

## Содержание бериллия в органах сосны обыкновенной ленточных боров Прииртышья Республики Казахстан

А. Р. СИБИРКИНА

ГОУ ВПО “Челябинский государственный университет”  
454001, Челябинск, ул. Бр. Кашириных, 129  
E-mail: sibirkina\_alfira@mail.ru

### АННОТАЦИЯ

Получены данные о содержании бериллия в золе и воздушно-сухой массе органов сосны обыкновенной. Выявлена определенная закономерность в распределении бериллия в хвое и ветках по годам. Установлено, что бериллий для сосны обыкновенной в условиях исследуемого региона является элементом сильного накопления, но роль его в общем круговороте веществ незначительна.

**Ключевые слова:** бериллий, органы сосны обыкновенной, токсичность.

Информация о содержании химических элементов в растениях необходима для решения целого ряда задач. Среди них есть те, что связаны с биоиндикацией состояния окружающей среды, оценкой миграционных потоков элементов в экосистемах, диагностированием изменений питательного статуса фитоценозов и нарушений жизненного состояния растительных организмов [1–4]. В настоящее время хорошо изучено распространение в компонентах окружающей среды облигатных элементов: марганца, меди, цинка, кобальта, молибдена, бора, йода, применяемых в растение- и животноводстве. И весьма скудная информация по содержанию таких редких и рассеянных элементов, как бериллий. Он известен как высокотоксичный и кумулятивный клеточный яд. По уровню токсичности [5, 6] бериллий относится к группе очень токсичных (отрицательная реакция биотеста при концентрации вещества 1 мг/дм<sup>3</sup>). Доказаны его цито- и эмбриотоксический, сенсibilизирующий и канцерогенный эффекты, выявленные в основном при ингаляци-

онном поступлении вещества. Замещение бериллием магния в некоторых ферментах приводит к нарушению их работы [7]. Обладая способностью проникать во все органы, клетки и органеллы, повреждая клеточные мембраны, бериллий вызывает широкий спектр отдаленных эффектов неблагоприятного действия [8].

Семипалатинское Прииртышье – территория научного исследования – находится в пределах Восточно-Казахстанской области (ВКО), крупнейшего промышленного региона Казахстана. Здесь функционируют мощные предприятия горнодобывающей и металлургической промышленности, крупнейшие заводы по производству цветных и редких металлов. В период интенсивного развития цветной металлургии (1940–1950 гг.) в ВКО сформировалась база строительной индустрии, которая в настоящее время представлена трестами “Алтайсвиноцстрой”, “Ленингорксвиноцстрой”, “Зыряновскстрой” с собственными базовыми предприятиями во всех промышленных зонах области. К ним следует добавить и предприятия строительных материалов: цементный завод, комбинат

нерудных и дорожно-строительных материалов, кирпичные заводы. Таким образом, территория ВКО, в том числе и Семипалатинское Прииртышье, испытывает колоссальную антропогенную нагрузку: ежегодно в ее атмосферу выбрасывается более 400 тыс. т вредных веществ, и около 1 млрд т твердых отходов скопилось в различных хранилищах. В перерабатываемых рудах кроме свинца, цинка, меди имеются минералы, содержащие литий, таллий, ниобий и бериллий. Содержание последнего в объектах окружающей среды превышает норму в 1,5–5 раз [9]. Одним из источников поступления бериллия и других элементов в атмосферу ВКО может быть Акционерное общество “Ульбинский металлургический завод”, производящий высокотехнологичную урановую, бериллиевую, танталовую продукцию для нужд атомной энергетики, электронной, аэрокосмической, металлургической промышленности и других областей деятельности.

Живые организмы, в том числе растения, весьма требовательны к определенной концентрации элементов в среде, к набору, соотношению и формам их соединений. Особенно информативны данные о содержании химических элементов в ассимилирующей фитомассе, поскольку ее показатели отражают состояние и функционирование всего растения [10, 11]. Следовательно, изучение химического состава растений – неотъемлемая часть природоохранных мероприятий и объективного мониторинга качества окружающей среды.

