

УДК [546.76]:582/475.4(574.42)

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ РАЗЛИЧНЫМИ СООБЩЕСТВАМИ СОСНОВЫХ БОРОВ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПРИИРТЫШЬЯ

Сибиркина А.Р.

ФГБОУ ВПО Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия (454001, г. Челябинск, ул. Бр. Кашириных, 129), E-mail: sibirkina_alfira@mail.ru

Значительная часть растений и грибов сосновых боров Семипалатинского Прииртышья активно используется человеком. Однако информация о химическом составе боровых песков, а также растений и грибов, произрастающих на данной территории, практически отсутствует. В данной работе представлен обобщающий материал о содержании тяжелых металлов в разных сообществах сосновых боров Семипалатинского Прииртышья. Большинство тяжелых металлов не входят в число необходимых для растений и грибов элементов, однако они эффективно поглощаются как корневой системой (для растений), так и другими органами и тканями. Рассчитанные коэффициенты накопления и перераспределения свидетельствуют о том, что, произрастая даже на фоновых, не загрязненных почвах, растения и грибы способны накапливать тяжелые металлы в значительных количествах.

Ключевые слова: накопление, тяжелые металлы, сосновый бор, Семипалатинское Прииртышье.

BIOGEOCHEMICAL PARTICULARITIES OF THE ACCUMULATION OF THE HEAVY METAL COMPOUNDS OF DIFFERENT COMMUNITIES IN PINE FORESTS THE IR-TYSH RIVER IN SEMEY

Sibirkina A.R.

FSBE IVT Chelyabinskiiy state university, Chelyabinsk, Russia (454001, Chelyabinsk, street Br. Kashirinyh, 129), E-mail: sibirkina_alfira@mail.ru

A considerable part of plants and fungi pine forests the Irtysh River in Semey actively used by man. However, information about the chemical composition bor sands, as well as plants and fungi growing in this area, is virtually nonexistent. This paper presents a synthesis of the material content of heavy metals in different components of pine forests the Irtysh River in Semey. Most heavy metals are not included in the number necessary for plant and fungal elements, but they are effectively absorbed by the root system (for plants) and other organs and tissues. Calculated coefficients of accumulation and redistribution of evidence that, even be grown on the not contaminated soils, plants and fungi are able to accumulate heavy metals in significant quantities.

Keywords: accumulation, heavy metals, pine forests, the Irtysh River in Semey.

Исследования проводились в различных сообществах сосновых боров Семипалатинского Прииртышья (СП) вдоль правобережья реки Иртыш с использованием атомно-абсорбционного и математико-статистического методов. Отбор проб проводился 2000–2009 гг. в районе сел Бескарагайского района – Сосновка на границе с Алтайским краем РФ, Долонь, Бегень на границе с Павлодарской областью Республики Казахстан, в двух направлениях от города Семей (в районе пос. Контрольный и пос. Красный Кордон), с углублением в лес на 500–1500 м и в Бородулихинском районе – от Шульбинского водохранилища до села Бородулиха. Пробы отбирались в пяти типах бора: в сухих борах высоких, пологих и средних бугров, в западном и равнинном борах, согласно классификации Л.Н. Грибанова и К.А. Пашковского [2,5]. Объектом исследования были выбраны боровые пески, растения и грибы соснового бора Семипалатинского Прииртышья.

Территория сосновых боров характеризуется простым древостоем, видом – эдификатором является *Pinus sylvestris* L. Производительность древостоев оценивали по бонитировочной шкале М.М. Орлова [10], дифференциацию деревьев в древостое учитывали согласно классификации Крафта [10].

В травянистом покрове преобладают осоковые, степные дерновинные злаки и разнотравье. Всего в исследуемых районах соснового бора было обнаружено 52 вида травянистых растений из 19 семейств. Мохово-лишайниковый покров отсутствует.

Аналитическим исследованиям подвергались плодовые тела 12 видов грибов.

Химические элементы определяли с применением методов атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) и электротермической атомизации для валового Cd и для подвижных форм Cd, Pb, Cu, Co, Ni, Be. Предел обнаружения составил для растений и валового содержания в почвах 0,005-10,0 мг/кг, для подвижных форм – 0,002-0,02 мг/л. Полученные экспериментальные данные были обработаны вариационно-статистическими методами, которые описаны в руководстве Н.А. Плохинского с помощью программы Microsoft Excel [6].

