

СОДЕРЖАНИЕ КАДМИЯ В ОРГАНАХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ЛЕНТОЧНЫХ БОРОВ ПРИИРТЫШЬЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

А. Р. Сибиркина

Челябинский государственный университет

Поступила в редакцию 04.10.2011 г.

Аннотация. Выявлено, что кадмий для сосны обыкновенной является элементом энергичного накопления. Источником поступления кадмия в органы сосны обыкновенной в большей степени является почва.

Ключевые слова: кадмий, сосна обыкновенная

Abstract. It is revealed that cadmium for *Pinus Sylvestris* is an element of the eager accumulation. The Source of the arrival cadmium in organs of the pine common in greater degree is ground.

Keywords: cadmium, *Pinus Sylvestris*

ВВЕДЕНИЕ

Древесные растения питательные вещества получают из атмосферы и почвы. Помимо углерода и кислорода из воздуха они поглощают часть зольных элементов, в том числе и тяжелые металлы (ТМ). Однако основным поставщиком химических элементов в растения служит почва. Некоторые исследователи полагают, что каждый вид растения, независимо от типа и свойств почв, обладает постоянным количеством питательных элементов в своих органах [1,2]. По мнению других авторов, содержание элементов в тканях растительного организма во многом определяется почвенными условиями произрастания, в частности, типом почвы [3], при этом существует мнение, что количество поглощаемых растением элементов зависит от валового их содержания в почве [4,5]. Есть данные, свидетельствующие, что элементный состав древесных растений в первую очередь определяется количеством подвижных и обменных форм элементов в почвенном профиле [6,7].

Данных по содержанию ТМ в растениях соснового бора Семипалатинского Прииртышья очень мало. В тоже время, данные об уровне содержания химических элементов в древесных растениях при биогеохимических исследованиях окружающей среды, выступают в качестве основных биоиндикационных показателей качества окружающей среды конкретного региона. В

связи с вышеизложенным, целью исследования явилось проведение биогеохимической оценки загрязнения органов сосны обыкновенной кадмием - приоритетным загрязнителем окружающей среды, в том числе и Семипалатинского Прииртышья. В задачи исследования входило оценить степень фитотоксичности кадмия и уровень загрязненности им боровых песков Семипалатинского соснового бора.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Отбор проб проводили в летне-осенний период (август-сентябрь) 2007 года на различных участках Семипалатинского равнинного и бугристого песчаного лесного района: в окрестностях г. Семей с углублением в лес на 500-1500 м к западу и северо-западу от города, в Бескарагайском районе (в районах сел Долонь, Бегень и Соsnowка), в Бородулихинском районе.

По типам рельефа выделяют 6 типов сосновых боров: сухие боры высоких, пологих, средних бугров; западный, равнинный и низинный [8, 9]. Согласно данной классификации нами были отобраны пробы в пяти типах бора: в первых трех перечисленных выше; в равнинном и в западном.

В пределах ленточных боров располагаются равнинные и бугристые боровые пески, своеобразные лесостепные осолоделые слабогумусированные рыхлопесчаные почвы, промытые от карбонатов на большую глубину. Почвообразующими породами являются древнеаллювиальные

песчаные отложения, перевейные в районах с бугристым рельефом [10].

На исследуемой территории из древесных форм растений преобладает сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) из семейства сосновые (*Pinaceae*).

Аналитическим исследованиям подвергались образцы различных органов сосны обыкновенной: хвоя и мягкие ветки разного возраста, кора, отобранная с южной и северной стороны дерева, древесина и шишки и почвенные образцы. Особенное внимание уделялось хвое, поскольку она выполняет ассимилирующую функцию и определяет рост и развитие других органов. При отборе мягких веток руководствовались тем, что между хвоей и ветками одного года жизни существует наиболее тесная биохимическая связь, ветки других возрастов брались в совокупности, в частности в одну среднюю пробу были объединены ветки 5-7 лет жизни.

При отборе, транспортировке, хранении и подготовке проб почв для анализа были использованы методические указания, инструкции, опубликованные во многих научных работах и утвержденные в стандартах [3, 11-15].

