

УДК 630*2

ХАБАРОВА Елена Павловна, стажер-исследователь кафедры экологии и защиты леса лесотехнического института Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова

ФЕКЛИСТОВ Павел Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и защиты леса лесотехнического института Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор 219 научных публикаций, в т. ч. 6 монографий

КОШЕЛЕВА Анна Евгеньевна, кандидат химических наук, старший научный сотрудник ЦКП НО «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор 16 научных публикаций

ВЛИЯНИЕ ОСУШЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ХВОЕ СОСНЫ

Статья посвящена изучению влияния осушения на содержание физиологически важных элементов в хвое сосны. Приведены данные о изменении как суммарного содержания минеральных элементов в хвое сосны по частям кроны, а также в хвое разного возраста в зависимости от действия осушительного канала, так и каждого элемента в отдельности. Проведен корреляционный анализ полученных данных, который подтверждает тесноту рассмотренной связи. Представлено распределение в порядке убывания всех минеральных элементов, содержание которых было определено в хвое сосны. Отмечены элементы, которые накапливаются в хвое с возрастом.

Ключевые слова: ассимиляционный аппарат, минеральные элементы, осушение, часть кроны, возраст хвои, условия увлажнения, межканальное пространство.

С избыточным увлажнением и заболачиванием земель связана низкая производительность сосновых лесов Европейского Севера [4]. Повышение продуктивности лесов на избыточно-увлажненных площадях достигается осу-

шением. Почвенно-грунтовые воды на мелиорированной площади глубже залегают обычно вблизи канав; с удалением от них уровень этих вод постепенно приближается к поверхности. В связи с этим с удалением от каналов про-

дуктивность древостоев падает [2]. Накопление органической массы связано с деятельностью ассимиляционного аппарата. В то же время изученность его на Севере остается недостаточной [5]. Нет сведений о содержании минеральных элементов в хвое деревьев. Между тем от степени обеспеченности деревьев минеральными веществами зависит рост. В последнее время в лесоводственных исследованиях приобрел широкое применение метод листового анализа. Невысокое содержание какого-либо элемента в листьях (хвое) говорит о неудовлетворительном снабжении растений 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].

Хвоя сосны содержит наибольшее количество зольных элементов и азота по сравнению с другими частями дерева. Зольность хвои изменяется по мере ее старения [3]. Однако данных по содержанию минеральных элементов в хвое деревьев сосны на осушенных площадях нет. В связи с этим мы и провели такое исследование.

Методика. Полевые работы проводились в 108 квартале Усть-Двинского участкового лесничества Архангельского лесничества. На двух пробных площадях, заложенных в осушенном в 1966 году сосняке кустарничково-сфагновом, мы изучали влияние осушения на ассимиляционный аппарат. Пробные площади находятся на разном расстоянии от осушителя. Первая пробная площадь расположена на расстоянии 6,8 метров от осушителя, а вторая – на расстоянии 59 метров от осушителя.

Для определения содержания химических элементов в хвое разного возраста и на разном расстоянии от осушителя были отобраны модельные деревья. Данные модели были отобраны за пределами пробных площадей на расстоянии 8,2–33 метров от осушителя (табл. 1), в количестве 7 штук. Модельные деревья отбирали по средним диаметру и высоте, которые были установлены по данным перечета деревьев на пробных площадях. Таким образом средний диаметр на первой пробе равен 6,8 см, а средняя высота – 6,2 м. На второй пробной площади средний диаметр равен 4,1 см, а средняя высота – 3 м.

Модельные деревья спиливали; с каждого были взяты образцы. Для этого крона дерева разделялась на три части (верхнюю, среднюю и нижнюю) и из каждой части кроны ошипывалась со средней по размерам ветви хвоя разных возрастов. У ветвей обрывали сначала однолетнюю хвою, затем двухлетнюю и так далее. Масса одного образца должна быть не менее 20 грамм для точного определения содержания химических элементов. Количество образцов зависит от возраста хвои на модельных деревьях и в итоге составило 75 штук.

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» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова при финансовой поддержке Минобрнауки России.

Таблица 1

РАСПОЛОЖЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ ДЕРЕВЬЕВ ОТ ОСУШИТЕЛЯ, м

Показатель	Модельное дерево						
	1	2	3	4	5	6	7
Расстояние от осушителя, м	8,2	15,8	18,3	23,0	27,0	30,0	33,0

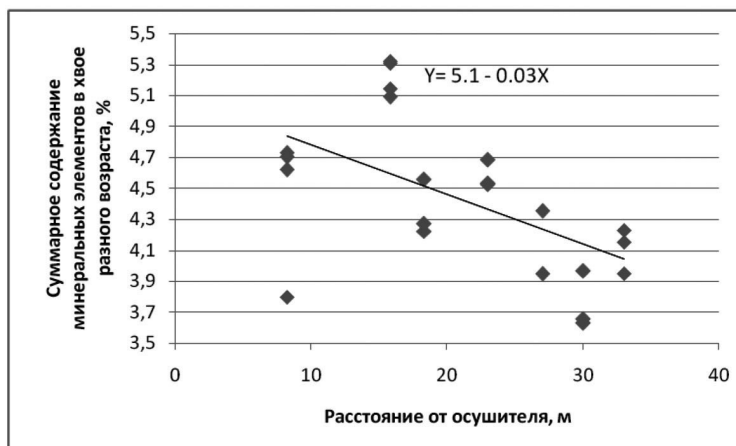


Рис. 1. Суммарное содержание минеральных элементов в хвое всех возрастов

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

На элементном анализаторе определяли содержание С, N и H, которые потом вносились как известные значения.

