

СОДЕРЖАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОТМИРАЮЩЕЙ ХВОЕ СОСНЫ НА ОСУШЕННЫХ ПЛОЩАДЯХ

Е.П. ХАБАРОВА, асп. каф. ботаники, общей экологии и природопользования С(А)ФУ,
П.А. ФЕКЛИСТОВ, проф. каф. ботаники, общей экологии и природопользования С(А)ФУ,
д-р с.-х. наук,
А.Е. КОШЕЛЕВА, ст. научный сотрудник ЦКП НО «Арктика» С(А)ФУ, канд. хим. наук

alena.khabarova2010@yandex.ru, pfeklistov@yandex.ru, kosheleva-an@yandex.ru

Лесотехнический институт, Северный (Арктический) Федеральный Университет им. М.В. Ломоносова,
Центр коллективного пользования научным оборудованием «Арктика»,
Северный (Арктический) Федеральный Университет имени М.В. Ломоносова
163002, г. Архангельск, Набережная Северной Двины, 17

Влияние осушения на содержание элементов минерального питания в растущей и отмирающей хвое сосны обыкновенной на Европейском Севере изучалось мало, между тем от степени обеспеченности деревьев минеральными веществами зависит их рост. Невысокое содержание какого-либо элемента в хвое говорит о неудовлетворительном снабжении деревьев этим элементом, а также сопровождается угнетением ростовых процессов и, как следствие, снижением производительности древостоев. В статье приведены результаты изучения влияния осушения на содержание минеральных элементов в отмирающей хвое сосны обыкновенной. В растущей и отмирающей хвое определялось содержание следующих элементов: азот, калий, фосфор, кальций, магний, сера, марганец, кремний, железо, алюминий, натрия. Представлены данные о изменении как суммарного содержания минеральных элементов в отмирающей хвое сосны, так и каждого элемента в отдельности; отмечено, какие минеральные элементы в наибольшей степени содержатся в отмирающей хвое. Проведен сравнительный анализ содержания минеральных элементов в отмирающей и растущей хвое сосны, рассмотрена тенденция изменения содержания как каждого элемента в отдельности, так и суммарного содержания элементов питания. Корреляционный анализ полученных данных подтверждает тесноту связи суммарного содержания элементов минерального питания в хвое сосны с расстоянием от осушителя. При изучении тесноты связи содержания каждого минерального элемента в отдельности с расстоянием от осушителя у большинства элементов прослеживается высокая и значительная коррелятивная связь. Для выявления формы связи проведен регрессионный анализ, который показал, что зависимость можно выразить линейным уравнением. Представлено распределение в порядке убывания всех минеральных элементов, содержание которых было определено как в растущей, так и в отмирающей хвое сосны.

Ключевые слова: отмирающая хвоя, растущая хвоя, степень осушения, минеральные элементы, межканальное пространство, круговорот веществ.

Изучение химического состава растений является составной частью познания биологического круговорота элементов питания в лесных насаждениях [3].

Содержание питательных веществ в древесных растениях непостоянно. На содержание питательных веществ оказывают влияние условия местообитания, особое значение имеет содержание влаги в почве [6]. С избыточным увлажнением и заболачиванием земель связана низкая производительность сосновых лесов Европейского Севера [7]. Состояние средообразующих факторов является одной из важнейших характеристик местопроизрастания лесной растительности. Особенности формирования осушаемых лесов также не могут быть полно охарактеризованы без изучения их экологии [5].

Накопление органической массы связано с деятельностью ассимиляционного ап-

парата. В то же время изученность его на Севере остается недостаточной [9].

Хвоя сосны содержит наибольшее количество зольных элементов и азота по сравнению с другими частями дерева. Зольность хвои изменяется по мере ее старения [4]. Зольный состав хвои, завершающей жизненный цикл и являющейся важнейшим источником пополнения элементов питания в почвах лесов, существенно отличается от состава однолетней хвои [3].