Пробы хвои и веток разбирали по возрастным фракциям (хвоя – от 1 до 4 лет, ветки от 1 до 7); древесину, кору и шишки высушивали при комнатной температуре и измельчали. Для определения Cd в почве и в растительных образцах бралась навеска по 10 г, которую озоляли в муфельной печи при $t = 450 - 500 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 5-8 часов. Полученную золу переводили в раствор ускоренным методом с применением концентрированных минеральных кислот и перекиси водорода [16]. Всего было проанализировано 78 почвенных (глубина взятия проб составила 1-20 см) и 175 растительных проб.

С целью более полной агрохимической и экотоксикологической оценки почв в задачи эксперимента, наряду с валовым анализом, входило изучение подвижных форм кадмия. Фракционирование осуществлялось из отдельных навесок непрокаленной почвы массой 5 г. Соотношение почва : экстрагент составляло 1:10, время экстракции – 1 час. Пробы встряхивались на ротаторе в течение одного часа, после экстрагирования суспензии фильтровали. Были определены подвижные формы: кислоторастворимая (1н раствор HCl), обменная (ацетатно-аммонийный буфер с pH 4.8), водорастворимая (бидистиллированная вода). Содержание Cd всех пробах определяли атомно-абсорбционным методом.

В практических исследованиях возникает необходимость аппроксимировать (описать приближенно) диаграмму рассеяния математическим уравнением. Для характеристики линейной зависимости между содержанием Cd в органах сосны обыкновенной и его содержанием в почве, был рассчитан коэффициент корреляции Пирсона ($P < 0.001$) с помощью программы Microsoft Excel, в которой используется функция ПИРСОН. Двусторонняя корреляционная связь была выражена нами через показатели регрессии с помощью формул и уравнений, дающих наглядное представление о форме и тесноте корреляционной связи между признаками. Все вариационно-статистические показатели, представленные в работе (\bar{x} , $m\bar{x}$, S_v) были рассчитаны методами, описанными в руководстве Н.А. Плохинского [17].

Растения избирательно поглощают элементы, а интенсивность поглощения характеризуется отношением количества элемента в золе растений к его количеству в почве или горной породе (или литосфере в целом). Этот предложенный Б.Б. Польшовым показатель А.И. Перельман назвал коэффициентом биологического поглощения A_x : $A_x = I_x/n_x$, где I_x - содержание элемента x в золе растения, n_x - в горной породе или почве, на которой произрастает данное растение. Наиболее широко используется A_x - отношение содержания элементов в золе растений к их валовым содержаниям в почвах [18,19], отражающий потенциальную биогеохимическую подвижность элементов. Элементы с $A_x > 1$ «накапливаются» живым веществом. Остальные элементы, у которых $A_x < 1$, лишь «захватываются» [20].

Для оценки тесноты биогеохимической связи состава живого организма с биосферой был рассчитан показатель биотичности элементов (ПБЭ), который представляет отношение содержания элемента в органах к кларку земной коры. По аналогии с КБП, элементы со значениями ПБЭ, равным 0,3 и выше, играют наиболее существенную роль в биологическом круговороте веществ в экосистеме [21]. Для характеристики распределения элементов между живым веществом и абиотической средой был вычислен коэффициент накопления ($K_{\text{н}}$) [21, 22]. Коэффициент накопления ($K_{\text{н}}$), или аккумулятивный индекс ($K_{\text{н}} = \text{концентрация элемента в растении, мг/кг} / \text{концентрация элемента в почве, мг/кг}$) - количественный показатель перехода химических элементов, особенно в их подвижных, наиболее доступных для растений формах, из почвы в растение. $K_{\text{н}}$ близок к

КБП, но поглощение является физиологическим процессом, а накопление – результат как поглощения, так и внутреннего перераспределения химических элементов, т.е. $K_{\text{н}}$ - определитель аккумулятивной стратегии растения. Если $K_{\text{н}}$ меньше 1, то превалирует загрязнение растений из почвы, являющейся основным источником элементов в них и свидетельствует о пассивном поступлении элемента и об отсутствии механизмов активного накопления металлов. $K_{\text{н}}$ больше 1 говорит о том, что поступление металлов в растительную продукцию происходит не только из почвы, но и из атмосферы. Коэффициент накопления был рассчитан относительно валового содержания Cd в почве и его подвижных форм.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Биота формирует и контролирует в биосфере потоки вещества и энергии, обеспечивая постоянство параметров окружающей среды [23]. Организмы различных трофических уровней активно участвуют в стабилизации экосистем, выступая как в роли геохимических барьеров, так и в качестве природных депо химических элементов [24].