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Семипалатинский равнинный и бугристый песчаный лесной район подразделяется на три подрайона соответственно выделяющимся здесь полосам ленточных боров: а) Алейский бугристый, б) Барнаульский равнинный и бугристый и в) Касмалинский равнинный. Отбор проб проводили в районе с. Сосновка Бескарагайского района на границе с Алтайским краем Российской Федерации, в районе с. Долонь (зона прохождения следа радиоактивных выпадений в результате испытания 1949 г.), в районе с. Бегень Бескарагайского района на границе с Павлодарской областью Республики Казахстан, в окрестно-

стях г. Семей и в районе г. Шульбинска Бородулихинского района.

По типам рельефа выделяют 6 типов основных боров: сухие боры высоких, пологих, средних бугров, западный, равнинный и низинный [12, 13]. Согласно данной классификации нами отобраны пробы в пяти типах бора: в трех перечисленных, 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, переветренные в районах с бугристым рельефом [14].

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

Аналитическим исследованиям подвергались образцы почв и различных органов сосны обыкновенной: хвоя и мягкие ветки разного возраста, кора, отобранная с южной и северной стороны дерева, древесина и шишки. 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 брали в совокупности, в частности в одну среднюю пробу были объединены ветки 5–7 лет жизни.

Отбор проб проводили в летне-осенний период 2007 г. При отборе, транспортировке, хранении и подготовке проб почв для анализа использованы методические указания, инструкции, опубликованные во многих научных работах и утвержденные в стандартах [15–20].

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  $\text{Be}$  в почве и в растительных образцах брали навеску в 10 г, которую озольяли в муфельной печи при  $t$  450–500 °С в течение 5–8 ч. Полученную золу

переводили в раствор ускоренным методом с применением концентрированных минеральных кислот и перекиси водорода [21]. Всего проанализировано 78 почвенных (глубина взятия проб 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 бериллия. Фракционирование осуществлялось из отдельных навесок почвы массой 5 г. Соотношение почва : экстрагент составляло 1 : 10, время экстракции 1 ч. Пробы встряхивались на ротаторе в течение одного часа, после экстрагирования суспензии фильтровали. Определены подвижные формы: кислоторастворимая (1 н раствор HCl), обменная (ацетатно-аммонийный буфер с рН 4,8), водорастворимая (бидистиллированная вода). Содержание бериллия во всех пробах определяли атомно-абсорбционным методом. Полученные экспериментальные данные обработаны вариационно-статистическими методами, которые описаны в руководстве Н. А. Плохинского с помощью программы Microsoft Excel [22].

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. Польновым показатель ( $Ax$ ) А. И. Перельман назвал коэффициентом биологического поглощения:  $Ax = lx/nx$ , где  $lx$  – содержание элемента  $x$  в золе растения,  $n_x$  – в горной породе или почве, на которой произрастает данное растение. Наиболее широко используется  $Ax$  – отношение содержания элементов в золе растений к их валовым содержаниям в почвах [23, 24], отражающий потенциальную биогеохимическую подвижность элементов. Элементы с  $Ax > 1$  “накапливаются” живым веществом. Остальные элементы, у которых  $Ax < 1$ , лишь “захватываются” [25].

