

УДК 630\*113:582.475:581.15

## СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В СЕМЕНАХ И ХВОЕ СОСНЫ КЕДРА СИБИРСКОГО РАЗНОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

© 2019 г. Р. Н. Матвеева<sup>а</sup>, \*, Н. П. Братилова<sup>а</sup>, С. М. Кубрина<sup>б</sup>, Ю. Е. Щерба<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,  
просп. им. газеты Красноярский рабочий, 31, Красноярск, 660037 Россия

<sup>б</sup>Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Республика Хакасия,  
просп. Ленина, 90, Абакан, 655012 Россия

\*E-mail: selekcia@sibgtu.ru

Поступила в редакцию 17.04.2017 г.

После доработки 10.10.2018 г.

Принята к публикации 05.06.2019 г.

Изучена изменчивость сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) по содержанию микроэлементов в хвое и семенах деревьев, произрастающих на опытной плантации СибГУ. Плантация была создана семенным посадочным материалом разного географического происхождения в условиях Караульного лесничества Учебно-опытного лесхоза СибГУ. Для анализа отобраны семена и двухлетняя хвоя, собранная в августе с боковых побегов 12-летней мутовки на южной стороне 40- и 41-летних деревьев. Содержание микроэлементов определяли, используя атомно-абсорбционный метод, на спектрофотометре КВАНТ-АФА. Выявлен высокий уровень варьирования аккумуляции микроэлементов в зависимости от географического происхождения деревьев. Установлено, что наибольшее содержание марганца обнаружено в хвое деревьев алтайского, железа – бирюсинского происхождения. В семенах большее количество марганца, цинка, железа содержится у деревьев бирюсинского, меди – черемховского происхождения. Высокий уровень варьирования элементного состава хвои и семян дает возможность отбора деревьев, отличающихся повышенным содержанием дефицитных микроэлементов. Отсеleccionированы деревья с повышенным содержанием микроэлементов в хвое и семенах для последующего размножения. Планируются дальнейшие исследования по определению элементного состава хвои в семенном и вегетативном потомстве отселекционированных особей.

*Ключевые слова:* сосна кедровая сибирская, плантация, микроэлементы, хвоя, семена, Сибирь.

DOI: 10.1134/S0024114819060056

Большое внимание в России и за рубежом уделяется сохранению генофонда ценных древесных растений (Царев, 2013; Бессчетнова, 2015). Сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour), или кедр сибирский, произрастая в основном на территории Сибири, образует съедобные орехи, отличающиеся высокой пищевой ценностью. В 100 г ядер кедрового ореха содержится суточная доза для человека таких микроэлементов, как марганец, медь, цинк и др. (Руш, 1971). Хвоя, обладающая ароматическим, укрепляющим организм эффектом, используется в лечебных целях. Кедровые насаждения выполняют фитонцидную, пылеулавливающую, почвозащитную и другие полезные функции. Воздух в кедровом насаждении является практически стерильным (Протопопов, 1977; Титов, 2004; Ильичев, 2011; Матвеева и др., 2016).

Согласно литературным данным, интенсивность роста и репродуктивного развития древесных растений зависит от многих факторов, вклю-

чая видовую принадлежность, географическое происхождение, условия произрастания, способность усваивать микроэлементы и использовать их в процессе метаболизма (Школьник, 1974; Митрофанов, 1988; Arduini et al., 1998; Субботина, 2009; Ширеторова, 2014; и др.).

Повышенное содержание марганца (209–210 мг кг<sup>-1</sup>) в хвое сосны кедровой сибирской в сравнении с другими микроэлементами отмечается в работах В.Б. Ильина (1973). Марганец, содержащийся в хвое, активно участвует в процессах фотосинтеза и дыхания (Школьник, 1974).

Медь, содержащаяся в хвое сосны кедровой, контролирует образование нуклеиновых кислот ДНК и РНК. Недостаток меди отрицательно сказывается на вступлении растений в репродуктивную стадию развития. В.Б. Ильин (1973) отмечает, что в хвое сосны кедровой, произрастающей

на дерново-подзолистых почвах Западной Сибири, медь содержится в количестве 4.8–5.0 мг кг<sup>-1</sup>.