Данные о содержании кадмия в органах сосны обыкновенной, как биоиндикационного показателя состояния окружающей среды на территории исследования, представлены в таблице 1.

Определение элементного химического состава органов сосны показало, что на разных участках отбора проб происходят существенные изменения в количественном содержании кадмия. Оценивая среднее содержание кадмия по всей исследуемой территории, выявлено, что оно находится в пределах или незначительно превышает ПДК (0,05-0,1 мг/кг), приведенного в работах Н. В. Лукиной и В. В. Никонова (таблица 2) [25].

В ходе исследования были обнаружены концентрации кадмия в 1,4-2,8 раз превышающие ПДК (в сосновом бору в районе г. Семей). Однако общее содержание элемента в органах сосны обыкновенной во всех пунктах отбора значительно ниже критических и фитотоксичных его значений, приводимых в работах ряда авторов (таблица 2).

Лесная растительность, в процессах миграции металлов являясь механическим барьером, осуществляет их биаккумуляцию в многолетней

Таблица 1

Среднее содержание кадмия в сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), мг/кг сухого вещества

Пункты отбора проб	$\bar{x} \pm m\bar{x} (Cv, \%)$ min – max
В районе с. Бегень, n = 30	$0.057 \pm 0.002 (15.76\%)$ 0.008 – 0.184
В районе с. Бегень, n = 10 (горельник 2007 г.)	$0.038 \pm 0.008 (122.69\%)$ 0.008 – 0.057
В районе с. Долонь, n = 30	$0.043 \pm 0.012 (219.0\%)$ Сл. - 0.112
В районе с. Сосновка, n = 35	$0.055 \pm 0.012 (80.08\%)$ 0.029 – 0.078
В районе г. Семей, n = 40	$0.144 \pm 0.086 (102.44\%)$ 0.009 – 0.384
В районе г. Ново-Шульба, n = 30	$0.028 \pm 0.008 (58.0\%)$ 0,005 – 0,092
Среднее	$0.061 \pm 0.021 (99.66\%)$ Сл. – 0.384
Среднее содержание в золе сосны обыкновенной, мг/кг	2.629 ± 0.310 Сл. – 11.00

Таблица 2

ПДК, критическое, токсичное, избыточное и фитотоксичное содержание кадмия в растениях по данным Лукина Н.В., Никонов В.В., 1993; Baker D.E., Chensin L., 1975; Cottenie A., Dhaese A., Catterlynck R., 1976; Verloo V., Cottenie A., Landschoot G., 1982; Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989, мг/кг сухого вещества

Среднее по сосне	ПДК [25]	Критическое [26]	Токсичное [27]	Фитотоксичное [28]	Избыточное [29]
0.061	0.05-0.10	3.0	>80.0	> 100.0	5.0-30.0

фитомассе (ствол, ветви, кора), при этом происходит дисбаланс элементов питания (нарушение их питательного статуса), вызывающий нарушения продукционных процессов и повреждение растений [30]. Из параметров фитоценоза наиболее значимыми считаются параметры древостоя, поскольку именно древостой принимает на себя основную нагрузку, определяя всю последующую циркуляцию элементов в лесной экосистеме [31], формируя малый круговорот веществ [32]. При этом роль регуляторного звена принадлежит ассимилирующим органам, в частности хвое, определяющей рост и развитие других органов растения [30,33]. Среднее содержание Cd в золе и воздушно-сухой массе исследованных нами морфологических органов сосны обыкновенной представлено в таблице 3.

Важный биогеохимический показатель – зольность растения – соотношение минеральных и органических веществ в нем. Самой высокой зольностью характеризуются листья (хвоя) –

5-10 %, меньше – у коры и корней, наименьшая – у древесины – 0.2-0.5 %. Зольность листьев деревьев и кустарников можно считать показателем их приспособленности к данным условиям, позволяет получить представление о некоторых особенностях почвообразовательных процессов и о степени загрязнения атмосферного воздуха, характеризуя газопоглотительную способность растений. Чем больше зольность, тем лучше приспособлено растение к условиям произрастания [34]. Высокие показатели зольности (2,32 при значениях 1,59-2,95) органов сосны обыкновенной на исследованной территории (таблицы 3), свидетельствуют о высокой газопоглотительной способности сосны обыкновенной, наличии механизмов активной аккумуляции химических элементов и не только из почвы, но и из атмосферного воздуха. Также нами выявлено, что содержание кадмия в воздушно-сухой массе растения находится в прямой корреляционной зависимости ($r = 0.93 \pm 0.04$) от его содержания в золе.