Для оценки тесноты биогеохимической связи состава живого организма с биосферой рассчитан показатель биотичности элементов (ПБЭ), который представляет отношение содержания элемента в органах к кларку земной коры. По аналогии с КБП элементы со значениями ПБЭ 0,3 и выше играют наиболее

важную роль в биологическом круговороте веществ в экосистеме [26]. Для характеристики распределения элементов между живым веществом и абиотической средой вычислен коэффициент накопления ( $K_n$ ) [26, 27]. Коэффициент накопления ( $K_n$ ), или аккумулятивный индекс ( $K_n = \text{концентрация элемента в растении, мг/кг} / \text{концентрация элемента в почве, мг/кг}$ ), – количественный показатель перехода из почвы в растение химических элементов, особенно в их подвижных, наиболее доступных формах.  $K_n$  близок к КБП, но поглощение является физиологическим процессом, а накопление – результат как поглощения, так и внутреннего перераспределения химических элементов, т. е.  $K_n$  – определитель аккумулятивной стратегии растения. Если  $K_n < 1$ , то превалирует загрязнение растений из почвы, являющейся основным источником элементов в них, и это свидетельствует о пассивном поступлении элемента и об отсутствии механизмов активного накопления металлов.  $K_n > 1$  говорит о том, что поступление металлов в растительную продукцию происходит не только из почвы, но и из атмосферы. Коэффициент накопления рассчитан относительно валового содержания  $Ve$  в почве и его подвижных форм.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По данным ряда авторов, содержание  $Be$  в почвах колеблется от  $2 \cdot 10^{-4}$  до  $1 \cdot 10^{-3} \%$  (2–10 мг/кг); в золе растений – около  $2 \cdot 10^{-4} \%$  (2 мг/кг) [28]. Среднее содержание  $Be$  в общем числе исследованных нами морфологических органов сосны обыкновенной представлено в табл. 1.

Уровень накопления  $Be$  растениями по пунктам отбора неодинаков. Максимально высокие его концентрации обнаружены в органах сосны обыкновенной, произрастающей в районе с. Сосновка (Бескарагайский район), что находится в 170 км к западу от г. Семей. Следует отметить, что именно этот район был подвержен мощнейшим пожарам конца 90-х начала 2000 гг., что не могло не отразиться на питательном статусе растений. Большинство авторов, исследующих действие пожаров, указывают на необходимость

Среднее содержание бериллия в совокупности исследованных органов сосны обыкновенной, мг/кг сухого вещества

Пункт отбора проб	$\bar{x} \pm m$	$\sigma$	min-max	$C_v, \%$
В районе:				
с. Бегень, $n = 30$	$0,048 \pm 0,002$	0,004	0,012–0,034	11,1
с. Бегень, $n = 10$ (горельник 2007 г.)	$0,056 \pm 0,006$	0,016	0,013–0,179	32,0
с. Долонь, $n = 30$	$0,028 \pm 0,007$	0,017	0,001–0,038	85,0
с. Сосновка, $n = 35$	$0,066 \pm 0,019$	0,048	0,010–0,279	81,4
г. Семей, $n = 40$	$0,039 \pm 0,003$	0,008	0,020–0,073	25,0
г. Ново-Шульба, $n = 30$	$0,027 \pm 0,011$	0,027	0,008–0,065	158,8
Среднее	$0,044 \pm 0,008$	0,020	0,001–0,279	65,6
Среднее содержание в золе исследованных органов сосны обыкновенной, мг/кг				
	$2,009 \pm 0,485$	0,009	0,400–15,000	185,3

включения их в число важнейших факторов, влияющих на развитие растений и функционирование экосистем, в том числе и лесных [29–35]. У деревьев, получивших в результате пожара ожоги разной степени, но сохранивших жизнеспособность, наблюдается резкое изменение элементного состава над- и подземных органов [29].

Источником поступления химических элементов в растения является почвенный покров, на котором они произрастают. Исследуемые боровые пески, сформированные на древнеаллювиальных песках, имеющих самое низкое содержание ТМ из всех почвообразующих пород региона, отличаются минимальной концентрацией ТМ [36]. Кроме того, боровые пески являются слабогумусированными, обедненными органическим веществом почвами. Присутствие карбонатов наблюдается в небольшом количестве и на значительной глубине. Невысокое содержание гумуса и небольшое количество карбонатов в боровых песках препятствует активному накоплению в них ТМ. Среднее валовое содержание Ве в исследованных почвах составляет 1,8 мг/кг, что в 3,3 раза ниже его кларка в земной коре по А. П. Виноградову [37].

