

## Параметры распределения и оценка корреляционной связи между микроэлементами (Bi, Ba, Sr, Mn, Ni, Ti, Cr, V, Ca, Fe, Mg) в растительном покрове Яман-Касинского медноколчеданного месторождения

В.Б. Черняхов, к.г.-м.н., Е.Г. Щеглова, к.б.н.,  
ФГБОУ ВО Оренбургский ГУ

Изучение содержания микроэлементов в растительном покрове Яман-Касинского медноколчеданного месторождения требует рассмотрения основных параметров, закономерностей распределения и оценки корреляционной связи между различными микроэлементами, в том числе Bi, Ba, Sr, Mn, Ni, Ti, Cr, V, Ca, Fe, Mg.

Встречаемость висмута (Bi) в золе растений, произрастающих в районе Яман-Касинского медноколчеданного месторождения, ввиду низкой чувствительности спектрального анализа на этот элемент невысокая — менее 15%. В растениях он обнаружен только над эпицентром рудного тела. Его содержание составляет  $0,1–0,3 \cdot 10^{-3}\%$ .

Биологическое накопление бария (Ba) осуществляется всеми растениями. Наиболее энергично он концентрируется отдельными видами, относящимися к таким биоморфам, как деревья, кустарники, полукустарнички. Наиболее высокие концентрации Ba отмечаются в ветвях и листьях *Betula pendula* (соответственно  $201,5 \cdot 10^{-3}\%$  и  $120 \cdot 10^{-3}\%$ ), ветвях *Cerasus fruticosa* ( $102,4 \cdot 10^{-3}\%$ ), ветвях и листьях *Populus tremula* ( $84,1 \cdot 10^{-3}\%$  и  $35,1 \cdot 10^{-3}\%$ ) и ветвях *Spiraea crenata* ( $32,4 \cdot 10^{-3}\%$ ).

У остальных растений содержание Ba лежит ниже РКР (табл.). Распределение Ba по органам растений является нейтральным или преимущественно акропетальным в надземной части. У деревьев и кустарников, большинства полукустарничков Ba накапливается в стеблях больше, чем в листьях. В отдельных случаях у *Artemisia austriaca*, *Stipa rubens*, *Echinops ritro* имело место обратное соот-

ношение. В корнях травянистых растений бария содержится больше, чем в отдельных органах надземной части, у полукустарничков корни содержат его в меньшем количестве, чем стебли.

Среднее содержание стронция (Sr) во всех видах растений, относящихся к биоморфам дерево, кустарник, полукустарник, в 2–4 раза превышают РКР. У *Betula pendula* и *Populus tremula* они максимальные и составляют  $117,5–122,7 \cdot 10^{-3}\%$  в ветвях и  $60–64,1 \cdot 10^{-3}\%$  в листьях. Такое же содержание характерно для ветвей *Cerasus fruticosa* и *Spiraea crenata*. У злаков и травянистых растений концентрация Sr близка к РКР (табл.). Распределение Sr по органам растений нейтральное или преимущественно акропетальное в надземной части. В корнях, стеблях и листьях растений, отобранных на одних и тех же площадках, содержание стронция примерно одинаковое.

Из литофильных элементов марганец (Mn) представляет наибольший интерес, так как его ореолы в породах палеозоя окаймляют рудные тела. В пределах месторождения отдельные виды растений в различной степени обогащены этим элементом. Наибольшее содержание Mn отмечается у деревьев, кустарников, полукустарничков и отдельных видов злаков и травянистых многолетников. Однако в большинстве случаев средние содержания магния у всех растений находятся ниже РКР или равны ему (табл.). Лишь у *Spiraea crenata*, *Cotoneaster melanocarpa* концентрация Mn выше РКР. Его содержание у этих растений составляет соответственно  $0,2–0,25\%$ . В корнях Mn концентрируется больше, чем в надземных органах, а последние характеризуются базипетальным распределением, т.е. преобладанием Mn в молодых органах — листьях.

Среднее содержание никеля (Ni) в большинстве опробованных растений находится ниже РКР. Лишь кустарники, приуроченные к мало-сформировавшимся чернозёмам обыкновенным ортоэлювиальным ландшафтов, содержат Ni в количестве, превышающем РКР (табл.). Содержание Ni в этих условиях у *Caragana frutex*, *Spiraea crenata*, *Cotoneaster melanocarpa* составляет  $4,0-6,35 \cdot 10^{-3}\%$ . Ni характеризуется мало-контрастным акропетальным распределением в органах растений. Несколько большие его концентрации характерны для золы корней и старых ветвей. Стебли текущего года и листья отличаются по содержанию Ni незначительно.