Таблица 3

Распределение кадмия по морфологическим органам сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.)

Органы сосны обыкновенной	Зольность, %	$\bar{x} \pm m\bar{x}(Cv, \%)$, min – max мг/кг воздушно-сухого вещества	Среднее содержание в золе, мг/кг
Хвоя 1 года, n = 15	2.76	$0.035 \pm 0.001 (10.3\%)$ 0.021 – 0.071	1.274
Хвоя 2 года, n = 15	2.35	$0.026 \pm 0.001 (13.9\%)$ Сл. – 0.054	1.106
Хвоя 3 года, n = 15	2.74	$0.027 \pm 0.002 (26.7\%)$ 0.015 – 0.051	0.990
Хвоя 4 года, n = 15	2.54	$0.031 \pm 0.002 (23.2\%)$ Сл. – 0.061	1.220
Ветки 1 года, n = 15	2.01	$0.061 \pm 0.003 (17.7\%)$ 0.032 – 0.142	3.035
Ветки 2 года, n = 15	1.82	$0.053 \pm 0.002 (13.6\%)$ 0.008 – 0.166	2.912
Ветки 3 года, n = 15	2.76	$0.075 \pm 0.006 (28.8\%)$ 0.014 – 0.129	2.717
Ветки 4 года, n = 15	2.61	$0.128 \pm 0.007 (19.7\%)$ 0,001 – 0,369	4.911
Ветки 5-7 лет, n = 15	1.89	$0.093 \pm 0.005 (19.8\%)$ Сл. – 0.287	4.921
Кора (с южной стороны), n = 10	1.88	$0.021 \pm 0.001 (13.4\%)$ 0,007 – 0,139	1.090
Кора (с северной стороны), n = 10	1.59	$0.045 \pm 0.002 (12.4\%)$ 0.026 – 0.072	2.841
Шишки, n = 10	2.20	$0.056 \pm 0.003 (15.0\%)$ 0.007 – 0.067	2.561
Древесина, n = 10	2.95	$0.136 \pm 0.007 (15.1\%)$ 0.005 – 0.214	4.599
Среднее по сосне	2.32	$0.061 \pm 0.003 (17.7\%)$ Сл. – 0.369	2.629

Кадмий – токсичный элемент, обладает высокой мобильностью в почвах и доступностью для растений. В целом по растению содержание кадмия распределяется следующим образом, мг/кг сухого вещества: древесина (0.136) > ветки (0.082) > шишки (0.056) > кора (0.033) > хвоя (0.03). Формирование элементного состава древесных растений происходит в результате захвата металлов из атмосферы, которые в дальнейшем перераспределяются по различным частям дерева в процессе движения элементов с ксилемным и флоэмным стоком [35]. Во многих работах [36-38] приводятся сведения о том, что у растительного организма имеется ряд защитных морфологических структур и разнообразных свойств, призванных оберегать жизненно важные центры, органы репродукции, например, шишки, от избыточного накопления ТМ. Защитные механизмы основаны на уменьшении подвижности элементов, за счет хелатирования [39]. В то же время имеются сведения, что некоторые металлы, вероятно и кадмий, в комплексе с органическими лигандами способны легко проникать через мембрану, накапливаясь в больших количествах во внутренних органах растения [40].

Для золы выявлены несколько иные соотношения распределения кадмия по органам сосны, мг/кг: древесина (4.6) > хвоя (4.59) > ветки (3.7) > шишки (2.56) > кора (1.97). Увеличение концентрации кадмия в золе хвои во многом обусловлено аккумуляцией этого элемента из атмосферных выбросов региона, являющегося центром перерабатывающей и цветной металлургии. Ежегодно в атмосферу Восточно-Казахстанской области выбрасывается более 400 тысяч тонн вредных веществ [41].

Между отдельными органами растения распределение кадмия можно выразить следующими убывающими рядами, мг/кг воздушно-сухой массы:

- для хвои разных лет жизни: хвоя 1 года (0.035) > хвоя 4 года (0.031) > хвоя 3 года (0.027) > хвоя 2 года (0.026);
- для веток разных лет жизни: ветки 4 года (0.128) > ветки 5-7 лет (0.093) > ветки 3 года (0.075) > ветки 1 года (0.061) > ветки 2 года (0.053).