Исследованные боровые пески являются слабогумусированными (содержание гумуса – 0,7 %), с отсутствием карбонатов в верхнем гумусовом горизонте, что определяет их низкую активность к накоплению тяжелых металлов (ТМ). Вместе с тем исторически сложившееся преобладание цветной и перерабатывающей промышленности в Восточном Казахстане, характерная роза ветров и климатические и погодные условия региона способствуют удерживанию ТМ в поверхностном горизонте, вследствие снижения интенсивности водной их миграции вглубь почвенного покрова (таблица 1,2). Содержание ТМ в борových песках равнинных несколько отличается от такового в бугристых и варьирует в широких пределах. В борových равнинных песках значительно выше накапливаются более тяжелые по атомной массе металлы – Cu, Zn, Pb, Cd, и Co, различия могут достигать от 1,05 раза по Co, до 58,2 раза по Cd. В бугристых песках отмечены более высокие концентрации металлов с относительно невысокой атомной массой – Cr, Ni, Be, Mn, V, за исключением Sr.

В целом для борových песков, относительно кларка концентрации, выявлена свинцово-кадмиевая специализация, формула геохимической специализации – $Pb_{1,4}Cd_{1,3}Zn_{0,7}Mn=V_{0,4}Sr=Co=Ni_{0,3}Cr=Cu_{0,2}Be_{0,05}$.

Таблица 1

Среднее валовое содержание тяжелых металлов в боровых равнинных песках сосново-го бора по пунктам отбора, мг/кг (глубина 0-30 см)

ТМ	В боровых равнинных песках, n=30		
	В районе с. Долонь, n= 5	В районе с. Сосновка, n= 10	В районе г. Семей, n= 15
Cu	<u>10,10±0,51 (136,45)</u> 6,41-19,60	<u>9,60±0,48 (171,25)</u> 3,09-20,24	<u>14,50±0,33 (170,05)</u> 9,23-29,60
Zn	<u>70,67±6,64 (1590,84)</u> 29,67-128,12	<u>61,16±3,06 (2370,30)</u> 39,33-116,84	<u>76,55±3,83 (1560,12)</u> 45,83-147,44
Pb	<u>32,58±1,40 (303,81)</u> 22,81-58,81	<u>19,61±1,05 (402,41)</u> 10,53-41,43	<u>29,14±1,60 (518,14)</u> 18,42-61,86
Cd	<u>0,283±0,005 (193,26)</u> 0,002 – 1,02	<u>0,205±0,011 (198,80)</u> 0,002 – 0,86	<u>0,298±0,017 (232,84)</u> 0,032 – 1,82
Co	<u>5,34±0,30 (25,84)</u> 3,96-6,75	<u>3,26±0,24 (37,52)</u> 1,82-6,31	<u>7,84±0,42 (31,32)</u> 5,65-8,36
Cr	<u>15,26±1,04 (47,89)</u> 8,93-20,51	<u>18,03±1,08 (41,35)</u> 10,83-23,62	<u>23,32±1,21 (52,21)</u> 12,63-28,42
Ni	<u>12,15±0,67 (63,17)</u> 6,70-18,48	<u>13,63±0,78 (64,43)</u> 9,74-20,08	<u>16,55±1,10 (56,39)</u> 11,47-25,48
V	<u>42,68±2,46 (192,19)</u> 18,21-54,66	<u>32,87±1,82 (157,15)</u> 11,48-38,23	<u>40,31±2,08 (158,17)</u> 20,20-48,82
Be	<u>1,18±0,11 (26,23)</u> 0,62-1,46	<u>1,84±0,11 (22,01)</u> 0,84-2,04	<u>2,05±0,09 (54,57)</u> 1,52-2,38
Mn	<u>333,50±62,94 (17,73)</u> 208,62 – 395,00	<u>333,28±59,63 (18,07)</u> 188,21 – 384,62	<u>326,16±52,87 (26,81)</u> 196,29 – 404,67
Sr	<u>96,34±4,99 (824,90)</u> 42,43-119,37	<u>123,24±8,33 (805,60)</u> 48,88-139,38	<u>100,13±5,55 (732,30)</u> 46,43-128,31

Основные особенности содержания элементов почвы наследуется от почвообразующих пород, а почвообразование накладывает на них свой отпечаток [9]. В почве биотические и абиотические процессы сопряжены и находятся под контролем биогенного фактора.