Встречаемость кобальта (Co) в золе опробованных растений составляет 85%. Лучше его концентрируют деревья, кустарники и полукустарнички (табл.). А в общем его содержание в опробованных растениях близко к нормальным –  $0,3-1,0 \cdot 10^{-3}\%$ . В подземных органах Co содержится несколько больше, чем в стеблях и листьях.

Все растения в пределах месторождения значительно обогащены титаном (Ti). Наиболее высокая концентрация Ti отмечается у кустарников и полукустарничков и колеблется в пределах от  $58 \cdot 10^{-3}\%$  до  $105 \cdot 10^{-3}\%$ , что более чем в 50–100 раз превышает РКР (табл.). Распределение Ti по органам растений носит акропетальный характер. Наибольшее содержание Ti характерно для корней. Стебли содержат Ti в большем количестве, чем листья.

Хром в пределах месторождения растениями концентрируется слабо. Содержание его примерно одинаково у всех растений. Модальное значение  $1 \cdot 10^{-3}\%$ . Максимальное (единично) содержание достигает  $4 \cdot 10^{-3}\%$ . В корнях Cr содержится в больших количествах, чем в надземных органах.

Среднее содержание ванадия (V) в золе опробованных растений в пределах месторождения составляет  $1-2,5 \cdot 10^{-3}\%$ , т.е. близко к нормальному (табл. 1), лежащему в пределах от  $0,5 \cdot 10^{-3}\%$  до  $5 \cdot 10^{-3}\%$ . Распределение по органам растений нейтральное.

Содержание кальция (Ca) во всех опробованных растениях лежит в широком диапазоне концентраций – от 1 до 10%, что обусловлено наличием зон карбонитизации. Наибольшее содержание Ca характерно для деревьев, кустарников и полукустарничков (табл.). Распределение Ca по органам нейтральное. У травянистых многолетников может наблюдаться преобладание Ca в корнях и быть равным с содержанием в надземных органах.

В связи с развитием вокруг рудного тела ореола сильноожеженных пород (липарито-дацитовых порфиров) происходит энергичная аккумуляция железа (Fe), а также другого сидерофильного элемента – Mn растениями. Все произрастающие здесь растения в значительной степени обогащены железом, содержание которого в золе растений колеблется от 0,09 до 0,88% (табл.). Наибольшее со-

держание отмечается в стеблях *Thymus marschallianus* и *Spiraea crenata* и составляет соответственно 0,88 и 0,75%, а также в листьях *Artemisia austriaca* – 0,62%. В надземных органах среднее содержание железа в стеблях в 1,5 раза превышает его содержание в листьях. В корнях отмечается резкое увеличение концентрации железа, достигающей 1,68–3,39%.

Среднее содержание магния (Mg) в растениях на Яман-Касинском месторождении находится в диапазоне 2–6% (табл.); распределение по органам растений примерно одинаковое.

В ранее опубликованных работах были рассмотрены основные параметры распределения других микроэлементов в растительном покрове Яман-Касинского медноколчеданного месторождения и дана оценка корреляционной связи между содержанием этих элементов в корнях, стеблях, листьях одного и того же растения [1–3]. На примере *Artemisia marschalliana*, произрастающей на липарито-дацитовых порфирах, были изучены корреляционные связи Bi, Ba, Sr, Mn, Ni, Ti, Cr, V, Ca, Fe, Mg в различных органах растения.

Так, для Sr выявлена положительная корреляционная связь: коэффициент корреляции между его содержанием в корнях и стеблях *Artemisia marschalliana* составляет +0,76, между содержанием в корнях и листьях – +0,59 и между содержанием в стеблях и листьях – +0,63.

Барий характеризуется высоким коэффициентом корреляции между содержанием этого элемента в корнях и стеблях (+0,90), обратной зависимостью между содержанием в корнях и листьях, низкой положительной связью между содержанием в стеблях и листьях.

Для Fe характерна прямая положительная связь между содержанием этого элемента во всех органах, однако высокий коэффициент корреляции отмечен только для корней – стеблей.

Титан отличается низким положительным коэффициентом корреляции между содержанием в корнях и стеблях (+0,30) и обратной зависимостью между содержанием в корнях – листьях и стеблях – листьях.

Для Ca отмечается обратная зависимость между содержанием в корнях и стеблях и низкие положительные коэффициенты корреляции между содержанием в корнях – стеблях и стеблях – листьях (ниже критического уровня  $rq$ ).