Кроме того, нами выявлена закономерность в распределении Cd (мг/кг) в коре сосны обыкновенной в зависимости от сторон света: кора (с северной стороны) (0.045) > кора (с южной стороны) (0.021).

Как видно из таблицы 3, с южной стороны зольность в 1.18 раза больше, а содержание Cd, наоборот, в 2.1 раза меньше, чем с северной стороны. Очевидно, данный факт можно объяснить действием экологических факторов, способствующих формированию специфического микроклимата с характерным набором и в определенном количестве химических элементов в конкретный момент времени.

Основным источником поступления химических элементов в растения является почвенный покров, на котором они произрастают. В пределах сосновых боров Прииртышья различаются пески боровые равнинные и бугристые. По данным А.П. Виноградова [42] для песчаных аллювиальных отложений ложбин древнего стока характерен низкий уровень содержания кадмия, что связано с их минералогическим и гранулометрическим составом. Среднее валовое содержание Cd в исследованных почвах составляет 0.167 ± 0.008 мг/кг.

Использованные нами различные расчетные показатели позволили рассчитать уровни накопления кадмия в органах сосны обыкновенной и вывести корреляционную зависимость между содержанием кадмия в почве (валового и в подвижных формах) и его накоплением в растении (таблица 4).

Нам удалось доказать, что источником поступления кадмия в органы сосны обыкновенной, в большей степени является почва, о чем свидетельствуют коэффициенты накопления и выявленные достоверно высокие прямые корреляционные связи между содержанием Cd в растении и его содержанием в почве. По показателю КБП (15.74), кадмий, согласно рядам биологического поглощения, разработанным А.И. Перельманом [20], является элементом энергичного накопления и играет существенную роль в общем круговороте веществ в лесной экосистеме ($ПБЭ_{Cd} = 0.47$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Среднее содержание кадмия в органах сосны обыкновенной на исследованной территории находится в пределах или незначительно превышает ПДК, ниже критических и фитотоксичных его значений.

2. Концентрация кадмия в воздушно-сухой массе растения находится в прямой корреляционной зависимости ($r = 0.93 \pm 0.04$, $P < 0.001$) от его содержания в золе.

3. Для сосны обыкновенной кадмий является элементом энергичного накопления, по показа-

Коэффициенты накопления, биологического поглощения, показатель биотичности, уравнения корреляционной и регрессионной зависимости относительно содержания кадмия в борových песках, $n = 78$

Показатели	Валовое содержание	Подвижные формы		
		Кислоторастворимая	Обменная	Водорастворимая
Cd в песках (глубина 1-20 см), мг/кг	0,167	0,032	0,006	0,006
Регрессионная зависимость	$y = 2,2458x - 0,0196$ $R^2 = 0,279$	$y = 0,1862x + 0,0213$ $R^2 = 0,2705$	$y = 0,2153x - 0,0043$ $R^2 = 0,9344$	$y = 0,0936x - 0,002$ $R^2 = 0,9344$
Корреляционная зависимость, $P < 0,001$	$0,53 \pm 0,08$	$0,52 \pm 0,08$	$0,97 \pm 0,03$	$0,97 \pm 0,03$
Кн	0,365	1,900	0,098	0,098
КБП	15,74			
ПБЭ	0,47			

Примечание: В уравнении регрессии x – содержание в сосне обыкновенной, y – содержание в почве; R^2 – достоверность регрессионной зависимости. Корреляционная зависимость: в числителе коэффициент корреляции Пирсона и его ошибка, в знаменателе – достоверность коэффициента корреляции.

телю биотичности играет существенную роль в общем круговороте веществ в лесной экосистеме.

4. Выведенные регрессионные уравнения прямой функции и рассчитанные коэффициенты накопления показали, что источником поступления кадмия в органы сосны обыкновенной в большей степени является почва.