Таблица 2

Среднее валовое содержание тяжелых металлов в боровых бугристых песках соснового бора по пунктам отбора, мг/кг (глубина 0-30 см)

ТМ	В боровых бугристых песках, n=48			
	В районе с. Бегень (в т.ч. горельник), n= 10	В районе с. Сосновка, n= 10	В районе г. Семей, n= 15	Бородулихинский район, n=13
Cu	$8,43 \pm 0,45(18,81)$ 7,08-11,19	$9,23 \pm 0,51(24,14)$ 8,00-12,19	$11,14 \pm 0,56(28,14)$ 9,24-12,24	$12,92 \pm 0,60(33,35)$ 11,26-12,49
Zn	$45,80 \pm 2,18(39,21)$ 43,20-50,22	$43,41 \pm 2,53(36,33)$ 42,60-48,59	$50,40 \pm 2,39(38,48)$ 45,66-51,85	$54,79 \pm 2,86(35,62)$ 47,68-53,82
Pb	$17,03 \pm 0,81(22,10)$ 14,48 – 18,88	$15,15 \pm 0,67(20,04)$ 12,78 – 18,92	$16,44 \pm 0,74(21,11)$ 13,33 – 19,73	$16,42 \pm 0,74(21,47)$ 14,45 – 18,83
Cd	$0,0042 \pm 0,0002(16,6)$ 0,003 – 0,005	$0,0041 \pm 0,0003(16,9)$ 0,003 – 0,005	$0,0052 \pm 0,0003(18,9)$ 0,003 – 0,005	$0,0046 \pm 0,0003(18,0)$ 0,003 – 0,005
Co	$5,11 \pm 0,30(15,55)$ 4,42-6,00	$5,05 \pm 0,29(14,91)$ 4,51-5,95	$5,66 \pm 0,37(16,62)$ 5,00-6,32	$5,50 \pm 0,28(11,64)$ 4,98-6,11
Cr	$20,00 \pm 1,01(95,63)$ 13,76-23,37	$22,02 \pm 1,13(112,21)$ 15,75-24,64	$25,85 \pm 1,45(132,23)$ 22,76-25,95	$18,37 \pm 1,41(68,93)$ 17,06-24,06
Ni	$10,92 \pm 0,45(59,64)$ 10,38-13,58	$12,62 \pm 0,81(53,41)$ 11,42-16,85	$16,53 \pm 0,84(60,17)$ 12,98-23,84	$19,69 \pm 0,98(58,4)$ 20,08-22,96
V	$42,12 \pm 2,35(72,11)$ 36,36-49,59	$45,15 \pm 2,40(77,84)$ 34,54-50,22	$47,10 \pm 2,64(83,12)$ 36,68-51,50	$38,35 \pm 2,61(74,5)$ 32,38-50,92
Be	$1,43 \pm 0,09(17,75)$ 1,34-2,10	$1,85 \pm 0,15(23,13)$ 1,61-2,23	$2,01 \pm 0,18(13,17)$ 1,86-2,32	$2,67 \pm 0,06(22,6)$ 1,62-2,40
Mn	$441,00 \pm 90,15(37,0)$ 422,61 – 713,08	$461,27 \pm 91,63(39,5)$ 434,24 – 651,85	$448,3 \pm 100,05(35,0)$ 411,6 – 694,34	$470,29 \pm 97,49(41,4)$ 442,63 – 721,88
Sr	$130,17 \pm 9,18(569,3)$ 124,62-139,62	$121,36 \pm 6,01(375,4)$ 105,51-144,15	$109,95 \pm 5,64(421,7)$ 98,68-126,80	$108,32 \pm 6,41(455,5)$ 83,43-136,18

Примечание. В таблицах 1,2 в числителе - $\bar{x} \pm m\bar{x}$ (Cv,%), в знаменателе – min-max, n – количество проб.