Невысокое содержание какого-либо элемента в листьях (хвое) говорит о неудовлетворительном снабжении растения этим элементом и сопровождается угнетением ростовых процессов и, как следствие, снижением производительности древостоев [1]. Результаты листовых анализов в какой-то мере позволяют выяснить, усвоение каких элементов питания древостоем улучшается в первую очередь в связи с увеличением степени осушения [2].

Влияние осушения на содержание элементов питания в отмирающей хвое на Европейском Севере изучалось мало, недостаточно и данных по сравнительному анализу содержания минеральных элементов в растущей и отмирающей хвое, поэтому целью наших исследований является изучение влияния осушения на обеспеченность ассимиляционного аппарата древостоя минеральными элементами.

Методика

Полевые работы по изучению влияния осушения на содержание минеральных элементов в отмирающей хвое проводились в 108 квартале Усть-Двинского участкового лесничества Архангельского лесничества.

В сосняке кустарничково-сфагновом осушенном были заложены две пробные площади, которые находятся на разном расстоянии от осушителя. Первая пробная площадь расположена на расстоянии 6,8 м от осушителя, а вторая – 59 м от осушителя.

Для определения содержания химических элементов в отмирающей хвое на разном расстоянии от осушителя были отобраны учетные деревья на расстоянии 1–64,6 м от осушителя (табл. 1), в количестве 20 шт.

С ветвей учетных деревьев ошпыльвалась отмирающая хвоя. Для точного определения содержания химических элементов масса одного образца должна быть не менее 20 г. Количество образцов зависит от числа учетных деревьев и составило 20 шт.

Для проведения химического анализа образцов требовалась подготовка собранного материала. Для этого каждый пакетик помещали в сушильный шкаф на 24 часа при температуре +105 °С.

Работа по определению содержания минеральных элементов в хвое выполнена на оборудовании ЦКП НО «Арктика» (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова) при финансовой поддержке Минобрнауки России.

Рентгенофлуоресцентный анализ проводили на волнодисперсионном спектрометре LabCenterXRF-1800. Предварительно высушенные пробы хвои измельчались с помощью шаровой мельницы до фракции < 70мкм и прессовались в таблетки диаметром 2,5 см.

Сначала записывали спектр образца и определяли, какие элементы присутствуют в пробе, которые затем определяли количественно методом фундаментальных параметров. Условия проведения измерения: рентгеновская трубка с родиевым анодом, $U = 40$ кВ, $I = 95$ мА, экспозиция 40 с и 20 с для фоновых точек. Анализ проводили в атмосфере вакуума. Использовали следующие кристаллы-анализаторы: для определения Fe, Mn, Ca, K, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Co – LiF, S, P, Cl–Ge, Mg, Na, O – TAP, Al–PET.

Для регистрирования излучения применяли сцинтилляционный и пропорциональный детекторы.

Результаты

С удалением от осушителя происходит снижение суммарного содержания минеральных элементов в отмирающей хвое (рис. 1), в среднем с 3,1 до 2,7 %. Такая же тенденция отмечается и у растущей хвои, но в более существенных пределах с 4,9 до 3,0 % [10]. Это подтверждает тот факт, что обычно у осушителя складываются наиболее благоприятные условия для роста, чем в межканальном пространстве [9]. Следует сказать, что отмечается снижение суммарного содержания минеральных веществ в 1,5 раза в отмирающей хвое, которая содержит их в среднем 2,9 %, растущая же хвоя содержит в среднем 4,4 %.