Цинк принимает участие в азотном и углеводном обменах, влияя на водоудерживающую способность тканей, морозо- и засухоустойчивость (Тома, 1984). Содержание цинка в хвое сосны кедровой варьирует в пределах 66–84 мг кг<sup>-1</sup>.

Железо, находясь в хвое, участвует в образовании хлорофилла (Лир и др., 1971).

Изучение изменчивости химического состава хвои и семян древесных растений используется для оценки уровня генетической изменчивости и определения связи между содержанием некоторых микроэлементов и продуктивностью деревьев. Обнаружены существенные различия по содержанию микроэлементов между популяциями, семьями, клонами у различных видов сосен (Forrest, Ovington, 1971; Gunia, Buraczyk, 1999; Tian et al., 2003; Чепелева, Анникова, 2006; Пожарицкая и др., 2007; Тараканов и др., 2007; и др.).

В настоящее время селекционную оценку деревьев сосны кедровой сибирской проводят по семенной и экологической продуктивности и не учитывают изменчивость семян и хвои по содержанию микроэлементов.

Целью наших исследований послужило сопоставление содержания микроэлементов в хвое и семенах сосны кедровой сибирской.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследования на географической плантации «Известковая» в Учебно-опытном лесхозе Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева (пригородная зона Красноярска) посвящены оценке повышенного содержания микроэлементов в хвое и семенах. Плантация сосны кедровой сибирской была создана посадочным материалом разного географического происхождения (Матвеева, Буторова, 2007).

Согласно схеме лесорастительного районирования территории России плантация находится в Среднесибирском подтаежно-лесостепном районе (Перечень ..., 2007). Она расположена на склоне южной экспозиции крутизной до 3° на светло-серых слабоподзоленных, среднесуглинистых почвах. Содержание микроэлементов в почве распределяется следующим образом: марганец 14.3–16.4, медь – 0.2, цинк – 1.0–1.3, железо – 10.7–13.8 мг кг<sup>-1</sup>. По содержанию марганца и меди почва относится к слабообеспеченной, цинка – среднеобеспеченной (Токовой и др., 1975).

Посадочный материал для создания плантации был выращен из семян разного географического происхождения: алтайского (урочище Курли, Республика Алтай), бирюсинского (местное,

Красноярский край) и черемховского (Иркутская область). Материнские насаждения относятся к III классу бонитета, V классу возраста, произрастают на абсолютных высотах, м: 300 (бирюсинское), 700 (алтайское) и 960 (черемховское). Тип леса – кедрач разнотравный (алтайское и бирюсинское происхождение) и кедрач черничный (черемховское происхождение). Посадка опытных растений была проведена по схеме 5 × 5 м.

Для определения содержания микроэлементов в ядрах семян использовали урожай, собранный с 40-летних деревьев. Для определения микроэлементов в хвое образцы отбирали с 40- и 41-летних деревьев с определением средних значений из 16 деревьев. Заготавливали двухлетнюю хвою в августе с боковых побегов 12-летней мутовки с южной стороны дерева в конце периода вегетации (по методике В.Н. Габеева (1971)). Объем выборки при определении микроэлементов в хвое и семенах – по 36 образцов. Содержание микроэлементов определяли, используя атомно-абсорбционный метод, на спектрофотометре КВАНТ-АФА.

Определение биометрических показателей деревьев производили по общепринятым в лесоразведении методам. Материалы исследований обрабатывали с применением статистических программ Statistica, Excel.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что основой изменчивости химического состава хвои являются генетически обусловленные особенности накопления и использования этих элементов растениями. Важным является анализ накопления основных химических элементов в хвое, поскольку она выполняет функции фотосинтеза, дыхания, регулируя кислородно-углеродный баланс (Тома, 1984; Ковалевский, 1991).

Результаты исследований показали, что в хвое деревьев сосны кедровой уровень индивидуальной изменчивости по содержанию микроэлементов средний и высокий (табл. 1).

Среднее количество микроэлементов в хвое распределилось следующим образом: марганец – 199.6, железо – 133.1, цинк – 49.1, медь – 3.8 мг кг<sup>-1</sup>. Установлено влияние географического происхождения на содержание микроэлементов в хвое: первое место по наличию железа занимают деревья бирюсинского (местного) происхождения; марганца – алтайского. Наибольший процент превышения над средним значением выявлен по содержанию железа (на 16.4%) и марганца (на 8.1%). По содержанию меди и цинка существенность различий между вариантами не подтверждается.

