

УДК 630*813.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.64

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДРЕВЕСИНЕ СОСНЫ И ЕЛИ

Н.В. Килюшева¹, соискатель (асп.)

П.А. Феклистов¹, д-р с.-х. наук, проф.

Н.В. Ежова², канд. с.-х. наук, зам. лесничего

И.Н. Болотов¹, д-р биол. наук

Б.Ю. Филиппов¹, д-р биол. наук

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: n.volkova@narfu.ru

²Приморское участковое лесничество Архангельского лесничества – филиал ФГКУ «УЛХиП» Минобороны России, просп. Советских Космонавтов, д. 181, корп. 1, каб. 29, г. Архангельск, Россия, 163000; e-mail: aspirant.10@mail.ru

Минеральные элементы играют важную роль в развитии всех древесных растений. Содержание минеральных компонентов зависит как от породного состава насаждения, так и от климатических и эдафических факторов конкретных местообитаний. Цель исследований – сравнительный анализ содержания химических элементов в древесине сосны обыкновенной и ели обыкновенной в черничных типах леса (в Приморском участковом лесничестве Архангельского лесничества), поиск закономерностей, связанных с категорией состояния деревьев и поперечным сечением ствола. Определение содержания минеральных элементов и тяжелых металлов выполнено посредством рентгенофлуоресцентного анализа, проведенного на волнодисперсном спектрометре. Исходным материалом служили керны древесины, взятые возрастным буром Пресслера из центральной и периферийной частей ствола ели, из ядра и заболони сосны. Для проведения анализа предварительно высушенные до абсолютно сухого состояния в сушильном шкафу и измельченные пробы прессовали в таблетки. Общее количество проб – 50 штук. Для обеих пород ряд аккумуляции минеральных элементов: Ca > K > Mg > Fe > S > P. В древесине сосны и ели больше всего содержится кальция и калия, на порядок меньше магния, железа, серы, меди, фосфора. В 2 раза больше меди и свинца содержится в центральной части ствола, кальция и калия – в периферийной части. Больше элементов накапливается у здоровых деревьев сосны, для остальных категорий – у ели, причем для обеих пород имеется тренд уменьшения их количества с ухудшением состояния деревьев до сильно ослабленных. У усыхающих деревьев и сухостоя, наоборот, количество минеральных элементов несколько повышается, но остается меньшим, чем у здоровых. С ослаблением дерева уменьшается содержание кальция и увеличивается содержание таких

Для цитирования: Килюшева Н.В., Феклистов П.А., Ежова Н.В., Болотов И.Н., Филиппов Б.Ю. Сравнительный анализ содержания минеральных элементов в древесине сосны и ели // Лесн. журн. 2017. № 5. С. 64–72. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.64

тяжелых металлов, как цинк и медь. Содержание тяжелых металлов в древесине сосны превалирует: меди в 4–7 раз больше, чем в древесине ели, свинца – в 10–30 раз.

Ключевые слова: минеральные элементы, древесина, категория состояния, поперечное сечение ствола, аккумуляция, тяжелые металлы.

Введение

Минеральных элементов в вегетативных органах древесных растений содержится крайне мало [5, 10]. Однако их роль нельзя недооценивать, ведь они входят в состав важнейших соединений (белков, аденозинтрифосфата (АТФ), хлорофилла и др.), без которых жизнь древесных растений невозможна. Вегетативные органы различаются зольностью и химическим составом минеральных элементов [11]. Сведения о содержании минеральных элементов можно найти в литературе, но для других регионов [3, 4, 7 и др.]. Минеральные элементы поглощаются корнями и продвигаются по ксилеме (древесине) вместе с током воды. В связи с этим важно знать их содержание в разных частях древесины по сечению ствола. В периферийной древесине растущих деревьев (для ядровых пород – в заболони) в среднем 10 % клеток – живые, околосердцевинная древесина является мертвой, в которой почти закончена лигнификация [9].

Сосна обыкновенная и ель обыкновенная существенно различаются своими биологическими особенностями, в частности корневой системой на дренированных почвах: у сосны – стержневая, у ели – поверхностная [6]. Отсюда можно предположить, что и минеральный состав древесины будет различен.

Содержание минеральных компонентов в органах растений характеризует условия их питания и воздействие антропогенных факторов на лесные сообщества [8]. Согласно [2], содержание элементов питания у основных лесообразующих пород обусловлено их генетическими особенностями и лишь во вторую очередь зависит от климатических и эдафических факторов конкретных местообитаний, в том числе от плодородия почвы и размера стволов.