В пределах сосновых лесов Прииртышья различаются пески боровые, которые в зависимости от особенностей рельефа подразделяются на равнинные и бугристые. Нами выявлено, что пески равнинные ( $Be_{вал} = 1,69$  мг/кг)

и бугристые ( $Be_{вал} = 1,99$  мг/кг) незначительно (в пределах 15 %) различаются способностью накапливать Ве. По точкам отбора максимальные концентрации  $Be_{вал}$  в песках (54,2–62,6 % от его кларка в земной коре по А. П. Виноградову) отмечены в районе сел Долонь ( $Be_{вал} = 2,38$  мг/кг) и Сосновка ( $Be_{вал} = 2,06$  мг/кг).

Охарактеризовать газопоглодительную способность растений и получить представление об особенностях почвообразовательных процессов и о степени загрязнения атмосферного воздуха позволяет изучение зольности растений. Зольность представляет собой важный биогеохимический показатель, характеризующий соотношение минеральных и органических веществ в растении. Между содержанием Ве в золе и в воздушно-сухой массе растения существует достоверно высокая прямая корреляционная связь ( $r = 0,87 \pm 0,26$ ,  $t_r = 3,35$ ,  $n = 175$ ). Среднее содержание Ве в зависимости от места произрастания варьирует в пределах 65,6 % (11,1–158,8 %). Деревья и кустарники в естественных местобитаниях обладают невысокой зольностью, которая распределяется следующим образом: самая высокая у листьев (хвои) – 5–10 %, меньше – у коры и корней, наименьшая у древесины – 0,2–0,5 % [38]. Как видно из табл. 2, зольность древесины значительно превышает рекомендуемые пределы, а среднее содержание Ве в золе органов сосны обыкновенной в 91,2 раза превышает его

Распределение бериллия по морфологическим органам сосны обыкновенной

Органы сосны обыкновенной	Зольность, %	Среднее содержание Ве в растении, мг/кг воздушно-сухого вещества	Среднее содержание Ве в золе	КБП <sub>1</sub>	КБП <sub>2</sub> [37]	ПБЭ относительно кларка земной коры [37]
Хвоя: 1 года, <i>n</i> = 15	2,76	0,023	0,833	0,46	0,22	0,006
2 года, <i>n</i> = 15	2,35	0,027	1,149	0,64	0,30	0,007
3 года, <i>n</i> = 15	2,74	0,029	1,058	0,59	0,28	0,008
4 года, <i>n</i> = 15	2,54	0,052	2,047	1,14	0,54	0,014
Ветки: 1 года, <i>n</i> = 15	2,01	0,016	0,821	0,46	0,22	0,004
2 года, <i>n</i> = 15	1,82	0,017	0,934	0,52	0,25	0,004
3 года, <i>n</i> = 15	2,76	0,029	1,051	0,58	0,28	0,008
4 года, <i>n</i> = 15	2,61	0,050	1,916	1,06	0,50	0,013
5–7 лет, <i>n</i> = 15	1,89	0,082	4,339	2,41	1,14	0,022
Кора: с южной стороны, <i>n</i> = 10	1,88	0,060	3,191	1,77	0,84	0,016
с северной стороны, <i>n</i> = 10	1,59	0,077	4,843	2,69	1,27	0,020
Шишки, <i>n</i> = 10	2,20	0,015	0,682	0,38	0,18	0,004
Древесина, <i>n</i> = 10	2,95	0,096	3,254	1,81	0,86	0,025
Среднее по сосне	2,32	0,044	2,009	1,12	0,53	0,012

П р и м е ч а н и е. КБП<sub>1</sub> – относительно среднего валового содержания в почве; КБП<sub>2</sub> – относительно кларка земной коры.