Содержания Mg характеризуются прямой зависимостью между всеми органами при величине коэффициентов, равной критическому значению  $rq + 0,48$ .

Установлено, что зависимость между содержанием элементов в сравниваемых органах носит сложный характер. Величины коэффициентов корреляции отражают тесноту связи и тип зависимости между элементами, что позволяет решать многие теоретические и практические вопросы, связанные с биогеохимической индикацией. С их помощью можно определить характер поглощения

Среднее содержание химических элементов, n\*10-3 % в золе растений, приуроченных к диабазам Яман-Касинского месторождения

Вид растения	Ni		Mn		Sr		Ba		Fe		V		Ti		Ca		Mg	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
Кустарники																		
<i>Amygdalus nana</i> L.	2,33/ 0,93	1,08/ 0,10	105,0/ 60,0	44,2/ 26,0	101,7/ 48,3	64,6/ 26,4	32,6/ 2,4	24,0/ 0,6	1503,0/ 225,0	2318,6/ 108,4	2,0/ 2,2	1,10/ 0,98	78,0/ 35,8	77,9/ 23,3	7,2/ 8,0	85,8/ 56,6	2,9/ 7,0	34,7/ 52,9
<i>Caragana frutex</i> (L.) C. Koch	3,60/ 0,91	0,89/ 5,47	70,0/ 91,6	25,5/ 57,4	72,0/ 61,6	46,6/ 31,9	4,6/ 7,0	20,1/ 7,4	1520,0/ 183,3	90,9/ 68,3	1,6/ 1,5	0,89/ 0,17	220,0/ 30,8	83,7/ 12,8	7,6/ 7,2	2,8/ 352,7	2,4/ 4,6	28,3/ 352,7
<i>Cytisus ruthenicus</i> Fisch.	2,50/ 1,07	2,13/ 0,65	250,0/ 275,0	70,7/ 50,0	45,0/ 27,5	7,1/ 5,0	40,0/ 2,0	14,1/ 0,0	400,0/ 115,0	282,8/ 59,7	1,5/ 1,5	7,07/ 0,57	45,0/ 22,5	49,5/ 5,0	2,5/ 6,5	22,4/ 79,6	4,5/ 4,5	21,2/ 54,8
<i>Spiraea crenata</i> L.	4,40/ 7,50	1,34/ 11,08	80,0/ 275,0	44,7/ 61,2	46,0/ 33,3	23,0/ 24,2	46,2/ 32,8	38,1/ 29,9	480,0/ 416,6	83,7/ 240,1	2,4/ 2,5	0,7/ 0,55	37,6/ 37,1	38,7/ 36,3	5,4/ 5,3	54,8/ 47,6	3,4/ 6,2	48,0/ 64,6
Полудекустарнички																		
<i>Thymus marschallianus</i> Willd.	2,38/ 1,23	1,16/ 0,73	63,3/ 124,0	26,6/ 64,5	25,8/ 19,5	9,2/ 9,3	26,2/ 6,8	27,9/ 5,5	1150,0/ 765,0	1125,6/ 1159,5	2,7/ 1,6	1,03/ 0,69	250,0/ 65,0	134,2/ 52,5	4,2/ 3,8	31,1/ 24,9	2,6/ 4,1	21,0/ 76,2
Злаки																		
<i>Festuca sulcata</i> Haek.	0,72/ 1,73	0,31/ 1,31	52,0/ 45,0	17,9/ 5,8	12,0/ 11,5	4,5/ 3,4	1,8/ 1,7	0,5/ 0,7	188,0/ 650,0	152,7/ 535,1	1,2/ 3,1	1,08/ 2,27	34,0/ 115,5	11,4/ 95,4	1,3/ 2,0	14,1/ 90,7	0,9/ 1,1	11,0/ 14,8
<i>Poa stepposa</i> (Kryl.) Roshev.	1,05/ 2,00	0,44/ 0,00	55,7/ 60,0	19,9/ 28,3	19,2/ 17,5	10,2/ 3,5	7,9/ 10,0	10,2/ 0,0	325,7/ 700,0	77,9/ 424,3	1,7/ 3,0	0,95/ 1,41	34,2/ 105,0	24,6/ 63,6	0,8/ 1,5	6,4/ 22,4	0,7/ 0,8	8,7/ 8,94
<i>Stipa rubens</i> P. Smirn.	0,93/ 0,80	0,35/ 0,20	50,0/ 19,0	25,3/ 7,4	14,1/ 14,0	3,8/ 4,2	3,0/ 2,0	1,4/ 0,0	5171,0/ 288,0	7614,1/ 302,2	2,0/ 2,2	1,55/ 1,31	33,3/ 22,2	38,4/ 22,3	1,9/ 1,0	41,5/ 2,8	1,8/ 0,8	31,3/ 6,9
Многолетние травянистые растения																		
<i>Galatella vi losa</i> (L.) Reichb.	1,20/ 0,87	0,47/ 1,52	71,4/ 62,5	2,7/ 11,1	34,3/ 25,6	7,9/ 9,7	5,7/ 9,1	4,1/ 2,6	400,0/ 350,0	294,4/ 27,7	1,9/ 1,6	8,99/ 1,27	70,0/ 80,0	65,3/ 8,1	3,0/ 3,7	31,6/ 2,0	2,8/ 3,1	25,6/ 2,0
<i>Filipendula vulgaris</i> Moench.	0,73/ 0,76	0,01/ 0,48	45,0/ 55,0	51,1/ 43,8	36,6/ 33,8	16,3/ 14,1	18,2/ 3,5	19,3/ 3,3	138,0/ 226,3	93,9/ 179,6	1,8/ 2,1	0,40/ 0,35	21,3/ 18,4	12,1/ 12,1	5,8/ 5,3	90,4/ 50,0	2,7/ 3,3	37,0/ 40,5
<i>Sanguisorba officinalis</i> L.	0,88/ 0,97	0,77/ 0,53	66,6/ 95,5	53,3/ 28,34	39,1/ 31,6	17,8/ 17,6	15,1/ 6,0	17,3/ 9,8	395,0/ 301,1	849,0/ 254,8	—/ 1,9	—/ 0,33	42,3/ 45,0	5,6/ 28,9	0,1/ 5,2	2,1/ 88,9	2,8/ 2,4	2,6/ 51,1
<i>Salvia stepposa</i> Schost.	0,86/ 1,02	0,44/ 0,90	40,0/ 47,0	21,06/ 20,57	44,4/ 36,0	16,8/ 11,7	23,3/ 15,6	32,1/ 18,9	201,1/ 395,0	108,0/ 254,4	2,0/ 2,0	0,87/ 0,80	33,3/ 70,0	16,6/ 48,8	5,1/ 5,1	48,6/ 2,7	4,8/ 8,7	66,7/ 59,1
<i>Veronica incana</i> L.	2,26/ 1,32	2,37/ 0,53	36,6/ 60,0	25,16/ 29,44	20,0/ 25,0	0,0/ 5,8	13,0/ 5,8	14,7/ 3,3	600,0/ 450,0	140,0/ 100,0	2,3/ 2,0	0,57/ 0,82	96,6/ 37,5	90,7/ 5,0	3,3/ 4,0	48,3/ 44,7	2,2/ 2,6	50,8/ 35,0