По данным В.В. Тараканова с соавт. (2007), содержание цинка в хвое наследуется более стабильно, чем биометрические показатели, и по-

**Таблица 1.** Содержание микроэлементов в хвое и семенах деревьев разного географического происхождения, мг кг<sup>-1</sup>

Географическое происхождение	$X_{\text{ср.}}$	$\pm m$	$V, \%$	$t_{\Phi 1}$	$X_{\text{ср.}}$	$\pm m$	$V, \%$	$t_{\Phi 2}$ при $t_{05} = 2.09$
В хвое				В семенах				
Марганец								
Алтайское	215.7	11.33	31.5	—	63.7	1.25	6.8	2.88
Бирюсинское	204.4	12.61	37.0	0.67	68.6	1.15	5.8	—
Черемховское	178.6	6.43	21.6	2.85	68.0	3.73	19.0	0.15
Цинк								
Алтайское	48.9	1.81	22.2	0.46	64.3	1.78	9.6	4.86
Бирюсинское	50.1	1.84	22.0	—	81.6	3.08	13.1	—
Черемховское	48.4	1.34	16.6	0.75	68.3	0.56	2.8	4.25
Медь								
Алтайское	4.0	0.18	26.2	—	9.2	0.67	25.1	0.00
Бирюсинское	3.6	0.18	30.2	1.57	7.3	0.31	13.1	2.45
Черемховское	3.7	0.12	19.2	1.39	9.2	0.71	26.6	—
Железо								
Алтайское	116.6	2.40	11.9	8.74	74.0	1.50	7.0	10.11
Бирюсинское	155.0	3.68	34.2	—	102.5	2.39	8.1	—
Черемховское	127.8	2.58	19.6	6.05	89.1	0.82	25.3	5.30

Примечание.  $X_{\text{ср.}}$  — среднее значение;  $m$  — основная ошибка среднего значения;  $V$  — коэффициент вариации;  $t_{\Phi}$  — критерий достоверности различий фактический:  $t_{\Phi 1}$  — в хвое;  $t_{\Phi 2}$  — в семенах; прочерком обозначается вариант, с которым проводится сопоставление данных.

**Таблица 2.** Сравнительные данные по содержанию микроэлементов в хвое и ядрах семян сосны кедровой сибирской

Образец	Марганец		Медь	
	мг кг <sup>-1</sup>	превышение, %	мг кг <sup>-1</sup>	превышение, %
Хвоя	199.6	198.8	3.8	126.3
Семена	66.8		8.6	
		Цинк		Железо
Хвоя	49.1	45.4	133.1	50.4
Семена	71.4		88.5	

этому их можно использовать в виде генетических маркеров.

Результаты исследований свидетельствуют также о высоком содержании микроэлементов в семенах. Они характеризуют семена как источник дефицитных микроэлементов, необходимых для обеспечения жизнедеятельности организма человека. Семена способны обеспечить потребность в микроэлементах при использовании их в качестве дополнительного питания. Анализ содержания микроэлементов в ядрах семян показал, что наибольшее содержание марганца, цинка, железа установлено в семенах бирюсинского происхождения, меди — черемховского.

Уровень изменчивости показателей — от низкого до высокого. Установлена значительная изменчивость накопления микроэлементов в семенах в зависимости от географического происхождения. Среднее содержание железа составляет 88.5, цинка — 71.4, марганца — 66.8, меди — 8.6 мг кг<sup>-1</sup>.

Проведено сопоставление содержания микроэлементов в хвое и семенах деревьев сосны кедровой (табл. 2).

Видно, что в хвое содержание марганца в 3.0 раза, железа — в 1.5 раза больше, чем в семенах. В семенах отмечено более высокое содержание меди — в 2.3 раза и цинка — в 1.4 раза.

В связи с высоким индивидуальным варьированием анализируемых показателей были отобраны деревья по максимальному содержанию микроэлементов в семенах каждой группы, отличающейся географическим происхождением (табл. 3).

Максимальное количество марганца и железа в ядрах семян установлено в шишках дерева Че-59 черемховского происхождения, меди — Ку-24 алтайского происхождения, цинка — Би-48 бирюсинского происхождения.

