

УДК 631.52(575.2)

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАСТЕНИЯХ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ВОСТОЧНОГО ПРИИССЫККУЛЬЯ

Кенжебаева А.В.

*Кыргызский национальный аграрный университет им. К.И. Скрябина, Бишкек,
e-mail: sezim73@mail.ru*

Атомно-эмиссионным спектральным методом исследовано содержание меди, свинца, марганца в органах растений, относящихся к семействам барбарисовые, лоховые, яснотковые, сложноцветные и злаковые, из культурных растений – пшеница озимая (зерновые), эспарцет песчаный (многолетние). Озольнение проб проведено автором в лаборатории биогеохимии и радиэкологии Института биологии Национальной академии наук Кыргызстана в откалиброванной муфельной печи Naberthem. Содержание ТМ в пробах определяли в аккредитованной лаборатории Государственного комитета промышленности, энергетики и недропользования Кыргызской Республики. Содержание элементов в растениях зависит от видовой принадлежности, а также существенно влияют почвенно-геохимические условия, что проявилось в отношении *Hippophae rhamnoides* L. Отмечается неодинаковое накопление элементов разными видами растений и их органами. Проведен расчет коэффициента биологического поглощения, характеризующего интенсивность биогенной миграции. Тяжелые металлы по среднему содержанию в золе растений располагаются в порядке убывания $Mn > Cu > Pb$. Максимальная концентрация меди и свинца в большинстве растений обнаружена в листьях. Марганец накапливается в основном корнями. Зерна пшеницы наиболее защищены от избытка металлов. В цветках содержание меньше, чем в листьях и корнях, но больше, чем в стеблях. *Hippophae rhamnoides* L. отнесена к индикаторам меди, свинец и марганец являются труднодоступными элементами для всех растений.

Ключевые слова: тяжелые металлы, растения, органы растений, коэффициент биологического поглощения

THE CONTENT OF HEAVY METALS OF THE COASTAL ZONE OF THE ESTERN ISSYK-KUL REGION

Kenzhebaeva A.V.

Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Skryabin, Bishkek, e-mail: sezim73@mail.ru

Atomic emission spectral method was used to determine the content of copper, lead, manganese in the organs of plants belonging to the Barberry, Oleaster, Lamiaceae, Compositae and Gramineae families, from cultivated plants – winter wheat (cereals), Hungarian sainfoin (perennial). Different accumulation of elements by different plant species and their organs is observed. The samples were salted by the author in the laboratory of biogeochemistry and radioecology of the Institute of Biology of the National Academy of Sciences of Kyrgyzstan in the calibrated muffle furnace Naberthem. The heavy metals content in samples was determined in the accredited laboratory of the state Committee of industry, energy and subsoil use of the Kyrgyz Republic. The content of elements in plants depends on the species, as well as significantly affect the soil-geochemical conditions, which manifested the ratio *Hippophae rhamnoides* L. Plants-accumulators and plants-indicators of the elements were identified. The calculation of the coefficient of biological absorption, characterizing the intensity of biogenic migration. Heavy metals by the average content in the ash of plants are arranged in descending order $Mn > Cu > Pb$. The maximum concentration of copper and lead in most plants is found in the leaves. Manganese is accumulated mainly in roots. Wheat grains are most protected from metals abundance. Flowers contain less than leaves and roots, but more than in stems. *Hippophae rhamnoides* L. is referred to indicators of copper, lead and manganese are hard to reach elements for all plants.

Keywords: heavy metals plants, plant organ, biological absorption coefficient

Прибрежные экосистемы, как наиболее уязвимые к антропогенному воздействию, являются неотъемлемой частью биосферной территории Иссык-Куль. Естественная растительность прибрежной зоны Восточного Прииссыккулья состоит в основном из видов растений сухих и влажных местообитаний. Здесь широко распространены злаковые и полынные формации, состоящие из злаково-полынных, злаково-разнотравных, полынно-разнотравных ассоциаций, облепиховые формации, состоящие из облепихово-полынных, облепихово-барбарисовых и облепихово-разнотравных ассоциаций. Заросли облепихи, которая является эдификатором, выполняют почво-

защитную и водоохранную функции. Дикорастущие кустарниковые и травянистые растения, произрастающие в прибрежной зоне, имеют лекарственное, пищевое значение, являются ценными кормами для сельскохозяйственных животных. В связи с этим установление уровня содержания тяжелых металлов (ТМ) в растениях играет важную роль в оценке биогенной миграции и необходимо для проведения контроля в целях экологически безопасного их применения.