Цель работы – анализ содержания минеральных элементов в древесине сосны обыкновенной и ели обыкновенной в черничных типах леса. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

определить содержание химических элементов в древесине сосны и ели, дать их сравнительную характеристику;

выявить закономерность распределения химических элементов в поперечном сечении ствола сосны и ели;

найти взаимосвязь содержания химических элементов с категориями состояния деревьев.

Объекты и методы исследования

Подбор и закладку временных пробных площадей (ПП) выполняли с учетом требований ОСТ 56-69-83 и методик [1, 12]. Модельные деревья отбирали по средним диаметру и высоте, которые были установлены по данным

перечета на ПП, а также согласно категории состояния деревьев [13]. ПП закладывали в Приморском участковом лесничестве Архангельского лесничества (северная подзона тайги). Всего было заложено по пять ПП в ельнике черничном свежем и в сосняке черничном свежем (табл. 1). Все ПП или чистые по составу, или с небольшой примесью других пород (до 3 ед.), близки по возрасту III-IV классам возраста.

Таблица 1

Лесоводственно-таксационная характеристика древостоев на ПП

| № ПП | Состав | Порода | Средние | | Возраст, класс | Запас, м ³ /га | Полнота относительная | Класс бонитета |
|--------------------------------|--------|--------|-------------|-----------|----------------|---------------------------|-----------------------|----------------|
| | | | диаметр, см | высота, м | | | | |
| <i>Сосняк черничный свежий</i> | | | | | | | | |
| 1 | 7СЗБ | С | 15,2 | 11,6 | III | 108,4 | 0,5 | IV |
| | | Б | 12,8 | 11,2 | – | 29,1 | 0,2 | – |
| 2 | 8С2Б | С | 14,8 | 11,5 | III | 90,5 | 0,7 | IV |
| | | Б | 10,8 | 11,0 | – | 28,2 | 0,3 | – |
| 3 | 8С2Б | С | 16,6 | 14,1 | IV | 110,9 | 0,5 | IV |
| | | Б | 7,5 | 8,6 | – | 17,2 | 0,2 | – |
| 4 | 9С1Б | С | 9,4 | 10,8 | III | 89,9 | 0,4 | IV |
| | | Б | 7,0 | 8,0 | – | 17,1 | 0,3 | – |
| 5 | 10С | С | 9,8 | 11,2 | III | 88,0 | 0,6 | IV |
| <i>Ельник черничный свежий</i> | | | | | | | | |
| 6 | 7Е2С1Б | Е | 17,0 | 16,0 | III | 116,8 | 0,5 | III |
| | | С | 19,6 | 16,4 | – | 65,0 | 0,2 | – |
| | | Б | 14,5 | 14,1 | – | 13,0 | 0,1 | – |
| 7 | 8Е1С1Б | Е | 19,5 | 19,2 | IV | 235,0 | 0,80 | IV |
| | | С | 20,1 | 18,3 | – | 20,0 | 0,07 | – |
| 8 | 10ЕедБ | Б | 13,6 | 14,2 | – | 7,0 | 0,10 | – |
| | | Е | 12,9 | 17,3 | IV | 220,0 | 0,88 | V |
| 9 | 10ЕедБ | Б | 14,3 | 15,2 | – | – | 0,06 | – |
| | | Е | 13,1 | 17,7 | IV | 230,0 | 0,92 | IV |
| 10 | 10Е | Б | 14,0 | 15,1 | – | – | 0,05 | – |
| | | Е | 12,4 | 13,8 | IV | 162,0 | 0,86 | IV |

Исходным материалом служили керны древесины, взятые с модельных деревьев возрастным буравом Пресслера на высоте 1,3 м.

Содержание минеральных элементов исследовали на образцах из центральной и периферийной частей ствола ели и сосны, которые имели набор годовичных колец, сформированных в начале жизни и к моменту проведения эксперимента. При этом исходили из предположения, что минеральные элементы вместе с током воды передвигаются по периферийным годовичным кольцам, количество которых может достигать 30...50 шт. [5].