среднее содержание в золе растений суши по В. А. Алексеенко [37].

В геохимических процессах Ве ведет себя как типично литофильный элемент, относится к слабо мигрирующим элементам. Среднее значение КБП 0,53 и 1,12 относительно его кларка в земной коре и валового содержания в почве соответственно (см. табл. 2). Для сосны обыкновенной Ве, согласно рядам биологического поглощения, разработанным А. И. Перельманом [39], в биосферном масштабе является элементом слабого накопления и среднего захвата, а в условиях исследуемого региона – элементом сильного накопления. Показатель деструкционной активности Ве, характеризующий степень опасности элемента для живых организмов (показатель предложен М. А. Глазовской), равен  $n \times 10$  [40]. Однако по показателю биотичности ( $ПБЭ_{Ве} = 0,012$ ) роль Ве в общем круговороте веществ в лесной экосистеме незначительна.

Наблюдаемые повышенные концентрации Ве в золе органов сосны обыкновенной (см. табл. 2), могут быть следствием аномальных концентраций Ве естественного и искусственного происхождения на территории Восточ-

но-Казахстанской области. Значительная часть лесопокрытой территории Семипалатинского Прииртышья испытывает воздействие техногенного загрязнения, что приводит к нарушению питательного статуса древостоев за счет нерегулируемого привноса элементов-поллютантов. На бериллиевом производстве объединения “Ульбинский металлургический завод” в Усть-Каменогорске 12.09.1990 г. произошел взрыв водорода, который привел к крупному (около 63 кг) выбросу порошкового бериллия в атмосферу района города, где проживало 120 тыс. человек. Облако токсичного вещества “накрыло” до 40 % жилой территории. Превышение ПДК достигало 60..890 раз при значениях ПДК для воздуха в пересчете на бериллий 0,001 мг/м<sup>3</sup> [41–44].

Изученное содержание Ве в различных органах сосны позволило построить следующие убывающие ряды:

для хвои: хвоя 4-го года (0,052) > хвоя 3-го года (0,029) > хвоя 2-го года (0,027) > хвоя 1-го года (0,023);

для веток: ветки 5–7 лет (0,082) > ветки 4-го года (0,050) > ветки 3-го года (0,029) >

ветки 2-го года (0,017)  $\geq$  ветки 1-го года (0,016).

Выведенные убывающие ряды указывают на то, что содержание Be в органах с возрастом увеличивается, т. е. происходит процесс бионакопления.

Кроме того, нами выявлена закономерность в распределении Be (мг/кг) в коре сосны обыкновенной в зависимости от сторон света: кора с северной стороны (0,077)  $>$  кора с южной стороны (0,060).

Как видно из табл. 2, с южной стороны зольность в 1,18 раза больше, а содержание Be, наоборот, в 1,3 раза меньше, чем с северной стороны. Очевидно, данный факт можно объяснить действием экологических факторов, способствующих формированию специфического микроклимата с характерным набором химических элементов в конкретный момент времени. Анализ распределения концентраций Be в целом по растению (см. табл. 2) показал, что древесина (можно принять за многолетнее суммарное накопление в стволе дерева) характеризуется максимальным его количеством, а шишки – минимальным. Данная закономерность в распределении объясняется наличием у растительного организма защитных морфологических структур и разнообразных свойств, призванных оберегать жизненно важные центры и процессы от избыточного накопления ТМ [44].