Долю участия растительности в формировании химического состава боровых песков рассчитывали, сопоставляя данные о содержании ТМ в золе растений и почвообразующих породах (древнеаллювиальные пески и супеси) средней полосы Восточного Казахстана [4]. Установлено, что в золе растений относительно почвообразующих пород содержится в 10,4;

30,7; 6,1 и 1,9 раза больше Cu, Zn, Mn и Co, соответственно. Следовательно, в условиях боровых песков имеются предпосылки для аккумуляции ТМ в верхних горизонтах почвы, благодаря растениям. Относительно Cu, Zn, Co и Mn построены ряды изменения их концентраций от почвообразующей породы, валового содержания в боровых песках и до содержания в растениях (средний показатель): по Cu: 6,30–11,04–4,26; по Zn: 40,10–61,78– 41,83; по Mn: 372,5–418,05–76,84; по Co: 5,0–5,42–0,53. Полученные данные указывают на то, что содержание Cu, Mn, Co в поверхностном слое песков более всего зависит от их содержания в почвообразующих породах. Несмотря на большую склонность к водной миграции Zn в боровых песках относительно почвообразующих пород накапливается в большей степени, что связано с его биогенностью и, как и Co, приуроченностью к достаточно широкому диапазону гранулометрических фракций [8]. Учитывая КБП, благодаря травянистым растениям, поверхностный слой песков относительно почвообразующих пород получает значительные количества Cu, Zn, Pb, Cd, Co, Ni, Sr и Mn, а благодаря грибам – Pb и Cd.

Для оценки обеспеченности растений элементами необходимы данные о содержании их мобильных форм в почвах [3], извлекаемых путем кислотной экстракции. Содержание ТМ в подвижных формах убывает, мг/кг: в кислоторастворимой форме: Mn > Zn > Sr > Pb > Cu > V > Ni > Co > Cr > Cd > Be; в обменной: Mn > Sr > Zn > Pb > Be > Cr > Co > V = Ni > Cu > Cd; в водорастворимой форме: Mn > Sr > Zn > Pb = V > ≥ Co > Ni > Cd > Cu = Be. На основе экстракционного критерия установлено, что боровые пески относятся к категории фоновых почв, %: Cd – 19,2; Mn – 5,5; Zn – 3,5; Pb – 3,4; Cu – 3,0; Co – 2,4; Ni=Sr – 1,0; V – 0,6; Cr=Be – 0,5.

Древесные растения питательные вещества получают из атмосферы и почвы [1]. По интенсивности поглощения ТМ древесные породы располагаются в ряду: *Populus tremula L.* > *Pinus sylvestris L.* > *Betula verrucosa L.* Сравнивая среднее накопление металлов в органах и тканях исследованных деревьев, выявлено, что *Populus tremula L.* в повышенных концентрациях накапливает Pb, Cd, Co, Zn, V и Sr. Вегетативные органы *Betula verrucosa L.* усиленно аккумулируют соединения Cu, Ni, Mn и Be, а *Pinus sylvestris L.* – соединения Cr. Выведенные формулы геохимической специализации химического состава указывают на то, что листовые породы деревьев, в частности *Populus tremula L.*, более склонны к накоплению Cd и Zn. Формула геохимической специализации для *Pinus sylvestris L.* имеет следующий вид – $Cd_{0,47}Zn_{0,31}Pb_{0,17}Ni_{0,16}Mn_{0,08} Cu_{0,06}Sr_{0,04}V=Co=Cr=Be_{0,01}$; для *Populus tremula L.* – $Cd_{2,33}Zn_{1,0}Pb_{0,24}Sr_{0,23}Cu_{0,1}Mn_{0,07}Co_{0,05} Ni_{0,02}V=Be_{0,01}Cr_{0,006}$; для *Betula verrucosa L.* – $Zn_{0,89}Cd_{0,58}Pb_{0,2}Cu=Mn_{0,11}Ni_{0,05}Sr_{0,003}Be=Co_{0,02}V=Cr_{0,01}$. По показателю продуктивности 95 % древостоя соответствует среднему классу бонитета (II–V), т.е. почвенно-климатические

условия вполне обеспечивают произрастание насаждений *Pinus sylvestris* L. средней производительности, но не пригодны для произрастания полноценных лиственных насаждений. Состояние древостоя соответствует I–III классу жизненности в зависимости от местопроизрастания.