химических элементов растениями, выявить физиологические барьеры поглощения, выбрать органы, наиболее целесообразные при биогеохимических исследованиях. Коэффициенты корреляции используются при составлении биогеохимических карт [4].

Таким образом, в растительном покрове в пределах Яман-Касинского медноколчеданного месторождения проявляется весь комплекс типоморфных элементов, свойственный этому типу месторождению. Растения в этом районе обогащены основными халькофильными элементами (Cu, Zn, Pb), некоторыми элементами, являющимися типоморфными для колчеданных месторождений (Ba, Sr), а также и некоторыми литофильными элементами, связанными с процессом рудообразования (Fe, Mg, Ti). Растения, произрастающие на диабазах,

отличаются более высокими содержаниями Ni, Ti и некоторых других сидерофильных элементов.

### Литература

1. Черняхов В.Б., Калинина О.Н., Алексеев М.И. Распределение тяжёлых металлов в растительном покрове Яман-Касинского месторождения // Университетский комплекс, как региональный центр образования, науки и культуры. Оренбург: ОГУ, 2012. С. 844–851.
2. Кучеренко В.Д., Черняхов В.Б. Микроэлементы в степной и солонцово-солончаковой растительности Оренбургской области // Почвы Южного Урала и Поволжья. Уфа, 1960. Вып. 4. С. 167–171.
3. Черняхов В.Б., Щеглова Е.Г. Основные параметры распределения меди в растительном покрове Яман-Касинского медноколчеданного месторождения // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 3 (59). С. 167–171.
4. Черняхов В.Б., Щеглова Е.Г. Основные параметры распределения микроэлементов (Zn, Pb, Ag, Mo и Co) в растительном покрове Яман-Касинского медноколчеданного месторождения // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (60). С. 162–164.