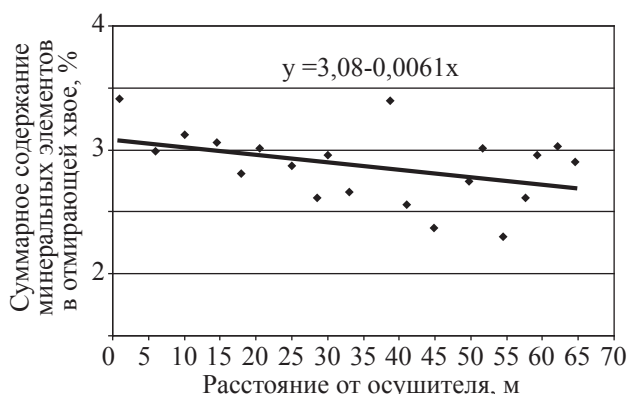


Рис. 1. Суммарное содержание минеральных элементов в отмирающей хвое

Fig. 1. The total content of mineral elements in the dying off needles

Т а б л и ц а 1

Показатели связи суммарного содержания минеральных элементов в отмирающей хвое с расстоянием от осушительного канала

Correlation indicators of the total content of mineral elements in the dying off needles with the distance from the drainage channel

Показатели	
Коэффициент корреляции	-0,38
Основная ошибка коэффициента корреляции	0,19
Достоверность коэффициента корреляции	2,0
Корреляционное отношение	0,52
Основная ошибка корреляционного отношения	0,16
Достоверность корреляционного отношения	3,2
Мера линейности	0,12
Основная ошибка меры линейности	0,08
Достоверность меры линейности	2,0
Показатель криволинейности	0,14

Для оценки тесноты связи содержания минеральных элементов в отмирающей хвое с расстоянием от осушителя был проведен корреляционный анализ полученных нами данных (табл. 1).

Анализ показал, что содержание минеральных элементов в отмирающей хвое находится в умеренной коррелятивной связи с расстоянием от осушителя (корреляционное отношение – 0,52; коэффициент корреляции – 0,38). Корреляционное отношение в данном случае превышает коэффициент корреляции. Все рассчитанные показатели достоверны, так как превышают пороговое значение критерия Стьюдента (пороговое значение критерия Стьюдента 2,01 при вероятности 0,95). Показатель криволинейности позволяет судить о линейности изучаемой связи. В данном случае этот показатель 0,14, поэтому можно сказать, что связь будет иметь прямолинейную зависимость двух признаков.

Форму связи между суммарным содержанием минеральных элементов в отмирающей хвое и расстоянием от осушителя также позволяет выявить регрессионный анализ. Зависимость можно выразить линейным уравнением $y = 3,08 - 0,0061x$ (рис. 1).

Все минеральные элементы можно расположить в порядке убывания. В отмирающей хвое достаточно большое количество азота, кальция, калия, магния, но содержание серы, кремния, фосфора, марганца, железа, алюминия и натрия невелико. Распределение минеральных элементов в отмирающей хвое в порядке убывания выглядит следующим образом: $N \rightarrow Ca \rightarrow K \rightarrow Mg \rightarrow S \rightarrow Mn \rightarrow Si \rightarrow Fe \rightarrow Al \rightarrow P \rightarrow Na$. Доля азота в среднем составляет 49 % от суммарного содержания всех элементов, калия – 7,1 %, кальция – 24 %, магния – 4,9 %, серы и марганца – 3 %, наименьшая доля в отмирающей хвое деревьев сосны кремния – 2,9 %, железа – 1,8 %, алюминия – 1,6 %, натрия и фосфора – 1,4 и 1,3 % соответственно.

Следует отметить, что распределение минеральных элементов в растущей хвое деревьев сосны выглядит по-другому: $N \rightarrow K \rightarrow Ca \rightarrow Mg \rightarrow P \rightarrow S \rightarrow Mn \rightarrow Si \rightarrow Fe \rightarrow Al \rightarrow Na$. В среднем доля азота в растущей хвое деревьев сосны составляет 29,1 % от суммарного содержания всех элементов, калия – 25,4 %, кальция – 19,7 %, магния – 6,7 %, фосфора – 5,6 %, серы – 5,2 %, марганца – 2,7 %, кремния – 2,5 %, наименьшая доля в хвое модельных деревьев алюминия и натрия – 1 % и 0,6 % соответственно (Хабарова, Феклистов, Кошелева, 2013). Из представленной схемы видно, что значительно изменилось содержание таких элементов, как фосфор, калий, сера и магний. Эти изменения наглядно представлены на рис. 2 и 3.