Исследованные нами корреляционные зависимости содержания Be по органам сосны разного возраста выявили определенное про-

тиворечие. Например, концентрация Be в хвое третьего года жизни находится в отрицательной корреляционной зависимости ( $r = -0,69-0,75$ ) между содержанием его в ветках второго года жизни, в ветках пяти-семи лет жизни, в коре южной и северной сторон, в древесине. Отрицательные корреляционные связи выявлены также между содержанием Be в хвое четвертого года жизни и ветках первого года жизни, в коре с южной стороны; в ветках третьего года жизни и ветках первого года жизни. Достоверно высокие прямые корреляционные связи ( $r = 0,64-0,93$ ) установлены: между содержанием Be в хвое первого года жизни, в шишках, в коре северной и южной сторон; между содержанием Be в хвое второго года, в хвое и ветках четвертого года жизни, в шишках; между содержанием Be в ветках второго года жизни, в коре южной и северной сторон, в древесине, в ветках пяти-семи лет жизни; между содержанием Be в ветках четвертого года жизни, в шишках, в коре южной и северной сторон. Величина биогенного поглощения металлов зависит от климатических условий года. В годы, отличающиеся повышенным годичным приростом, величины биогенной аккумуляции ТМ хоть и незначительно, но возрастают. Вероятно, формирование химического состава хвои и веток сосны третьего года жизни, которые по морфометрическим характеристикам значительно отличались по длине от хвои и веток других возрастов, происходило в несколько раз-

Т а б л и ц а 3

**Корреляционные и регрессионные связи между содержанием бериллия в изученных органах сосны обыкновенной и содержанием их различных форм в верхнем горизонте почвы (1–20 см),  $n = 78$**

Показатель	Валовое содержание	Формы соединений бериллия в почве		
		кислоторастворимая	обменная	водорастворимая
Среднее содержание Be в почве, мг/кг	1,800	0,010	0,072	0,005
Регрессионная зависимость	$y = -5,4323x + 2,1$ $R^2 = 0,0636$	$y = -3,8897x + 0,2009$ $R^2 = 0,5581$	$y = -0,4306x + 0,0432$ $R^2 = 0,2164$	$y = -0,4896x + 0,0437$ $R^2 = 0,307$
Корреляционная зависимость	$-0,25 \pm 0,22$ 1,14	$-0,89 \pm 0,05$ 17,8	$-0,47 \pm 0,18$ 2,6	$-0,55 \pm 0,16$ 3,44
Кларк в земной коре, мг/кг [27]	3,8	–	–	–

П р и м е ч а н и е. В уравнении регрессии  $x$  – содержание в органах сосны обыкновенной,  $y$  – содержание в почве;  $R^2$  – достоверность регрессионной зависимости. Корреляционная зависимость: в числителе – коэффициент корреляции и его ошибка, в знаменателе – достоверность коэффициента корреляции.

**Коэффициенты накопления бериллия совокупностью изученных органов сосны обыкновенной, произрастающей в сосновом бору Прииртышья,  $n = 78$**

Коэффициент накопления относительно			
валового содержания	кислоторастворимой формы	обменной формы	водорастворимой формы
0,02	0,92	1,69	1,83

личных климатических условиях. Кроме того, на процессы аккумуляции и распределения элементов по органам и тканям растений существенное влияние оказывает химический состав окружающей среды в конкретный момент времени.

Выведенные регрессионные уравнения прямолинейной функции и рассчитанные коэффициенты накопления (табл. 3, 4) позволили предположить, что основным источником поступления Ве в органы сосны обыкновенной является не почва, а атмосфера.

Между содержанием Ве в изученных органах сосны обыкновенной и содержанием его подвижных форм в почве выявлены достоверные обратные корреляционные связи. Корреляционная зависимость между содержанием Ве в органах сосны обыкновенной и валовым его содержанием в почве имеет очень низкую достоверность.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Среднее содержание Ве в золе органов сосны обыкновенной в 91,2 раза превышает среднее содержание в золе растений суши. Между содержанием Ве в золе и его содержанием в воздушно-сухой массе растения существует достоверно высокая прямая корреляционная связь ( $r = 0,87 \pm 0,26$ ,  $t_r = 3,35$ ,  $n = 175$ ).