Известно, что поглощение и накопление химических элементов (ХЭ) по органам растений зависит от многих факторов: содержание в почве, формы подвижности, вида

растений, органа и времени опробования, биохимических свойств самих поллютантов [1, 2]. Показателем степени избирательного поглощения элементов видами растений является коэффициент биологического накопления или поглощения (КБН, КБП), он характеризует потенциальную доступность ТМ растениям и интенсивность биогенной миграции в ландшафте [3–5]. При значениях коэффициента выше единицы растение относится к аккумуляторам, порядка 1 – классифицируется как индикатор, меньше 1 – исключитель [6].

Разными авторами отмечается неравномерность накопления ТМ разными органами. Чаще всего накопление убывает в следующем порядке: корень – стебель – листья – семена (клубни – корнеплоды) [7].

Цель исследования – изучение содержания ТМ в растениях. В задачи входило: 1) изучение содержания ТМ в разных видах растений и их органах; 2) определение КБП видов растений.

Материалы и методы исследования

Отбор растений проводили в летний период 2012–2014 гг. Для исследования были выбраны доминирующие виды растений, относящиеся к следующим семействам: барбарисовые (Berberidaceae); лоховые (Elaeagnaceae); яснотковые (Lamiaceae); астровые или сложноцветные (Asteraceae); злаковые (Poaceae). Из культурных растений – пшеница озимая (зерновые), эспарцет песчаный (многолетние).

Растения отбирали согласно общепринятым методикам. Пробы на определение элементов в растительных органах подготавливали следующим образом: предварительно корни растений промывали проточной, затем дистиллированной водой. Растения высушивали до воздушно-сухого состояния, разделяли на органы, измельчали и упаковывали отдельно. Согласно методике озоления растительных и био-

генных проб образцы органов растений озоляли в муфельной печи Naberthem в лаборатории биогеохимии и радиоэкологии Института биологии НАН КР. Содержание ТМ в пробах определяли атомно-эмиссионным спектральным методом в Центральной лаборатории Государственного комитета промышленности, энергетики и недропользования на дифракционном спектрографе ДФС-8. (Регистрационный номер аттестата аккредитации KG 417/КЦА.ИЛ.026).

Для выяснения вклада отдельного органа растения в накопление ТМ, нами рассчитывался коэффициент накопления (КН) элементов для корней, стеблей, листьев, при наличии, для плодов, цветков, зерна, соломы. Расчеты производились по формуле

$$КН = C_{орг} / C_{общ}$$

где КН – коэффициент накопления органа растения, $C_{орг}$ – концентрация элемента в органе, $C_{общ}$ – общее количество элемента в растении [8].

Результаты исследования и их обсуждение

Тяжелые металлы (Cu, Pb, Mn) определяли в доминирующих видах растений, произрастающих на 10 участках: тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* Ledeb), шалфей пустынный (*Salvia deserta* Schang) – уч. 1; облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.) – уч. 3 и 5; мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) – уч. 4; полынь плотная (*Artemisia compacta* Fisch.ex.DS) – уч. 6; полынь поздняя (*Artemisia serotina* Vge) – уч. 7, полынь эстрагон (*Artemisia dracuncululus* L.) – уч. 8, эспарцет песчаный (*Onobrychis arenaria* (Kit.ex Willd) – уч. 9, барбарис разножковый (*Berberis heteropoda* Schrenk) – уч.10.

Содержание ТМ в растениях (общее), отдельно по органам и коэффициенты биологического поглощения (КБП) представлены в таблице.