Следует также отметить, что в отмирающей хвое понизилось содержание всех минеральных элементов за исключением алюминия, содержание которого не изменилось, содержание таких элементов, как азот и натрий, возросло. Снижение содержания минеральных элементов в отмирающей хвое свидетельствует о депрессии метаболических процессов в конце жизненного цикла хвои [3]. На основании этого можно сделать вывод, что происходит отток жизненно важных минеральных элементов из отмирающей хвои к другим частям дерева, которые в наибольшей степени нуждаются в них. В данном случае деревья сосны, видимо, не испытывают пот-

ребности в азоте, алюминии и натрии, поэтому содержание этих элементов повышается и они вносят больший вклад в круговорот веществ при переходе в опад.

Следует отметить, что все рассчитанные показатели достоверны, а точность их определения ниже 10 %.

Если рассматривать зависимость содержания каждого элемента от степени осушения, то получается следующая тенденция: с удалением в межканальное пространство происходит снижение азота, серы, фосфора, марганца, натрия. Более существенно это изменение происходит у фосфора – в 2,5 раза и у натрия – в 2,2 раза. У остальных элементов это снижение в менее значительных пределах: азота в 1,3 раза, серы и марганца в 1,4 раза. С удалением от осушителя повышается содержание кремния в 1,4 раза, алюминия в 1,7 раза, железа в 1,5 раза. У магния, калия и кальция не отмечается существенных изменений с удалением в межканальное пространство.

В растущей же хвое с удалением в межканальное пространство наблюдалась несколько другая тенденция: с удалением от осушителя происходит снижение серы, кальция, калия, магния, фосфора, кремния и натрия; у таких элементов, как алюминий и марганец, примерно одинаковые значения, либо они отклоняются, но совсем незначительно; содержание азота и железа, наоборот, возрастает [10].

Для оценки тесноты связи содержания каждого минерального элемента в от-

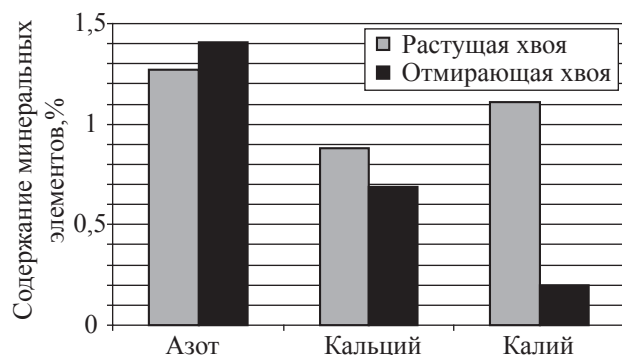


Рис. 2. Изменение содержания азота, кальция и калия в растущей и отмирающей хвое

Fig. 2. Changes in the content of nitrogen, calcium and potassium in the growing and dying needles

мирающей хвое с расстоянием от осушителя был проведен корреляционный анализ полученных нами данных (табл. 3), из которых следует, что содержание таких минеральных элементов, как сера, фосфор и алюминий, находится в высокой коррелятивной связи с расстоянием от осушителя. Содержание натрия находится в значительной связи, а кремния, марганца и азота – в умеренной. Корреляционное отношение этих элементов превышает коэффициент корреляции, что свидетельствует о криволинейной связи. Все рассчитанные показатели достоверны, так как превышают пороговое значение критерия Стьюдента (пороговое значение критерия Стьюдента 2,01 при вероятности 0,95). Показатель криволинейности в данном случае находится в пределах от 0,3 до 0,54, поэтому можно сказать, что связь будет иметь криволинейную зависимость двух признаков. Следует также отметить, что содержание железа, калия, кальция, магния находится в слабой коррелятивной связи с расстоянием от осушителя. Показатели достоверности не превышают пороговое значение критерия Стьюдента.