По содержанию микроэлементов в хвое были отобраны следующие деревья (табл. 4).

**Таблица 3.** Отселектированные деревья по содержанию микроэлементов в ядрах семян

Географическое происхождение	Номер дерева	Содержание микроэлемента, мг кг <sup>-1</sup>	Отношение к среднему значению, %	Номер дерева	Содержание микро-элемента, мг кг <sup>-1</sup>	Отношение к среднему значению, %
Марганец				Медь		
Алтайское	Ку-24	67.7 ± 0.58	101.3	Ку-24	12.5 ± 0.20	145.3
Бирюсинское	Би-27	72.9 ± 0.17	109.1	Би-52	11.1 ± 0.34	129.1
Черемховское	Че-59	87.9 ± 0.39	131.6	Че-36	12.3 ± 1.02	143.0
Цинк				Железо		
Алтайское	Ку-24	73.1 ± 1.24	102.4	Ку-24	79.7 ± 0.22	90.1
Бирюсинское	Би-48	90.4 ± 1.55	126.6	Би-52	110.2 ± 4.39	124.5
Черемховское	Че-36	70.3 ± 0.23	98.4	Че-59	133.2 ± 2.16	150.5

Примечание. Среднее значение: марганец – 66,8, медь – 8,6, цинк – 71,4, железо – 88,5 мг кг<sup>-1</sup>.

**Таблица 4.** Отселектированные деревья по содержанию микроэлементов в хвое

Географическое происхождение	Номер дерева	Содержание микро-элемента, мг кг <sup>-1</sup>	Отношение к среднему значению, %	Номер дерева	Содержание микро-элемента, мг кг <sup>-1</sup>	Отношение к среднему значению, %
Марганец				Медь		
Алтайское	Ку-1	284.8 ± 11.0	142.7	Ку-68	6.7 ± 0.25	176.3
Бирюсинское	Би-27	213.8 ± 2.23	107.1	Би-32	6.5 ± 0.29	171.0
Черемховское	Че-8	258.7 ± 0.72	129.6	Че-44	5.5 ± 0.20	144.7
Цинк				Железо		
Алтайское	Ку-1	78.5 ± 1.45	159.9	Ку-1	153.1 ± 4.80	115.0
Бирюсинское	Би-25	79.6 ± 1.15	162.1	Би-26	255.4 ± 2.66	191.9
Черемховское	Че-44	66.5 ± 0.68	135.4	Че-49	178.3 ± 3.11	134.0

Примечание. Среднее значение: марганец – 199,6, медь – 3,8, цинк – 49,1, железо – 133,1 мг кг<sup>-1</sup>.

Наибольшее превышение марганца было в хвое дерева Ку-1, меди – Ку-68, железа – Би-26, цинка – Би-25.

Отмечена существенная связь между высотой и диаметром ствола 40–41-летних деревьев ( $r = 0.729$ ). Концентрация меди в хвое деревьев имеет умеренную ( $r = 0.478$ ) связь с численностью шишек на дереве, высотой ( $r = 0.356$ ) и слабую – с диаметром ствола ( $r = 0.212$ ). Связь между содержанием марганца, цинка, железа и биометрическими показателями деревьев отсутствует.

**Выводы.** 1. В условиях пригородной зоны г. Красноярска у деревьев сосны кедровой сибирской установлено повышенное содержание в семенах цинка, меди и пониженное – марганца, железа в сравнении с хвоей. Наблюдается проявление географической и индивидуальной изменчивости данных показателей.

2. Высокий уровень варьирования микроэлементов в ядрах семян и хвой позволяет отселектировать отдельные деревья в посадках разного географического происхождения для их размножения вегетативным способом с целью выращивания посадочного материала для создания урожайных

плантаций с повышенным содержанием микроэлементов в семенах и хвое.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Репродуктивный потенциал плюсовых деревьев. Нижний Новгород: Изд-во Московской государственной сельскохозяйственной академии, 2015. 586 с.
- Габеев В.Н. Влияние густоты выращивания на рост сеянцев кедрового сибирского // Труды по лесному хозяйству Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1971. Вып. 9. С. 238–243.
- Ильин В.Б. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов (Mn, Cu, Mo, V) в южной части Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1973. 389 с.
- Ильичев Ю.Н. Генетические объекты кедрового сибирского в Республике Алтай и их роль в сохранении генофонда природных кедровников // Интеэкспо Гео-Сибирь. 2011. Т. 3. № 2. С. 173–175.
- Ковалевский А.Л. Биогеохимия растений. Новосибирск: Наука, 1991. 268 с.
- Лир Х., Польстер Г., Фидлер И. Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 424 с.
- Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф. Коллекция кедровых сосен разного географического происхождения на опытных участках СибГТУ. Красноярск: Изд-во Си-

бирского государственного технологического университета, 2007. 68 с.

Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф., Щерба Ю.Е. Семенное и вегетативное размножение отселектированных деревьев сосны кедровой сибирской. Красноярск: Изд-во Сибирского государственного технологического университета, 2016. 206 с.

Митрофанов Д.П. Биогеохимия лесной растительности Сибири. Красноярск: Изд-во Института леса и древесины СО РАН, 1988. 24 с.

Перечень лесорастительных зон и лесных районов Российской Федерации. М.: Изд-во Министерства природных ресурсов РФ, 2007. 17 с.

Пожарицкая О.Н., Шиков А.Н., Лааксо И., Дорман Х.Ж.Д., Макаров В.Д., Хилтунен Р., Тихонов В.П. Полифенольные соединения семян *Pinus sibirica* (Pinaceae) // Растительные ресурсы. 2007. Вып. 2. С. 39–46.

Протопопов В.В. Анализ экологического значения темнохвойного леса // Проблемы лесоведения Сибири: Сб. статей. М.: Наука, 1977. С. 25–43.

Руш В.А. Новое в исследовании химического состава кедрового ореха // Использование и воспроизводство кедровых лесов: Сб. статей. Новосибирск: Наука, 1971. С. 240–244.

Субботина М.А. Минеральный состав и показатели безопасности семян сосны кедровой сибирской // Вестник КрасГАУ. 2009. № 5. С. 174–177.

Тараканов В.В., Милютин Л.И., Куценогий К.П., Ковальская Г.А., Игнатьев Л.А., Самсонова А.Е. Элементный состав хвои в разных клонах сосны обыкновенной // Лесоведение. 2007. № 1. С. 28–35.

Титов Е.В. Платационное лесовыращивание кедровых сосен. Воронеж: Изд-во Воронежской государственной технологической академии, 2004. 165 с.

Токовой Н.А., Токовой Н.А., Майборода Н.М. Препараты плодородия. Красноярск: Красноярское книжное издательство, 1975. 74 с.

Тома С.И. Микроэлементы как фактор оптимизации питания растений // Микроэлементы в обмене веществ и продуктивности растений: сб. статей. Киев: Наукова думка, 1984. С. 5–7.

Царев А.П. Программа лесной селекции (в России и за рубежом). М.: Изд-во Московского государственного университета леса, 2013. 164 с.

Чепелева Г.Г., Анникова А.А. Содержание полиненасыщенных жирных кислот в орехах кедровых, произрастающих в центральном и южном районах Красноярского края // Вестник Красноярского гос. университета. 2006. С. 40–43.

Ширеторова В.Г. Минеральный состав семян сосны сибирской и продуктов их переработки // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. 2014. № 1. С. 93–96.

Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений. Л.: Наука, 1974. 324 с.

Arduini I., Godbold D.L., Onnis A., Stefani A. Heavy metals influence mineral nutrition of tree seedlings // Chemosphere. 1998. V. 36. № 4–5. P. 739–744.

Forrest W.G., Ovington J.D. Variation in dry weight and mineral nutrient content of *Pinus radiata* progeny // Silvae Genetica. 1971. V. 20. P. 174–179.

Gunia S., Buraczuk W. The content of ash and nutrients in the needles of 1–2 Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings representing 20 domestic provenances // Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Forestry and Wood Technology. 1999. № 49. P. 51–57.

Tian D., Wenhua X., Wenxing K. Изучение биоцикла микроэлементов на плантациях *Pinus massoniana* // Linze Kexue/Scientia Silvae Sinicae. 2003. V. 39. № 4. P. 1–58.