Содержание ТМ в органах растений (мг/кг золы) и коэффициенты биологического поглощения (КБП)

№ участка	Название растений, органы растений	Cu	Pb	Mn	
1	Тысячелистник обыкновенный (<i>Achillea millefolium</i> Ledeb)	корни	2,49	0,42	36,75
		стебли	0,85	0,125	14,6
		листья	2,35	0,35	35,3
		цветки	2,28	0,22	13,4
		общее	7,977	1,115	100,05
		КБП	0,398	0,028	0,200
	Шалфей пустынный (<i>Salvia deserta</i> Schang)	корни	3,34	0,36	33,4
		стебли	1,31	0,2	24,45
		листья	6,83	0,975	37,4
		цветки	2,57	0,25	38,75
		общее	14,05	1,785	134
		КБП	0,702	0,045	0,268

Окончание таблицы					
№ участка	Название растений, органы растений		Cu	Pb	Mn
2	Пшеница озимая (<i>Triticum aestivum</i> L.)	корни	3,48	0,81	81,2
		солома	2,2	0,17	27,5
		зерно	1,17	0,15	29,1
		общее	6,85	1,13	137,8
		КБП	0,228	0,56	0,196
3	Облепиха крушиновидная (<i>Hippophae rhamnoides</i> L.)	корни	1,98	0,21	29,4
		стебли	0,91	0,4	12,6
		листья	10,825	1,39	38,5
		плоды	1,945	0,3	11,55
		общее	15,65	2,35	92,05
		КБП	1,043	0,078	0,184
4	Мятлик луговой (<i>Poa pratensis</i> L.)	корни	3,53	0,47	82,6
		листья	1,41	следы	1,9
		общее	4,94	0,47	84,5
		КБП	0,247	0,023	0,169
5	Облепиха крушиновидная (<i>Hippophae rhamnoides</i> L.)	корни	0,74	следы	14,8
		стебли	1,77	0,245	23,85
		листья	1,83	0,245	40,65
		плоды	3,045	следы	6,2
		общее	7,385	0,49	85,5
		КБП	0,492	0,016	0,285
6	Полынь плотная (<i>Artemisia compacta</i> Fisch.ex.DS)	корни	1,6	1,025	39,2
		стебли	3,65	0,11	29,2
		листья	5,275	1,585	74,2
		общее	10,525	2,72	142,6
		КБП	0,263	0,068	0,285
7	Полынь поздняя (<i>Artemisia serotina</i> Bge)	корни	2,445	0,435	31,35
		стебли	1,62	0,16	16,2
		листья	4,59	1,23	60,45
		общее	8,655	1,825	108
		КБП	0,433	0,091	0,27
8	Полынь эстрагон (<i>Artemisia dracunculus</i> L.)	корни	1,97	0,21	25
		стебли	0,9	0,09	9
		листья	2,255	0,32	40,65
		общее	5,125	0,62	74,65
		КБП	0,427	0,041	0,248
9	Эспарцет песчаный (<i>Onobrychis arenaria</i> (Kit.ex Willd) DC)	корни	3,915	0,55	31,1
		стебли	0,965	следы	39,8
		листья	2,695	0,58	167,2
		общее	7,575	1,13	238,1
		КБП	0,631	0,075	0,595
10	Барбарис разноножковый (<i>Berberis heteropoda</i> Schrenk)	корни	2,43	0,15	22,5
		стебли	1	0,15	16,5
		листья	1,55	0,19	21,85
		плоды	1,815	следы	13,05
		общее	6,795	0,49	73,9
		КБП	0,34	0,07	0,148
Среднее содержание по растениям			8,68	1,28	115,56
Среднее содержание в золе растений (по Ткаличу С.М.) в мг/кг			200	10	7500

Содержание меди колеблется в разных видах растений от 4,94 (мятлик луговой, уч. 4) до 15,65 мг/кг золы (облепиха крушиновидная, уч. 3) При этом в облепихе крушиновидной, произрастающей на горно-долинных светло-каштановых почвах, но отобранной на разных участках, концентрации различаются почти в 2 раза. Концентрация свинца варьирует от 2,72 мг/кг золы в полыни плотной (уч. 6) до 0,49 мг/кг золы в барбарисе разноножковом (уч. 10). Марганца содержится от 73,9 мг/кг олы в барбарисе разноножковом до 238, 1 мг/кг золы в эспарцете песчаном.

Среднее содержание ТМ в золе растений находится ниже данных С.М. Ткалича [9] с сохранением общей закономерности: $Mn > Cu > Pb$ (таблица).

Распределение элементов в органах изученных растений в процентах представлено в диаграммах рис. 1–3.