Выводы

В результате проведенных нами исследований можно сделать следующие выводы:

– с удалением в межканальное пространство происходит снижение суммарного содержания минеральных элементов в отмирающей хвое. Такая же тенденция наблюдается и в растущей хвое. Суммарное содержание всех минеральных элементов в отмирающей хвое в 1,5 раза меньше, чем в растущей.

– в отмирающей хвое деревьев сосны достаточна велика доля азота, кальция, калия и магния. Доля остальных элементов невелика. В отмирающей хвое по сравнению с растущей понизилась доля почти всех минеральных элементов, за исключением азота, натрия и алюминия.

– с удалением от осушителя в отмирающей хвое происходит снижение азота, серы, фосфора, марганца и натрия; возрастает со-

**Показатели связи содержания каждого минерального элемента
в отмирающей хвое с расстоянием от осушительного канала**
**Indicators of the correlation between the content of each mineral element in the dying off needles
and distance from the drainage channel**

Элемент питания	Показатели									
	Коэффициент корреляции	Основная ошибка коэффициента корреляции	Достоверность коэффициента корреляции	Корреляционное отношение	Основная ошибка корреляционного отношения	Достоверность корреляционного отношения	Мера линейности	Основная ошибка меры линейности	Достоверность меры линейности	Показатель кривизны
Азот	-0,49	0,17	2,9	0,69	0,11	6,0	0,24	0,11	2,2	0,32
Сера	-0,72	0,11	-6,6	0,81	0,07	10,7	0,14	0,08	1,7	0,3
Кремний	0,45	0,18	2,5	0,66	0,12	5,3	0,23	0,1	2,2	0,29
Фосфор	-0,74	0,1	-7,2	0,89	0,04	19,1	0,25	0,11	2,2	0,54
Марганец	-0,36	0,19	-1,8	0,75	0,1	7,8	0,44	0,15	3,0	0,50
Алюминий	0,70	0,11	6,2	0,67	0,12	5,4	0,05	0,05	1,0	0,09
Натрий	-0,67	0,12	5,5	0,75	0,1	7,8	0,11	0,07	1,5	0,21
Железо	0,23	0,21	1,1	0,62	0,14	4,5	0,33	0,13	2,6	0,35
Кальций	0,09	0,22	0,42	0,58	0,14	3,9	0,33	0,13	2,6	0,33
Калий	-0,01	0,22	-0,05	0,57	0,15	3,79	0,32	0,13	2,5	0,33
Магний	0,005	0,22	0,023	0,56	0,15	3,7	0,32	0,13	2,5	0,32