В камеральных условиях образцы в течение суток сушили до абсолютно сухого состояния в сушильном шкафу при температуре 105 °С. Общее

количество проб – 50 шт. Содержание минеральных элементов и тяжелых металлов определяли на оборудовании ЦКП НО «Арктика» (Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова) при финансовой поддержке Минобороны России. Рентгенофлуоресцентный анализ проводили на волнодисперсном спектрометре LabCenterXRF-1800. Для этого предварительно высушенные и измельченные пробы прессовали в таблетки.

По полученным спектрам образцов методом фундаментальных параметров определяли элементы, присутствующие в пробе.

Условия проведения эксперимента: рентгеновская трубка с родиевым анодом; напряжение – 40 кВ; ток – 95 мА; экспозиция – 40 с и 20 с для фоновых точек; вакуум. Для определения Fe, Mn, Ca, K, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Co использовали следующие кристаллы-анализаторы: LiF, S, P, Cl-Ge, Mg, Na, O-TAP, Al-PET. Для регистрации излучения применяли сцинтилляционный и пропорциональный детекторы.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассматривая суммарное валовое содержание основных минеральных элементов (Fe, Mn, Ca, K, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Co) у сосны и ели, можно констатировать, что их очень мало. У здоровых деревьев (без признаков ослабления) их больше содержится в древесине сосны, чем у ели: соответственно 0,44 и 0,40 % (рис. 1). Разница составляет 13 %. Различия достоверны при вероятности $P = 0,95$. По мере ослабления деревьев имеет место тренд снижения содержания этих элементов, что особенно заметно на сильно ослабленных деревьях сосны, менее резко это выражено у ели (соответственно 0,33 и 0,38 %).

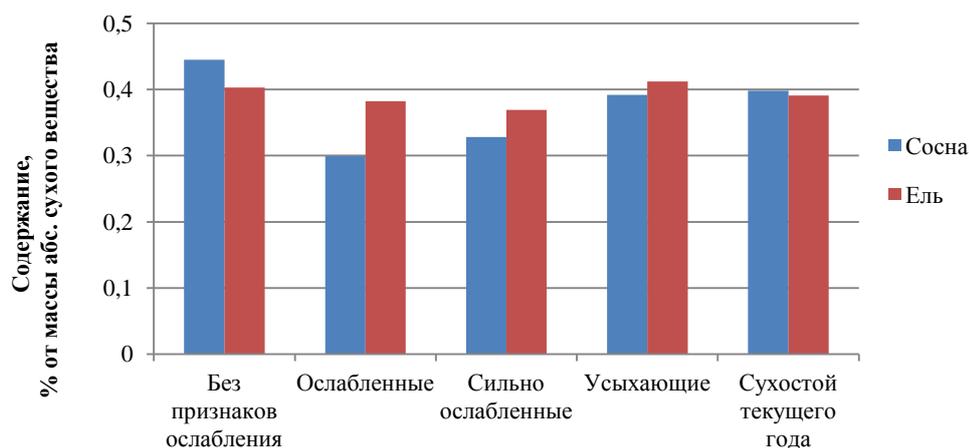


Рис. 1. Суммарное содержание минеральных элементов (Fe, Mn, Ca, K, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Co) по категориям жизнеспособности деревьев

У усыхающих и сухостойных деревьев (сосны и ели) различий в содержании минеральных элементов нет, или точнее они недостоверны. В то же время содержание элементов повышается по сравнению с сильно ослабленными и ослабленными деревьями. Возможно это связано с тем, что поступление минеральных элементов остается на уровне здоровых деревьев, но из-за потери ассимиляционного аппарата их потребление и распределение отсутствуют. В сухих деревьях их столько же, как и в усыхающих.

На рис. 2 представлено распределение содержания основных химических элементов в центральной и периферийной частях ствола деревьев сосны и ели.