## Concentration of Trace Elements in Seeds and Needles of Siberian Pine of Various Geographic Origin

R. N. Matveeva<sup>1,\*</sup>, N. P. Bratilova<sup>1</sup>, S. M. Kubrina<sup>2</sup>, and Yu. E. Shcherba<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Reshetnev Siberian State University of Science and Technology Krasnoyarsky Rabochy av. 31, Krasnoyarsk, 660037 Russia

<sup>2</sup>Khatanov Khakass State University Lenin st. 90, Abakan, 655000 Russia

\*E-mail: selekcia@sibgtu.ru

Received 17 April 2017

Revised 10 October 2018

Accepted 5 June 2019

Variability of trace element concentrations in needles and seeds of Siberian pine (*Pinus sibirica* Du Tour) was studied on trial plantation of Siberian State University. This plantation was created from seeds of various geographic origin in Karaul forest unit of the research and experimental forest enterprise of Siberian State University. Seeds and two-year old needles were sampled in August from 12-years-old side branch cluster exposed to the south on 40–41-year old trees. Concentration of microelements was measured by atomic absorption method with spectrophotometer KVANT-AFA. High variance of accumulation of microelements was found to be related with geographic origin of trees. Here we show that the highest concentration of manganese was found in needles of Altai trees, iron in Biryusa trees. The higher concentration of manganese, zinc and iron was found in Biryusa trees, while Cheremkhovo trees had higher copper content. High variance of elemental composition in needles and seeds could be used for selection of trees having higher concentration of deficit microelements. Such trees were selected for further reproduction and further studies of elemental composition.