2. Выявлена определенная закономерность в распределении Ве в хвое и ветках по годам: содержание элемента с возрастом увеличивается, т. е. происходит процесс бионакопления.

3. Установлено, что по показателю КБП Ве (1,12) для сосны обыкновенной в условиях исследуемого региона является элементом сильного накопления, но по показателю биотичности роль Ве (0,012) в общем круговороте веществ в лесной экосистеме незначительна.

4. Выведенные регрессионные уравнения прямолинейной функции и рассчитанные коэффициенты накопления показали, что основным источником поступления Ве в органы сосны обыкновенной является не почва, а атмосфера.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Бобкова К. С. и др. Эколого-физиологические основы продуктивности сосновых лесов Европейского Северо-Востока. Сыктывкар, 1993. 176 с.
- Михайлова Т. А. и др. Изменение баланса элементов в хвое сосны обыкновенной при техногенном загрязнении // Сиб. экол. журн. 2003. № 6. С. 755–762.
- Никонов В. В., Лукина Н. В., Фронтасьева М. В. Рассеянные элементы в бореальных лесах. М.: Наука, 2004. С. 151–187.
- Лукина Н. В., Сухарева Т. И., Исаева Л. Г. Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северо-таежных лесах. М.: Наука, 2005. 245 с.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М., 1989. 439 с.
- Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.
- Химическая энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1988. Т. 1. С. 280–623.
- Ревинская Е. В., Лобачев А. Л., Лобачева И. В. Тест-методы в полевом анализе: практикум. Самара: Изд-во “Универс-групп”, 2005. 32 с.
- Жаркинов Е. Ж., Голдобин В. Н., Дюсупов Ш. Д., Балтаева А. О. Состояние экологической ситуации в Восточном Казахстане и актуальные задачи научных исследований в этом регионе // Сб. науч.-практ. статей. Усть-Каменогорск: Изд-во ВКГУ, 1999. С. 27–32.
- Правдин Л. Ф. Сосна обыкновенная. М., 1964. 190 с.
- Санина Н. Б., Филиппова Л. А. Особенности микроэлементного состава лиственницы Приольхонья (Прибайкальский национальный парк) // Сиб. экол. журн. 2007. № 1. С. 3–11.
- Грибанов Л. Н. Степные боры Алтайского края и Казахстана. М.; Л., 1960. С. 67–69.
- Пашковский К. А. Возобновление сосны в ленточных борах Прииртышья. А.-А.: Наука, 1951. С. 22–28.
- Соколов А. А. Агрохимическая характеристика почв СССР. Казахстан и Челябинская область. М.: Наука, 1968. 219 с.
- Жидеева В. А., Васенев И. И., Щербаков А. П. Особенности распределения различных форм агротехногенной меди в почвах яблоневых садов Курской области // Агрехимия. 1999. № 9. С. 68–69.

16. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
17. Добровольский В. В. География почв с основами почвоведения. М.: Изд-во Владес, 1999. С. 171–178.
18. Фурсов М. Р. Глобальные проблемы окружающей среды М.: МГУ, 1995. С. 458–562.
19. Колходжаев М. К., Котин Н. И., Соколов А. А. Почвы Семипалатинской обл. Алматы: Наука, 1968. 474 с.
20. Ринькис Г. Я., Рамане Х. К., Куницкая Т. А. Методы анализа почв и растений. Рига: Зинатне, 1987. 210 с.
21. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Гидрометеоиздат, 1981. 108 с.
22. Плохинский Н. А. Биометрия. М.: Изд-во МГУ, 1975. 367 с.
23. Ильин В. Б., Степанова М. Д. Химические элементы в системе П–Р. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1982. 73 с.
24. Ильин В. Б., Степанова М. Д. Защитные возможности системы почва – растения при загрязнении почв ТМ // ТМ в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1986. С. 80–85.
25. Перельман А. И. Геохимия: учеб. для геол. спец. вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1989. 528 с.
26. Глазовский Н. Ф. Биогеохимический круговорот веществ в биосфере. М.: Наука, 1987. С. 56–64.
27. Ильин В. Б. Система показателей для оценки загрязненности почв тяжелыми металлами // Агрехимия. 1995. № 1. С. 94–99.
28. [электронный ресурс] Бериллий. <http://bse.scilib.com/article111723.html>
29. Куценогий К. П., Валендик Э. Н., Буфетов Н. С., Барышев В. Б. Эмиссия крупного лесного пожара в Сибири // Сиб. экол. журн. 1996. № 1. С. 93–101.
30. Куценогий К. П., Чанкина О. В., Ковальская Г. А., Савченко Т. И., Иванова А. В., Тарасов П. А. Постпирогенные изменения элементного состава лесных горячих материалов и почв в сосновых лесах Средней Сибири // Там же. 2003. № 6. С. 735–742.
31. Горшков В. В., Ставрова Н. И. Динамика возобновления сосны обыкновенной при восстановлении бореальных сосновых лесов после пожаров // Ботан. журн. 2002. Т. 87, № 2. С. 62–78.
32. Мелехов И. С. Влияние пожаров на лес. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1981. 159 с.
33. Поздняков Л. К. Мерзлотное лесоведение. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 192 с.
34. Фуряев В. В. Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1996. 253 с.
35. Евдокименко М. Д. Проблемы лесной пирологии. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1975. С. 207–220.
36. Панин М. С. Формы соединений тяжелых металлов в почвах средней полосы Восточного Казахстана (фоновый уровень). Семипалатинск: ГУ “Семей”, 1999. 329 с.
37. Алексеенко В. А. Эколого-геохимические изменения в биосфере. Развитие, оценка. М.: Университетская книга, Логос, 2006. 520 с.
38. Уфимцева М. Д., Терехина Н. В. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга. СПб.: Наука. Ленингр. отд-ние, 2005. 339 с.
39. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М.: Высш. шк., 1974. 342 с.
40. Безуглова О. С., Орлов Д. С. Биогеохимия. Учебник для студентов высших учебных заведений. Сер. Учебники, учебные пособия. Ростов н/Д.: “Феникс”, 2000. 320 с.
41. [электронный ресурс] Безопасность жизнедеятельности. Учебн. пособие. [http://revolution.allbest.ru/life/00058859\\_1.html](http://revolution.allbest.ru/life/00058859_1.html)
42. [электронный ресурс] Ульбинский металлургический завод. [http://www.kazatomprom.kz/ru/pages/ulbinskij\\_metallurgicheskij\\_zavod](http://www.kazatomprom.kz/ru/pages/ulbinskij_metallurgicheskij_zavod)
43. [электронный ресурс] Электронная версия учебника спасателя. <http://extremum.spb.ru/data1/extremum/ex.nsf/pages/kniga109>
44. Гармаш Н. Ю. Устойчивость пшеницы и конских бобов к тяжелым металлам // Изв. СО АН СССР. Сер. биол. науки. 1985. Вып. 1, № 6. С. 92–100.

## **Beryllium Content in the Organs of *Pinus sylvestris* L. in the Belt Coniferous Forests Near the Irtysh River in the Republic of Kazakhstan**

A. R. SIBIRKINA

*Chelyabinsk State University*  
454001, Chelyabinsk, Br. Kashirinykh str., 129  
E-mail: [sibirkina\\_alfira@mail.ru](mailto:sibirkina_alfira@mail.ru)

Data on beryllium content in the ash and air-dry mass of the organs of *Pinus sylvestris* were obtained. The certain regularity in the distribution of beryllium in needles and branched over years was revealed. It was established that beryllium is an element of strong accumulation for *Pinus sylvestris* under the conditions of the region under investigation, but its role in the general cycle of matter is of minor importance.

**Key words:** beryllium, organs of *Pinus sylvestris* L., toxicity.