В 4 образцах (тысячелистник обыкновенный, мятлик луговой, эспарцет песчаный, барбарис разноножковый) содержание меди варьирует от 31,24 до 71,45% в корнях, это

выше, чем в листьях. В стеблях всех растений аккумуляция элемента меньше по сравнению с листьями. В цветках тысячелистника обыкновенного и шалфея пустынного накопление меди можно охарактеризовать следующим образом: листья, корни < цветки > стебель. В плодах облепихи, отобранных на разных участках, содержание металла колеблется от 69,16 до 12,42%. Плоды барбариса содержат элемент на 4% больше, чем листья. От избытка меди хорошо защищены зерна пшеницы (рис. 1).

Убывание в накоплении свинца от корней к стеблям, от стеблей к листьям, от листьев к цветкам не выявлено. Так, в шалфее пустынном, облепихе крушиновидной (уч. 3), в видах полыни, эспарцете песчаном, барбарисе разноножковом содержание в листьях выше по сравнению с корнями, варьирует в пределах 38,77–67,39%. У всех растений, кроме облепихи (уч. 5), концентрация ниже в стеблях, чем в листьях. У тысячелистника обыкновенного и шалфея пустынного в цветках прослеживается аналогия с медью (рис. 2).

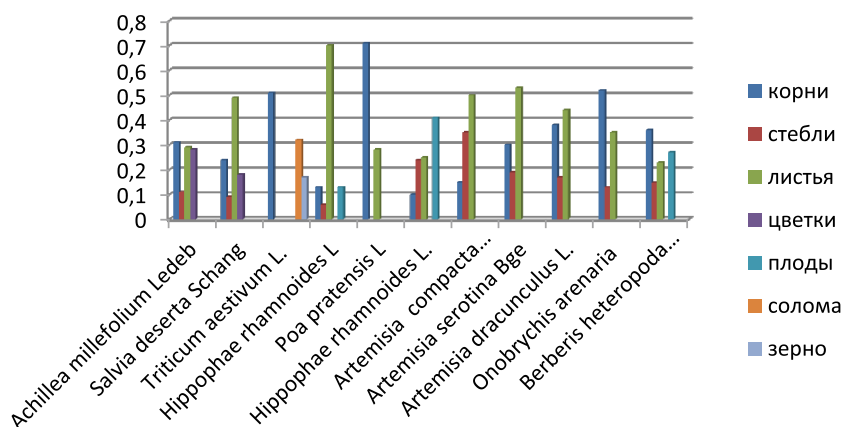


Рис. 1. Содержание меди в различных органах растений (%)

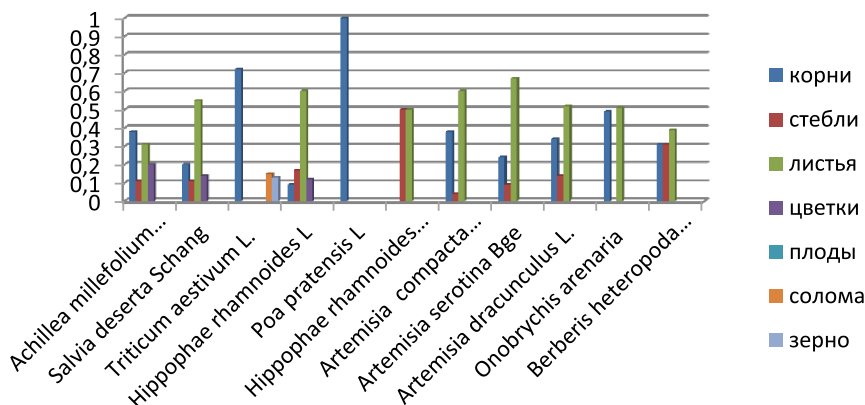


Рис. 2. Содержание свинца в различных органах растений (%)