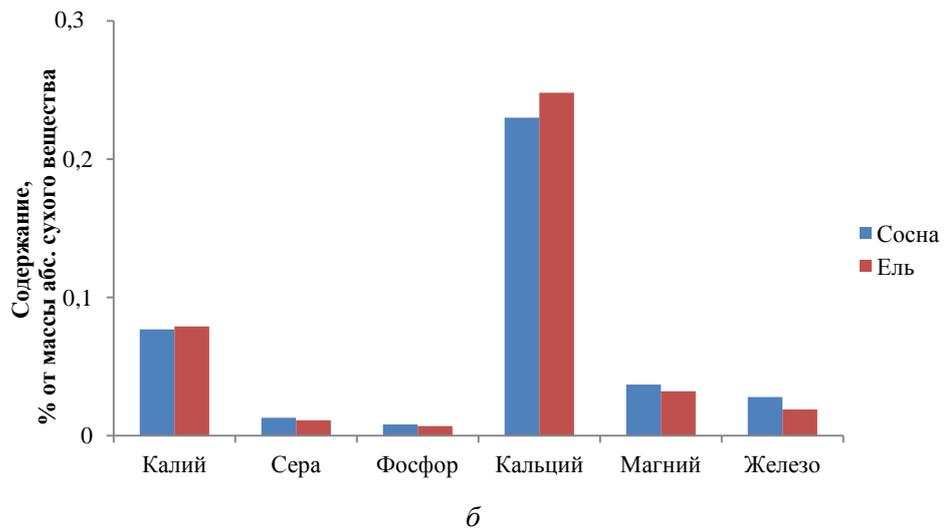
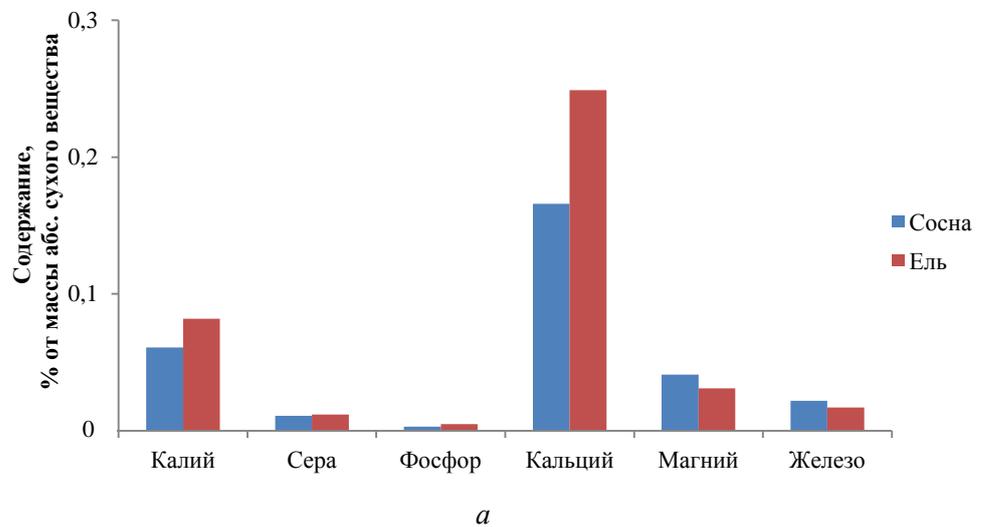


Рис. 2. Содержание минеральных элементов в центральной (а) и периферийной (б) частях древесины ствола

Статистические данные показывают, что все средние значения достоверны. Критерий Стьюдента находится в интервале от 7 до 124. Для обеих пород (как в центральной, так и в периферийной частях ствола) получен следующий ряд аккумуляции минеральных элементов: $Ca > K > Mg > Fe > S > P$. Обращает на себя внимание то, что в периферийной части ксилемы содержания минеральных элементов у сосны и у ели очень близки. Калия и кальция у ели чуть больше, чем у сосны; серы одинаково; магния и железа у сосны несколько больше. Калия и кальция в центральной части ксилемы заметно больше у ели, чем у сосны (примерно 30 и 60 % соответственно). В заболонной части древесины фосфора больше, чем в ядровой.

Содержание тяжелых металлов в древесине сосны и ели существенно различается (табл. 2): в древесине ели их на порядок меньше (от 0,0001 до 0,0090 %), чем в древесине сосны (от 0,0020 до 0,0400 %). Меньше всего содержится свинца.

Таблица 2

**Содержание (%) тяжелых металлов в центральной (числитель)
и периферийной (знаменатель) частях древесины ствола**

| Порода | Медь | Свинец | Цинк |
|--------|---------------|---------------|---------------|
| Сосна | 0,0400/0,0400 | 0,0030/0,0020 | 0,0100/0,0040 |
| Ель | 0,0090/0,0060 | 0,0001/0,0002 | 0,0020/0,0030 |

Количество меди в древесине сосны в 4–7 раз превышает этот показатель для ели, а свинца – в 10–30 раз. Большая разница между породами по содержанию тяжелых металлов, вероятно, связана с биологическими особенностями зон поглощения корнями: у сосны на дренированных почвах корневая система распространяется вглубь, у ели она поверхностная.

