитывать, что в почвах медь является слабо миграционным элементом, хотя содержание подвижной формы бывает достаточно высоким. Количество подвижной меди зависит от многих факторов: химического и минералогического состава материнской породы, pH почвенного раствора, содержания органического вещества и др. Так, гуминовые и фульвокислоты способны образовывать устойчивые комплексы с медью, а при pH 7–8 растворимость меди наименьшая.

Содержание фосфора в почвах и его доступность для растений имеет приуроченность к определенным типам почв. Наиболее богаты им черноземные почвы, составляющие в Курганской области более трети территории. Поскольку фосфор – один из главных элементов питания, его взаимодействие с цинком, как в самой почве, так и в растениях, становится одной из основных причин дефицита цинка в последних. Фосфор в почве способен создать с цинком трудно растворимые соединения, комплексные соединения (металл-органофосфатные) с разным соотношением лигандов и металла, что, в свою очередь, приводит к различию в подвижности этих комплексов.

Установлено, что антагонизм Zn–P в растениях не может быть объяснен исключительно взаимным ограничением миграционной способности. Это взаимодействие главным образом объясняется физиологическими свойствами растений.

По содержанию кобальта корреляция значима между исследуемыми почвами.

Выявленные тенденции

Полученные данные позволяют предположить наличие взаимосвязи в системе «почва-растения», касающейся приуроченности гвоздичных растений к местам скопления тяжелых металлов в подстилающих породах и почвах, и их определенной видоприуроченности, а следовательно, возможности использования их в качестве достаточно чувствительных организмов-биоиндикаторов содержания тяжелых металлов и их изотопов в почвах и подстилающих породах (рис. 4).

Выводы по модели

1. В рассматриваемой нами системе «почва-растения» между соединениями тяжелых металлов в почве и их соединениями в тканях гвоздичных растений прямых взаимодействий не выявлено. Следовательно, рассматриваемая нами группа растений не является простыми биоаккумуляторами и концентраторами и не «выкачивает» данные элементы с целью их запасов в своих тканях.

2. Содержание кобальта и марганца в почве и растениях связано не напрямую, а опосредованно через пары «кобальт-марганец». Связующим звеном между содержанием кобальта в почве и растениях является содержание марганца в почве, а содержание марганца в растениях определяется содержанием в них кобальта.

3. Между поглощением растениями меди и фосфора имеется тесная взаимосвязь. Поглощение фосфора растениями из почвы зависит от подвижности фосфорных соединений в почве, определяемой ее кислотностью, следовательно кислотность почвы является определяющим фактором уровня поглощения растениями данных элементов (меди и фосфора).

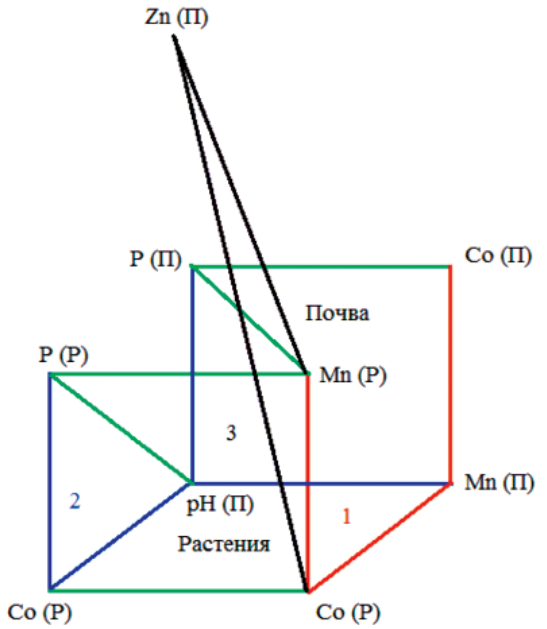

Рис. 4. Модель взаимосвязей в системе «почва-растения». Примечание. P – фосфор, Mn – марганец, Co – кобальт, Zn – цинк, (П) – почва, (P) – растения

4. Выявлено сложное взаимодействие между содержанием цинка в почве, марганца и кобальта в растениях. Данное взаимодействие может быть как прямым (цинк-марганец, цинк-кобальт), так и опосредованным между содержанием кобальта в растениях и цинка в почве.

5. Рассматриваемая группа растений имеет сложное взаимодействие с почвой на уровне метаболизма (включение в биохимические, физиологические процессы тканей) через цепь взаимосвязей между содержанием тяжелых металлов в почве и их динамикой в растительных организмах.

6. Подтверждением того, что данную группу растений можно считать индикационной на тяжелые металлы в почве, являются следующие аргументы:

а) обилие данной группы растений зависит от содержания тяжелых металлов в почве;

б) данная группа растений произрастает на почвах, радиационный фон которых значительно выше, чем на окружающих территориях;

в) естественный радиационный фон на данных территориях создается содержа-

щимися в почвах и подстилающих породах изотопами изучаемых нами тяжелых металлов, что было подтверждено ранее проведенными исследованиями;

г) в рамках выделенной группы гвоздичных растений выявлена прямая взаимосвязь между содержанием конкретных элементов в почве и в конкретных видах растений.

Список литературы

1. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учебное пособие / под ред. О.П. Мелеховой, Е.И. Егоровой. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 288 с.

2. Боровик-Романова Т.Ф. Спектральное определение микроэлементов в растениях и почвах / Т.Ф. Боровик-Романова, М.М. Фарафонов, И.Ф. Грибовская. – М.: Наука, 1973. – 109 с

3. Дмитриенко В.П. Экологический мониторинг техносферы: учебное пособие / В.П. Дмитриенко, В.Е. Сотникова, А.В. Черняев. – СПб.: Изд-во «Лань», 2012. – 368 с.

4. Природные ресурсы и охрана окружающей среды Курганской области в 2012 году: доклад. – Курган, 2012.

5. Тетельмин В.В., Язев В.А. Основы экологического мониторинга: учебное пособие. – Долгопрудный: Изд-во Дом «Интеллект», 2013. – 256 с.

References

1. Biological control environment: Bioindication and bioassay: textbook / ed. O.P. Melehovoy, E.I. Egorovoy. Moscow: Publishing Center «Academy2, 2007. 288 p.

2. Borovik-Romanov TF Spectral Determination of trace elements in plants and soils / T.F. Borovik-Romanova, M.M. Farafonov, I.F. Gribovskaya. Moscow: Nauka, 1973. 109 p.

3. Dmitrienko VP Environmental monitoring of the technosphere: textbook / V.P. Dmitrienko, V.E. Sotnikova, A.V. Chernyaev. St. Petersburg.: Publisher «Lan», in 2012. 368.

4. Natural Resources and Environment in the Kurgan region in 2012: report. Barrow, 2012.

5. Tetelmin V.V., Yaz V.A. Basic environmental monitoring: a tutorial. Recently: Publishing House «Intelligence», 2013. 256 p.

Рецензенты:

Бухтояров О.И., д.х.н., профессор, советник при ректорате, ФГБОУ ВПО «Курганский государственный университет», г. Курган;

Козлов О.В., д.б.н., доцент, зав. кафедрой зоологии и биоэкологии, ФГБОУ ВПО «Курганский государственный университет», г. Курган.

Работа поступила в редакцию 21.03.2014.