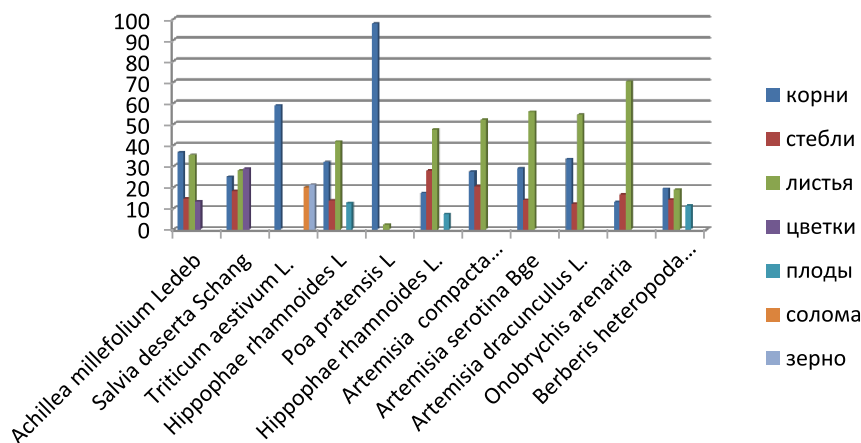


Рис. 3. Содержание марганца в различных органах растений (%)

В тысячелистнике обыкновенном, пшенице озимой и мятлике луговом в корнях сконцентрировано 36,75; 58,92 и 97,75% марганца от общего содержания в растении. Листья облепихи крушиновидной, видов полыни, эспарцета песчаного отличаются повышенным накоплением элемента в листьях по сравнению со стеблями. Приблизительно одинаковое распределение в корнях и листьях у барбариса разноожиного, тысячелистника обыкновенного. На одном уровне отмечено содержание в генеративных органах и стеблях тысячелистника обыкновенного, а также стеблях и цветках шалфея пустынного. Органы запасаения наиболее защищены от вредного воздействия элемента (рис. 3).

Коэффициент биологического поглощения растений. Выявлено, что облепиха крушиновидная (уч. 3) является индикатором меди. Свинец и марганец относятся к труднодоступным элементам (КБП меньше 1) для всех видов растений.

Закключение

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Содержание тяжелых металлов в растениях различается в зависимости от видов, от свойств самих элементов, а также условий местообитания, что ярко выражено у облепихи крушиновидной, отобранной на разных участках.

2. Превышения средних значений концентрации в золе растений относительно данных С.М. Ткалича (1970) не обнаружено.

3. Рассматривая накопление по органам растений, можно отметить, что базипетальными элементами для большинства

растений являются медь, свинец. Пшеница озимая и мятлик луговой проявили в отношении всех элементов акропетальный характер распределения. Для марганца характерно акропетальное накопление, за исключением эспарцета песчаного (отмечается высокое накопление в листьях).

4. Расчеты коэффициентов биологического поглощения показали, что индикатором меди является облепиха крушиновидная (уч. 3). Свинец и марганец являются труднодоступными элементами для всех видов растений.

Список литературы

1. Ковалевский А.Л., Ковалевская О.М. Биогеохимия урановых месторождений и методические основы их поисков. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2010. 356 с.
2. Сигбатуллина М.Ш. Металлы в дикорастущих растениях Татарстана и факторы, определяющие их содержание: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Казань, 2009. 23 с.
3. Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Ефимов О.Е., Злобина М.В. Ландшафтоведение. М.: Изд-во РГАУ – МСХА, 2016. 130 с.
4. Попова Л.Ф., Неквасина Е.Н. Нормирование качества городских почв и организация почвенно-химического мониторинга. Архангельск, 2014. 108 с.
5. Алексеенко В.А. Панин М.С., Дженбаев Б.М. Геохимическая экология. Понятия и законы. Бишкек, 2013. 310 с.
6. Baker A.J.M. Accumulators and excluders strategies in the response to plants of heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*. 1981. Vol. 3. P. 643–646.
7. Опекунова М.Г. Диагностика техногенной трансформации ландшафтов на основе биоиндикации: автореф. дис. ... докт. геогр. наук. Санкт-Петербург, 2013. 36 с.
8. Романькова А.А., Батлуцкая И.В. Содержание кадмия и свинца в высших растениях на территории Красненского района Белгородской области // *Научные ведомости. Серия Естественные науки*. 2011. № 3 (98). Вып. 14. С. 68–75.
9. Ткалич С.М. Фитогеохимический метод поисков месторождений полезных ископаемых. Л.: Недра, 1970. 176 с.