Если проанализировать распределение свинца по частям ствола, то можно сделать вывод, что в древесине центральной части ствола сосны содержание свинца на 50 % выше, чем в периферийной, цинка – на 150 %, меди – одинаково. У ели в периферийной части ствола свинца на 100 % больше, чем у сосны, цинка – на 50 %. Ель аккумулирует больше меди в центральной части ствола, по сравнению с периферийной частью разница составляет 50 %.

Выводы

1. Валовое содержание минеральных элементов в древесине сосны составляет 0,44 %, ели – 0,40 %.
2. На распределение минеральных элементов биологические особенности древесных пород не влияют. Ряд аккумуляции минеральных элементов: $Ca > K > Mg > Fe > S > P$.
3. Древесина сосны аккумулирует тяжелые металлы в большем количестве, чем ель: меди в 4–7 раз больше, свинца – в 10–30 раз.
4. По мере ослабления деревьев имеет место тренд снижения содержания минеральных элементов как у сосны, так и у ели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анучин Н.П.* Лесная таксация: учеб. для вузов. 6-е изд. М.: ВНИИЛМ, 2004. 552 с.
2. *Базилевич Н.И., Титлянова А.А.* Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах. Новосибирск: СО РАН, 2008. 381 с.
3. *Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Сенькина С.Н., Галенко Э.П., Загирова С.В.* Эколого-физиологические основы продуктивности сосновых лесов Европейского Северо-Востока. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1993. 176 с.
4. *Васильева Н.П., Гитарский М.Л., Карabanь Р.Т., Назаров И.М.* Мониторинг повреждаемых загрязняющими веществами лесных экосистем России // Лесоведение. 2000. № 1. С. 23–31.
5. *Веретенников А.В.* Физиология растений с основами биохимии. Воронеж: ВГУ, 1987. 255 с.
6. *Виноградов А.П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: АН СССР, 1957. 240 с.
7. *Казимиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С., Иванчиков А.А., Морозова Р.М.* Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.
8. *Казимиров Н.И., Морозова Р.М.* Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1973. 175 с.
9. *Крамер П.Д., Козловский Т.Т.* Физиология древесных растений: пер. с англ. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 464 с.
10. *Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.-И.* Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 424 с.
11. *Лукина Н.В., Сухарева Т.А., Исаева Л.Г.* Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаежных лесах. М.: Наука, 2005. 245 с.
12. ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесоустroительные. Метод закладки: приказ Рослесхоза от 28.05.93 № 134. М., 1993.
13. Правила санитарной безопасности в лесах: утв. приказом М-ва природных ресурсов и экологии РФ от 24.12.2013 № 613. Доступ из справ.-правовой сист. «Консультант Плюс».

Поступила 03.05.17

UDC 630*813.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.64

Comparative Analysis of Mineral Content in Pine and Spruce Wood

N.V. Kilyusheva¹, Candidate for a Degree

P.A. Feklistov¹, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

N.V. Ezhova², Candidate of Agricultural Sciences, Deputy Forester

I.N. Bolotov¹, Doctor of Biological Sciences

B.Yu. Filippov¹, Doctor of Biological Sciences

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: n.volkova@narfu.ru

²Primorye forest district of the Arkhangelsk forestry – branch of the Federal State Institution “Forestry and Nature Management Department” of the Ministry of Defense of Russia, pr. Sovetskikh Kosmonavtov, 181, bl. 1, off. 29, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: aspirant.10@mail.ru

For citation: Kilyusheva N.V., Feklistov P.A., Ezhova N.V., Bolotov I.N., Filippov B.Yu. Comparative Analysis of Mineral Content in Pine and Spruce Wood. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 5, pp. 64–72. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.64