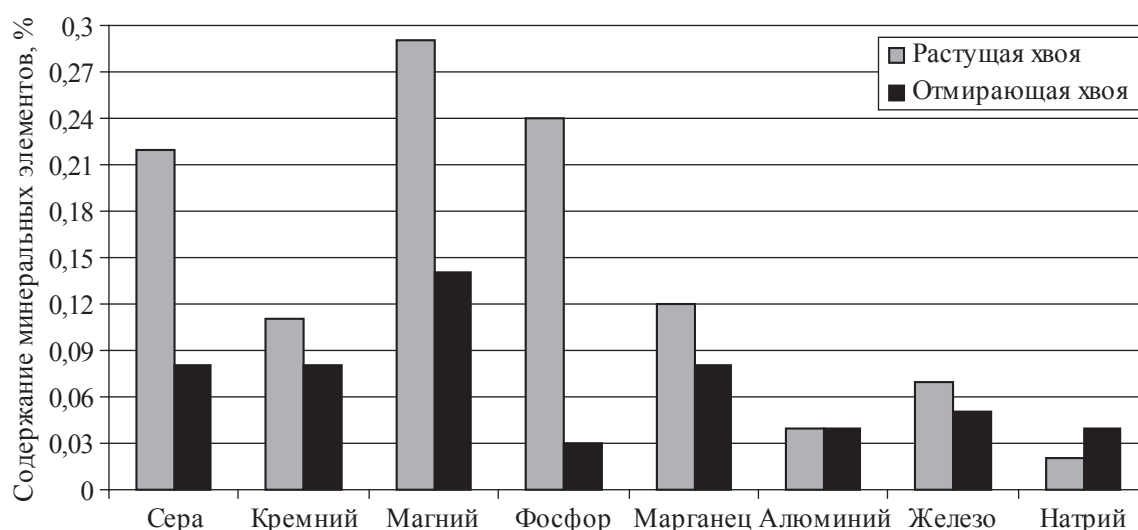


Рис. 3. Изменение содержания минеральных элементов в растущей и отмирающей хвое
Fig. 3. Changes in the content of mineral elements in the growing and dying off needles

держание кремния, алюминия и железа; магний, кальций и калий почти не реагируют на изменение условий увлажнения.

Библиографический список

1. Бобкова, К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов Европейского Северо-Востока / К.С. Бобкова. – Л.: Наука, 1987. – 156 с.
2. Вомперский, С.Э. Биологические основы эффективности лесосушения / С.Э. Вомперский. – М.: Наука, 1968. – 312 с.
3. Казимиров, Н.И. Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии / Н.И. Казимиров, Р.М. Морозова. – Л.: Наука, 1973. – 175 с.
4. Казимиров, Н.И. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера / Н.И. Казимиров, А.Д. Волков, С.С. Зябченко, А.А. Иванчиков, Р.М. Морозова. – Л.: Наука, 1977. – 304 с.

5. Коновалов, В.Н. Эколого-физиологические особенности хвойных на осушаемых землях / В.Н. Коновалов, Л.В. Зарубина. – Архангельск: САФУ, 2010. – 295 с.
6. Лир, Х. Физиология древесных растений / Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г. – М.: Лесная пром-сть, 1974. – 424 с.
7. Тюкавина, О.Н. Изменение ассимиляционного аппарата, водного режима и структуры годичного кольца сосны под влиянием осушения: дисс. ... канд. с.-х. наук / О.Н. Тюкавина. – Архангельск, 2003. – 20 с.
8. Феклистов, П.А. Изменение экологических условий и рост северотаежных сосняков после осушения / П.А. Феклистов, В.Н. Евдокимов, В.В. Худяков. – Архангельск: АГТУ, 1995. – 52 с.
9. Феклистов, П.А. Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне Европейской тайги / П.А. Феклистов, В.Н. Евдокимов, В.М. Барзут. – Архангельск: АГТУ, 1997. – 140 с.
10. Хабарова, Е.П. Влияние осушения на содержание минеральных элементов в хвое деревьев сосны / Е.П. Хабарова, П.А. Феклистов, А.Е. Кошелева // Вестник САФУ, 2013. – № 3. – С. 101–108.

CONTENTS OF MINERAL ELEMENTS IN THE DYING OFF NEEDLES OF SCOTCH PINE ON DRAINED AREAS

Habarova E.P., gr. NArFU, Timber institute; **Feklistov P.A.**, Prof. NArFU, Dr.Sci (Agricultural); **Kosheleva A.E.**, Senior Researcher, Center of collective using scientific equipment «Arctic», NArFU, Ph.D (Chemistry)

alena.khabarova2010@yandex.ru, pfeklistov@yandex.ru, kosheleva-an@yandex.ru

Northern (Arctic) Federal University of M.V. Lomonosov, 163002, Arkhangelsk, Severnaya Dvina Embankment, 17