5. Между содержанием Cd в изученных органах сосны обыкновенной и валовым содержанием Cd и его подвижными формами в почве выявлены достоверно высокие прямые корреляционные связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ремезов Н.П. Биологический круговорот азота и зольных элементов в лесных насаждениях / Н.П. Ремезов, Л.Н. Быкова, К.М. Смирнова // Труды Ин-та леса АН СССР, 1955. — Т. XXIV. — С. 164-167.
2. Павлова Т.С. Зольный состав хвои сосны в южнотаежных лесах Урала / Т.С. Павлова // Тр. ИЭРиЖ УНЦ АН СССР. — Свердловск, 1972. — Вып. 5. — С. 187-192.
3. Добровольский В.В. География почв с основами почвоведения / В.В. Добровольский. - М.: ВЛАДОС, 1999. — 384 с.
4. Орлов А.Я. Почвенная экология сосны / А.Я. Орлов, С.П. Кошельников. — М.: Наука, 1971. — 322 с.
5. Орлов Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов. — М.: МГУ, 1985. — 376 с.
6. Мотузова Г.В. Принципы и методы почвенно-химического мониторинга / Г.В. Мотузова. — М.: МГУ, 1988. — 99 с.

7. Обухов А.И. Биогеохимия тяжелых металлов в городской среде / А.И. Обухов, О.М. Лепнева // Почвоведение. — 1989. — № 5. — С. 65-73.

8. Грибанов Л. Н. Степные боры Алтайского края и Казахстана / Л. Н. Грибанов. — М.Л., 1960. — С. 67-69.

9. Пашковский К.А. Возобновление сосны в ленточных борах Прииртышья / К.А. Пашковский. — Наука, 1951. — С. 22-28.

10. Соколов А. А. Агрохимическая характеристика почв СССР. Казахстан и Челябинская область / А. А. Соколов. — М.: Наука, 1968.

11. Жидеева В. А. Особенности распределения различных форм агротехногенной меди в почвах яблоневых садов Курской области / В. А. Жидеева, И. И. Васенев, А. П. Щербаков // Агрохимия. — 1999. — № 9. — С. 68-69.

12. Саэт А.И. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саэт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин. — М.: Недра, 1990. — 335 с.

13. Фурсов М. Р. Глобальные проблемы окружающей среды / М. Р. Фурсов. — М.: МГУ, 1995. — С. 458-562.

14. Колходжаев М. К. Почвы Семипалатинской области / М. К. Колходжаев, Н. И. Котин, А. А. Соколов. — Алматы: Наука, 1968. — 474 с.

15. Ринькис Г. Я. Методы анализа почв и растений / Г. Я. Ринькис, Х. К. Рамане, Т. А. Куницкая. — Рига: Зинатне, 1987. — 210 с.

16. Зырин Н. Г. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами / Н. Г. Зырин, С. Г.