**Keywords:** Siberian pine, plantation, microelements, needles, seeds, Siberia.

## REFERENCES

- Arduini L., Godbold D.L., Onnis A., Stefani A., Heavy metals influence mineral nutrition of tree seedlings, *Chemosphere*, 1998, Vol. 36, No. 4, pp. 739–744.
- Besschetnova N.N., *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Reproductivnyi potentsial plyusovykh derev'ev* (Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Reproductive potential of plus trees), Nizhny Novgorod: Izd-vo NGSKhA, 2015, 586 p. *Byulleten' normativnykh aktov federal'nykh organov ispolnitel'noi vlasti*, 2007, 25 June.
- Chepeleva G.G., Annikova A.A., Soderzhanie polinenasyschennykh zhirnykh kislot v orekhakh kedrovyykh, proizrastayushchikh v tsentral'nom i yuzhnom raionakh Krasnoyarskogo kraia (Concentration of polyunsaturated fatty acids in pine nuts, growing in central in southern districts of Krasnoyarsk krai), *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki*, 2006, pp. 40–43.
- Forrest W.G., Ovington J.D., Variation in dry weight and mineral nutrient content of *Pinus radiata* progeny, *Silvae Genetica*, 1971, Vol. 20, No. 5–6, pp. 174–179.
- Gabeev V.N., Vliyaniye gustoty vyrashchivaniya na rost seyantshev kedra sibirskogo (Effect of plantation density on growth of saplings of Siberian pine), In: *Produktivnost' i vosstanovitel'naya dinamika lesov Zapadnoi Sibiri (Productivity and dynamics of recovery of forests in West Siberia)* Novosibirsk: Nauka, 1971, pp. 238–243 (287 p.).
- Gunia S., Buraczyk W., The content of ash and nutrients in the needles of 1/2 Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings representing 20 domestic provenances, *Annals of Warsaw University of Life Sciences. Forestry and Wood Technology*, 1999, Vol. 49, pp. 51–57.
- Il'in V.B., *Biogeokhimiya i agrokimiya mikroelementov (Mn, Cu, Mo, B) v yuzhnoi chasti Zapadnoi Sibiri* (Biogeochemistry and agrochemistry of microelements (Mn, Cu, Mo, B) in the south of West Siberia), Novosibirsk: Nauka, 1973, 391 p.
- Ilyichev Y.N., Geneticheskie ob"ekty kedra sibirskogo v Respublike Altai i ikh rol' v sokhranении genofonda prirodnykh kedrovnikov (The genetic objects of Siberian cedar in the Republic of Altai and their role in preservation of genofond of natural cedar forests), *Geo-Sibir'*, 2011, Vol. 3, No. 2, pp. 173–175.
- Kovalevskii A.L., *Biogeokhimiya rastenii* (Biogeochemistry of plants), Novosibirsk: Nauka, 1991, 293 p.
- Lyr H., Polster H., Fiedler H.-J., *Gehölzphysiologie*, Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1974, 423 p.
- Matveeva R.N., Butorova O.F., *Kolleksiya kedrovyykh sosen raznogo geograficheskogo proiskhozhdeniya na opytnykh uchastkakh SibGTU* (Collection of mountain pines of different geographical origin on experimental plots of Siberian State Technological University), Krasnoyarsk: Izd-vo SibGTU, 2007, 68 p.
- Matveeva R.N., Butorova O.F., Shcherba Y.E., *Semennoe i vegetativnoe razmnozhenie otselektirovannykh derev'ev sosny kedrovoy sibirskoi* (Seed and vegetative reproduction of selected trees of Siberian pine), Krasnoyarsk: Izd-vo SibGTU, 2016, 206 p.
- Mitrofanov D.P., *Biogeokhimiya lesnoi rastitel'nosti Sibiri* (Biogeochemistry of forest vegetation in Siberia), Krasnoyarsk: Izd-vo ILiD SO RAN, 1988, 24 p.
- Pozharitskaya O.N., Shikov A.N., Laakso I., Dorman H.J.D., Makarov V.G., Hiltunen R., Tikhonov V.P., Polifenol'nye soedineniya semyan *Pinus sibirica* (Pinaceae) (Polyphenolic compounds of *Pinus sibirica* (Pinaceae) seeds), *Rastitel'nye resursy*, 2007, Vol. 43, No. 2, pp. 39–46.
- Protopopov V.V., Analiz ekologicheskogo znacheniya temnokhoynogo lesa (Study of environmental role of dark coniferous forest), In: *Problemy lesovedeniya Sibiri (Challenges in forest science of Siberia)* Moscow: Nauka, 1977, pp. 25–48 (258 p.).
- Rush V.A., Novoe v issledovanii khimicheskogo sostava kedrovogo orekha (Advances in studies of chemical composition of the pine nut), *Ispol'zovanie i vosproizvodstvo kedrovyykh lesov (Exploitation and regeneration of mountain pine forests)*, Tomsk, 20–23 August 1969, Novosibirsk: Nauka, 1971, pp. 240–244.
- Shiretorova V.G., Mineral'nyi sostav semyan sosny sibirskoi i produktov ikh pererabotki (Mineral composition of Siberian pine seeds and its products), *Vestnik VSGUTU*, 2014, No. 1 (46), pp. 93–96.
- Shkol'nik M.Y., *Mikroelementy v zhizni rastenii* (Microelements in the life of plants), Leningrad: Nauka, 1974, 324 p.
- Sybbotina M.A., Mineral'nyi sostav i pokazateli bezopasnosti semyan sosny kedrovoy sibirskoi (Mineral composition and seed safety indices of Siberian cedar pine-tree), *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2009, No. 5, pp. 174–177.
- Tarakanov V.V., Milyutin L.I., Kutsenogii K.P., Koval'skaya G.A., Ignat'ev L.A., Samsonova A.E., Elementnyi sostav khvoi v raznykh klonakh sosny obyknovennoi (The elemental composition of needles in different Scots pine clones), *Lesovedenie*, 2007, No. 1, pp. 28–35.
- Tian D., Wenhua X., Wenxing K., Study on biological cycling of microelements in *Pinus massoniana* plantations, *Scientia Silvae Sinicae*, 2003, Vol. 39, No. 4, pp. 1–8.
- Titov E.V., *Plantatsionnoe lesovyrashchivanie kedrovyykh sosen* (Nursing of plantations of mountain pines), Voronezh: Izd-vo VGTA, 2004, 165 p.
- Tokovoi N.A., Maiboroda N.M., *Preparaty plodorodiya* (Solutions for fertility), Krasnoyarsk: Knizhnoe izdatel'stvo, 1975, 75 p.
- Toma S.I., Mikroelementy kak faktor optimizatsii pitaniya rastenii (Microelements: a factor of improvement of plant nutrition), In: *Mikroelementy v obmene veshchestv i produktivnosti rastenii (Microelements in metabolism and the productivity of plants)*: Naukova dumka, 1984, pp. 5–7 (214 p.).
- Tsarev A.P., *Programmy lesnoi selektsii v Rossii i za rubezhom* (Programs of forest breeding in Russia and abroad), Moscow: Izd-vo MGUL, 2013, 164 p.