Mineral elements are very important for the development of all woody plants. The content of mineral constituents depends both on the species composition of the plantation and climatic and soil factors of particular habitats. The goal of research is a comparative analysis of the content of chemical elements in Scotch pine and spruce fir wood in myrtillus-type forests (in the Primorye forest district of the Arkhangelsk forestry), the search for regularities related to the category of state of trees and crosscut end. We determined the content of mineral elements and heavy metals by the X-ray fluorescence analysis carried out with the use of a wave-dispersed spectrometer. The parent material was wood core taken from the Pressler borer from the central and peripheral parts of the spruce stem, from the pine core and sapwood. For the analysis, we predried the samples in a drying box, grounded them and pilled. The total number of samples was 50. For both species, a series of accumulation of mineral elements was $Ca > K > Mg > Fe > S > P$. Pine and spruce wood most of all contained calcium and potassium, and next smaller – magnesium, iron, sulfur, copper, phosphorus. Copper and lead were 2 times more in the central part of the stem, calcium and potassium – in the peripheral part. Healthy pine trees accumulated more elements, other categories were accumulated by spruce; both species had a trend of decreasing their number with a decrease in the state of trees to the greatly weakened state. Among drying and dead standing trees, their amount of mineral elements slightly increased, but it was less than in healthy ones. With the weakening of the tree, the calcium content decreased and the content of heavy metals such as zinc and copper increased. The content of heavy metals in pine wood prevailed: the copper content was 4–7 times greater than in spruce wood, the lead content – 10–30 times.

Keywords: mineral element, wood, category of state, crosscut end, accumulation, heavy metal.

REFERENCES

1. Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest Inventory]. Moscow, VNIILM Publ., 2004. 552 p. (In Russ.)
2. Bazilevich N.I., Titlyanova A.A. *Bioticheskiy krugovorot na pyati kontinentakh: azot i zol'nye elementy v prirodnykh nazemnykh ekosistemakh* [Biotic Cycle in Five Continents: Nitrogen and Ash Constituents in the Natural Land Ecosystems]. Novosibirsk, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2008. 381 p. (In Russ.)
3. Bobkova K.S., Tuzhilkina V.V., Sen'kina S.N., Galenko E.P., Zagirova S.V. *Ekologo-fiziologicheskie osnovy produktivnosti sosnovykh lesov Evropeyskogo severovostoka* [Ecological and Physiological Bases of Pine Forests Productivity of the European North-East]. Syktyvkar, Komi Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 1993. 176 p. (In Russ.)
4. Vasil'eva N.P., Gitarskiy M.L., Karaban' R.T., Nazarov I.M. Monitoring povrezhdaemykh zagryaznyayushchimi veshchestvami lesnykh ekosistem Rossii [Monitoring of the Russian Forest Ecosystems Damaged by Pollutants]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2000, no. 1, pp. 23–31.
5. Veretennikov A.V. *Fiziologiya rasteniy s osnovami biokhimii* [Plant Physiology with Basics of Biochemistry]. Voronezh, Voronezh State University Publ., 1987. 255 p. (In Russ.)

6. Vinogradov A.P. *Geokhimiya redkikh i rasseyannykh elementov v pochvakh* [Geochemistry of Rare Elements in Soils]. Moscow, Academy of Sciences of the SSSR Publ., 1957. 240 p. (In Russ.)
7. Kazimirov N.I., Volkov A.D., Zyabchenko S.S., Ivanchikov A.A., Morozova R.M. *Obmen veshchestv i energii v sosnovykh lesakh Evropeyskogo Severa* [Metabolism in the Pine Forests of the European North]. Leningrad, Nauka Publ., 1977. 304 p. (In Russ.)
8. Kazimirov N.I., Morozova R.M. *Biologicheskiy krugovorot veshchestv v el'nikakh Karelii* [Biological Cycle of Matter in Spruce Forests of Karelia]. Leningrad, Nauka Publ., 1973. 175 p. (In Russ.)
9. Kramer P.J., Kozlowski T.T. *Physiology of Woody Plants*. New York, USA, Academic Press, 1979. 811 p.
10. Lyr H., Polster H., Fiedler H.J. *Gehölzphysiologie*. Vienna, Austria, Fischer Verlag, 1967. 444 p.
11. Lukina N.V., Sukhareva T.A., Isaeva L.G. *Tekhnogennye digressii i vosstanovitel'nye suksessii v severotaezhnykh lesakh* [Technogenic Degradation and Progressive Succession in the North Taiga Forests]. Moscow, Nauka Publ., 2005. 245 p. (In Russ.)
12. OST 56-69–83. *Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metod zakladki* [Industrial Standard 56-69–83. Forest Surveying Sample Plots. Coupe Demarcation Method]. Moscow, Gosleskhoz SSSR Publ., 1984. 60 p.
13. *Pravila sanitarnoy bezopasnosti v lesakh: utv. prikazom Ministerstva prirodnykh resursov i ekologii RF ot 24.12.2013. № 613* [The Rules of Sanitary Safety in Forests: Approved by the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation (Order No. 613 of 24 December 2013)].

Received on May 03, 2017