Для травянистых растений также выявлена зависимость содержания ТМ в органах и тканях от источников промышленного загрязнения. Максимально высокие концентрации Cd, Sr, Pb были обнаружены в растениях, произрастающих в сосновом бору в окрестностях г. Семей. В окрестностях с. Бегень в растениях наблюдаются повышенные концентрации Zn, Co, V, а в растениях на месте пожара увеличено содержание Cr и Mn. Травянистый покров соснового бора в Бородулихинском районе в больших концентрациях накапливает соединения Cu, Ni, Be. Повышенные концентрации Be являются следствием наличия на территории Восточного Казахстана аномальных его концентраций естественного и искусственного происхождения. Выявлено, что по всем пунктам отбора содержание Cu (в 0,8-1,8), Zn (в 1,1-1,9), Co (в 1,2-3,1) и Mn (в 1,3-2,9) превышает их региональные кларковые значения для дикорастущих растений СП. Относительно фоновых значений данных элементов для растений, превышений средних концентраций по Cu, Pb, Cd, Co, Ni, Cr, V, Be, Mn не обнаружено.

Уровни содержания ТМ в травянистых растениях, относящихся к различным семействам, значительно варьируют. *Asteraceae* Bercht. & J. Presl, *Cyperaceae* J. St. Hill., *Alliaceae* Borkh., *Caryophyllaceae* Juzz., *Ranunculaceae* Juzz., *Rubiaceae* Juzz., *Scrophulariaceae* Lindl. накапливают Mn, Zn, Cu, Co в концентрациях значительно превышающих их региональные кларки для дикорастущей растительности средней полосы Восточного Казахстана [4]. Превышение региональных значений по Co, Zn, Mn зафиксировано в растениях из семейств *Poaceae* Burnett, *Rosaceae* Juzz., *Dipsacoideae* Lindl., *Plantaginaceae* Lindl.; в растениях из семейств *Leguminosae* Juss. и *Equisetaceae* Rich. обнаружены концентрации Co, Cu, Mn превышающие их региональные кларки. Выше кларковых значений накапливают Mn, Co, растения из семейств *Brassicaceae* Burnett и *Moraceae* Lindl.; Mn и Zn – *Orobanchaceae* Lindl.; Co – *Umbelliferae* Moris. Растения из семейств *Cyperaceae* J. St. Hill., *Poaceae* Burnett являются накопителями Mn, Zn в концентрациях превышающих фоновые значения. Выше фоновые концентрации Cd зафиксированы в растениях семейств *Rosaceae* Juzz., Zn – у *Plantaginaceae* Lindl. Превышений фоновых значений ТМ не зафиксировано в растениях семейства *Orobanchaceae* Lindl. Выявлено, что однодольные и двудольные растения характеризуются кадмиевой геохимической специализацией химического состава. Формула геохимической специализации однодольных травянистых растений имеет следующий вид – $Cd_{1,3} Zn_{0,5} Pb_{0,2} Ni_{0,2} Mn_{0,2} Cu_{0,1} Cr_{0,04} Be_{0,03} V_{0,01} Co_{0,01} Sr_{0,004}$, а для двудольных – $Cd_{1,0} Sr_{0,06} Zn_{0,4} Pb_{0,2} Cu_{0,1} Ni_{0,1}$

Mn_{0,1} Cr_{0,02} Be_{0,02} V_{0,01} Co_{0,01}, из которых видно, что двудольные растения накапливают в фитомассе Sr на порядок выше, чем однодольные.

Большинство изученных грибов отличаются повышенным накоплением отдельных металлов или групп металлов. К таким грибам, прежде всего, можно отнести *Agaricus campestris* (Schaefer.) Fr. – Cu, Mn; *Suillus luteus* (Fr.) S. F. Gray – Zn, Co; *Amanita pantherina* (Fr.) Secr. – Cd, Pb, V, Be; *Russula lilacea* Quel. – Cd; *Russula densifolia* Gill. – Cr; *Russula fragilis* Fr. – Sr и *Russula rubra* Fr. – Ni. Наименьшей способностью к накоплению исследованных металлов в плодовых телах обладают ксилотрофные базидиомицеты, что объясняется биологическими особенностями этих грибов. Во всех изученных грибах (кроме трутовиков) выявлено превышение ПДК для грибов по Cu в 1,1-11,6 раза и по Zn в 1,4-4,5 раза; содержание Pb и Cd во всех видах грибов превышает в 5,4-219,4 и в 13,4-99,4 раза, соответственно [7]. Для 66,7 % видов грибов характерна кадмиево-свинцовая и кадмиево-свинцово-медная специализация химического состава, для *Boletus luteus* Fr. – кадмиево-свинцово-медно-цинковая, а для *Amanita pantherina* Fr. – кадмиево-свинцово-марганцевая, для *Russula foetens* Fr. и *Cantharellus aurantiacus* Fr. – кадмиевая специализация химического состава.