There has not been enough research on the influence of the draining on the content of mineral nutrition in the growing and dying off needles of the Scotch pine in the North of Europe. Meanwhile, the needles growth depends on the mineral elements supply of the trees. The low content of a mineral element in the needles shows poor supply of the trees with this element and is also accompanied with the suppression of growing processes and, as a consequence, with the decrease in forest productivity. The article represents the research results of draining influence on mineral elements content in the dying off needles of Scotch pine. The growing and dying off needles were checked for the content of the following elements: nitrogen, potassium, phosphorus, calcium, magnesium, sulfur, manganese, silicon, iron, aluminum, sodium. The article offers data on changing both the content of mineral elements in the dying off needles in summary and of every single element; on what mineral elements are held in dying off needles. A comparative analysis of the mineral elements content in dying off and growing needles has been carried out, the trend of nutrition element changes for both every single element and all of them in summary has been calculated. The correlation analysis of the obtained data proves the correlation between the summary content of mineral elements in pine needles and the distance to the dehydrator. Learning the correlation ratio of every single element content and distance from dehydrator shows strong and significant correlation. Regression analysis has been performed to determine the correlation type, it showed that the correlation can be expressed by a linear equation. The distribution in the descending order of all mineral elements the content of which was determined both in growing and dying off pine needles is given in the article.

Keywords: die off needles, growing needles, draining degree, mineral elements, intercanal space, circulation of elements.

References

1. Bobkova K.S. *Biologicheskaya produktivnost' khvoynykh lesov Yevropeyskogo Severo-Vostoka* [Biological efficiency of coniferous forests of the European Northeast]. Leningrad: Nauka Publ., 1987. 156 p.
2. Vomperskiy S.E. *Biologicheskiye osnovy effektivnosti lesosuscheniya* [Biological bases of efficiency of forest melioration]. Moscow: Nauka Publ., 1968. 312 p.
3. Kazimirov N.I., Morozova R.M. *Biologicheskii krugovorot veshchestv v el'nikakh Karelii* [Biological circulation of substances in fir groves of Karelia]. Leningrad: Nauka Publ., 1973. 175 p.
4. Kazimirov N.I., Volkov A.D., Zyabchenko S.S., Ivanchikov A.A. *Obmen veshch i energii v sosnovykh lesakh Yevropeyskogo Severa* [Metabolism and energy in the pine woods of the European North]. Leningrad: Nauka Publ., 1977. 304 p.
5. Konovalov V.N., Zarubina L.V. *Ekologo-fiziologicheskiye osobennosti khvoynykh na osuschaemykh zemlyakh* [Ekologo-fiziologichesky features coniferous on the drained lands]. Arkhangel'sk.:SAFU Publ., 2010. 295 p.
6. Lir Kh., Pol'ster G., Fidler G. *Fiziologiya drevesnykh rastenii* [Physiology of wood plants]. – Moscow: Forest industry Publ., 1974. 424 p.
7. Tyukavina O.N. *Izmeneniye assilyatsionnogo apparata, vodnogo rezhima i struktury godichnogo kol'tsa sosny pod vliyaniem osuscheniya. Avtoref. Diss. kand. s-kh . nauk* [Change of the assimilatory device, the water mode and structure of a year ring of a pine under the influence of drainage. Autoabstract of dr. agric. sci. diss.]. 06.03.02. Arkhangel'sk: 2003. 20 p.
8. Feklistov P.A., Evdokimov V.N., Khudyakov V.V. *Izmeneniye ekologicheskikh usloviy i rost severotayozhnykh sosnyakov posle osuscheniya* [Change of ecological conditions and growth of North taiga pine forests after drainage]. Arkhangel'sk: AGTU Publ., 1995. 52 p.
9. Feklistov P.A., Evdokimov V.N., Barzut V.M. *Biologicheskiye i ekologicheskiye osobennosti rosta sosny v severnoi podzone evropeyskoy taygi* [Biological and ecological features of growth of a pine in a northern subband of the European taiga]. Arkhangel'sk: IPTS AGTU Publ., 1997. 140 p.
10. Khabarova E.P., Feklistov P.A., Kosheleva A.E. *Vliyaniye osuscheniya na sodержaniye mineral'nykh elementov v khvoe derev'ev sosny* [Influence of drainage on the maintenance of mineral elements in needles of trees of a pine]. Vestnik SAFU [Bulletin NArFU]. 2013. no. 3, pp. 101-108.