- Малахов. — М.: Гидрометиздат, 1981. — 108 с.
17. Плохинский Н. А. Биометрия / Н. А. Плохинский. — М.: Изд-во Моск. университет, 1975. — 367 с.
 18. Ильин В. Б. Химические элементы в системе П-Р. / В. Б. Ильин, М. Д. Степанова. — Новосибирск: Наука, 1982. — 73 с.
 19. Ильин В. Б. Защитные возможности системы почва - растения при загрязнении почв ТМ / В. Б. Ильин, М. Д. Степанова. // ТМ в окружающей среде. — М.: Из-во. МГУ, 1986. — С. 80-85.
 20. Перельман А.И. Геохимия / А.И. Перельман. Учеб. для геол. спец. вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1989. — 528 с.
 21. Глазовский Н. Ф. Биогеохимический круговорот веществ в биосфере / Н. Ф. Глазовский. — М.: Наука, 1987. — С. 56-64.
 22. Ильин В. Б. Система показателей для оценки загрязненности почв тяжелыми металлами / В. Б. Ильин // Агрохимия. — 1995. — № 1. — С. 94-99.
 23. Вернадский В.И. Биосфера / В.И. Вернадский. — М.: Мысль, 1967. — 348 с.
 24. Безель В.С. Химическое загрязнение среды: вынос химических элементов надземной фитомассой травянистой растительности / В.С. Безель, Т.В. Жуйкова // Экология. — 2007. — № 4. — С. 259-267.
 25. Лукина Н.В. Поглощение аэротехногенных загрязнителей растениями сосняков на северо-западе Кольского полуострова / Н.В. Лукина, В.В. Никонов. // Лесоведение. — 1993. — № 6. — С. 34-41.
 26. Baker D.E. Chemical monitoring of soil for environmental quality animal and health / D.E. Baker, L. Chensin // Advances in agronomy, 1975. — Vol. 27. — P. 306-366.
 27. Cottenie A. Plant quality response to the uptake of polluting elements / A. Cottenie, A. Dhaese, R. Camerlynck // Qual. Plantarum. — 1976. — Vol. 26. — № 3 — P. 93-319.
 28. Verloo V. Van Analytical and biological criteria with regard to soil pollution / V. Verloo, A. Cottenie, G. Landschoot // Landwirtschaftliche Forschung. — Kongressband. S. N. 39. — 1982. — S. 394-403.
 29. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. — М.: Мир, 1989. — 439 с.
 30. Лукина Н.В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты / Н.В. Лукина, В.В. Никонов. — Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1998. — 316 с.
 31. Воробейчик Е.Л. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень) / Е.Л. Воробейчик, О.Ф. Садыков, М.Г. Фарафонов. — Екатеринбург: Наука, 1994. — 280 с.
 32. Федорова Е. Ф. Биоаккумуляция металлов растительностью в пределах малого аэротехногенного загрязнения водосбора / Е. Ф. Федорова, Г. Я. Одинцова // Экология. — 2005. — №1. — С. 26-31.
 33. Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная / Л.Ф. Правдин. — М., 1964. — 190 с.
 34. Уфимцева М. Д. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга / М. Д. Уфимцева, Н. В. Терехина. — СПб.: Наука, 2005. — 339 с.
 35. Елпатьевский П. В. Поглощение химических элементов древесной растительностью в различных эколого-геохимических условиях / П. В. Елпатьевский, В. С. Аржанова // География и природные ресурсы. — 1985. — №3. — С. 117-125.
 36. Гармаш Н. Ю. Устойчивость пшеницы и конских бобов к тяжелым металлам / Н. Ю. Гармаш // Известия СО АН СССР. — Сер. биол. науки, 1985. — Вып. 1. — №6. — С. 92-100.
 37. Лукин С.В. Эколого-агрохимические основы адаптивных систем земледелия для эрозийноопасных и загрязненных тяжелыми металлами агроландшафтов в ЦЧР России / С.В. Лукин. Автореф. дисс. ... докт. с.-х.н. — М., 1999. — 46 с.
 38. Матвеев В. Н. Биологическая оценка вовлечения тяжелых металлов в основные трофические цепи и биогеохимический круговорот в условиях агроценозов / В. Н. Матвеев. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. — Тольятти, 2004. — 20 с.
 39. Ягодин Б. Я. Кадмий в системе почва – удобрение – растения – животные организмы и человек / Б. Я. Ягодин, С. Б. Виноградов, В. В. Говорина // Агрохимия. — 1985. — №5. — С. 23-26.
 40. Ильин В. Б. Элементный химический состав растений / В. Б. Ильин. — Новосибирск: Наука, 1985. — 129 с.
 41. Жаркинов Е.Ж. Состояние экологической ситуации в Восточном Казахстане и актуальные задачи научных исследований в этом регионе / Е.Ж. Жаркинов [и др.]// Медицина: Опыт, проблемы, перспективы: Сб. научно-практических статей. — Усть-Каменогорск: Изд-во ВКГУ, 1999. — С.27-32.
 42. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. — М., Изд-во АН СССР, 1957.
 43. Панин М.С. Формы соединений тяжелых металлов в почвах средней полосы Восточного

Казахстана (фоновый уровень) / М.С. Панин. — Семипалатинск: ГУ «Семей», 1999. — 329 с.

44. Панин М.С. Эколого-биогеохимическая оценка техногенных ландшафтов Восточного Казахстана / М.С. Панин. — Алматы: Изд-во «Эверо», 2000. — 338 с.

45. Совместный приказ Министерства здра-

воохранения (№99 от 30.01.2004 г.) и Министерства охраны окружающей среды (№ 21-п от 27.01.2004 г.).

46. Алексеенко В. А. Эколого-геохимические изменения в биосфере. Развитие, оценка: Монография / В. А. Алексеенко. - М.: Университетская книга, Логос, 2006. — 520 с.

Сибиркина Альфира Равильевна — кандидат химических наук, доцент кафедры геоэкологии Челябинского государственного университета; e-mail: sibirkina_alfira@mail.ru

Sibirkina Alfira R. — candidate of the chemical sciences, associate professor, pulpits to geoecologies Chelyabinsk State University; e-mail: sibirkina_alfira@mail.ru