ВЫВОДЫ

1. Боровые пески соснового бора относятся к категории фоновых почв. Формирование химического состава борových песков находится под влиянием материнских пород, климатических условий территории и источников загрязнения, а также биотических факторов.

2. Растения в условиях обитания на борových песках накапливают ТМ в высоких концентрациях, основное поглощение идет за счет подвижных форм металлов, а также за счет их поступления из атмосферы. Накопление ТМ растениями находится в определенной зависимости от их жизненной формы. В фитомассе деревьев преобладают концентрации Zn и Cd. В фитомассе травянистых растений осуществляется большее накопление Cu, Pb, Cr, Ni, Be, Mn, Co и Sr.

3. Для изученных грибов общей закономерности в биологическом накоплении металлов не выявлено. Элементом энергичного накопления является Cd, к элементам сильного накопления в разной степени относятся Cd, Cu, Pb, Ni. Выявлено, что в группу элементов слабого накопления и среднего захвата входят Cu, Zn, Pb, Co, Cr, Ni, Mn; элементами слабого захвата являются Cu, Zn, Co, Cr, Ni, V, Be, Sr, Mn; элементами очень слабого захвата – V, Be, Sr. Cu, Pb, Cd и Ni, накапливающиеся в грибах, активно участвуют в биогеохимическом круговороте веществ, а такие элементы как Co, Cr, Zn, V, Be, Sr и Mn менее доступны для грибов и роль их в биогеохимическом круговороте незначительна.

4. Почвенно-растительный покров сосновых боров характеризуется свинцово-кадмиевой, кадмиевой, кадмиево-свинцово-медной геохимической структурой и специализа-

цией, что в полной мере отображает специфику промышленного загрязнения Восточного Казахстана.

5. Биогеохимическая оценка состояния сосновых боров позволяет охарактеризовать почвенно-климатические условия как удовлетворительные для произрастания насаждений *Pinus sylvestris L.* средней производительности, соответствующей среднему классу бонитета и I–III классу жизненности.

Список литературы

1. Автухович И.Е. Металлы и древесные растения: экологические аспекты взаимодействия: дисс. ... д-ра сельскохозяйств. наук. 03.00.16. – М., 2006. – 462 с.
2. Грибанов Л.Н. Степные боры Алтайского края и Казахстана. – М.;Л., 1960. – С.67-69.
3. Ильи В.Б. Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам. // Агрехимия. – 1995а. – № 10. – С. 109-113.
4. Панин М.С. Формы соединений тяжелых металлов в почвах средней полосы Восточного Казахстана (фоновый уровень). – Семипалатинск: ГУ «Семей», 1999. – 329 с.
5. Пашковский К.А. Возобновление сосны в ленточных борах Прииртышья. – А-А: Наука, 1951. – С.22-28.
6. Плохинский, Н.А. Биометрия. – М.: Изд-во Моск. университет, 1975. – 367 с.
7. Позняковский В.М. Гигиенические основы питания, безопасность и экспертиза пищевых продуктов: учебник. – 5-е изд., испр. и доп. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2007. – 455 с.
8. Спицына С.Ф. Микроэлементы в системе: почва – растения и эффективность микроудобрений в Алтайском крае: дисс. ... доктора сельскохозяйственных наук: 06.01.04. – Барнаул, 1992. – 424 с.
9. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 277 с.
10. Тюрин А.В., Науменко Н.М., Воропанов П.В. Лесная вспомогательная книжка. – М.;Л., 1956. – 532 с.

Рецензенты:

Лихачев С.Ф., д.б.н., декан факультета экологии Челябинского государственного университета, г. Челябинск.

Гетманец И.А., д.б.н., заведующая кафедрой общей экологии Челябинского государственного университета, г. Челябинск.