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. Влияние осушения на потребление элементов питания древостоями на Европейском Севере изучалось мало, поэтому целью наших исследований является изучение влияния осушения на обеспеченность ассимиляционного аппарата древостоя минеральными элементами.

На основании полученных нами данных можно отметить, что у всех модельных деревьев во всех частях кроны в хвое всех возрастов отмечается тенденция снижения суммарного содержания всех минеральных элементов с удалением от осушителя (рис. 1).

Для оценки тесноты связи содержания минеральных элементов в хвое разного возраста с расстоянием от осушительного канала был проведен корреляционный анализ полученных нами данных (табл. 2).

Он показал, что содержание минеральных элементов в хвое находится в тесной коррелятивной связи с расстоянием от осушителя (корреляционное отношение – 0,90; коэффициент корреляции – 0,55). 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). По таким показателям как достоверность меры линейности и показатель криволинейности можно судить о линейности изучаемой связи. В нашем случае эти показатели равны 3,34 и 0,72 соответственно, поэтому можно сказать, что связь криволинейна.

Регрессионный анализ позволил выявить форму связи между суммарным содержанием

Таблица 2

ПОКАЗАТЕЛИ СВЯЗИ СУММАРНОГО СОДЕРЖАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ХВОЕ РАЗНОГО ВОЗРАСТА С РАССТОЯНИЕМ ОТ ОСУШИТЕЛЬНОГО КАНАЛА

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 криволинейности
-0,55	0,15	3,67	0,90	0,04	21,67	0,51	0,15	3,34	0,72

минеральных элементов в хвое и расстоянием от осушителя. Зависимость можно выразить уравнением $y=5,1-0,03x$ (рис. 1). Хотя было установлено, что связь нелинейна, но при регрессионном анализе выявилось, что разница в правильности выравнивания линейными и нелинейными уравнениями минимальна. В связи с чем мы приняли уравнения прямой, как более простое и лучше выражающее биологический смысл явления.

Если рассматривать каждую часть кроны в отдельности, то можно отметить следующее: происходит снижение суммарного содержания минеральных элементов с удалением от осушителя в верхней части кроны с 5,4 до 3,7 %, в средней части кроны – с 4,9 до 4,0 %, а в нижней части кроны – с 5,3 до 4,1 %.

Более высокое суммарное содержание всех химических элементов в среднем наблюдается в верхней и нижней частях кроны (рис. 2).

Изменение содержания каждого минерального элемента в хвое модельных деревьев по частям кроны происходит следующим образом (табл. 3): у таких элементов как азот, калий, магний, кремний, марганец, алюминий, железо отмечается незначительное изменение содержания в каждой части кроны; у остальных элементов (фосфор, сера, кальций, натрий) изменения содержания по частям кроны минимальны и не превышают 0,05 %. Поэтому

можно сделать вывод, что часть кроны не оказывает влияния на содержание минеральных элементов.

Все минеральные элементы можно распределить в порядке убывания. В хвое исследуемых модельных деревьев содержится относительно большое количество азота, калия, кальция, магния, фосфора и сравнительно мало серы, кремния, марганца, железа, алюминия и натрия. Для большинства модельных деревьев это распределение выглядит следующим образом: $N \rightarrow K \rightarrow Ca \rightarrow Mg \rightarrow P \rightarrow S \rightarrow Mn \rightarrow Si \rightarrow Fe \rightarrow Al \rightarrow Na$. Доля азота в хвое модельных деревьев составляет 24–38 % от суммарного

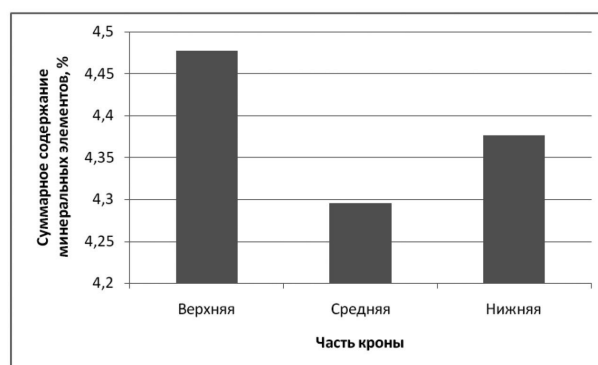


Рис. 2 Суммарное содержание минеральных элементов по частям кроны

Статистические показатели	Содержание минеральных элементов по частям кроны, %																	
	Азот			Калий			Фосфор			Магний			Сера			Кальций		
	Верхняя	Средняя	Нижняя	Верхняя	Средняя	Нижняя	Верхняя	Средняя	Нижняя	Верхняя	Средняя	Нижняя	Верхняя	Средняя	Нижняя	Верхняя	Средняя	Нижняя
Среднее значение	1,27	1,31	1,22	1,06	1,05	1,21	0,25	0,23	0,25	0,34	0,29	0,26	0,24	0,22	0,24	0,88	0,89	0,86
	0,06	0,04	0,1	0,07	0,04	0,04	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,13	0,11	0,12
	0,15	0,12	0,26	0,19	0,11	0,10	0,03	0,02	0,02	0,07	0,06	0,06	0,04	0,03	0,03	0,34	0,29	0,32
Коэффициент изменчивости	12,2	8,8	20,9	17,7	10,1	8,2	14,1	8,9	6,7	21,6	19,8	24,0	18,8	12,3	13,1	38,5	32,1	37,3
Точность опыта, %	4,6	3,3	7,9	6,7	3,8	3,1	5,3	3,4	2,6	8,1	7,5	9,1	7,1	4,6	5,0	14,5	12,1	14,1
Достоверность	21,8	30,1	12,6	14,9	26,2	32,1	18,8	29,7	39,3	12,3	13,3	11,0	14,0	21,6	20,2	6,9	8,2	7,1

Таблица 4

Статистические показатели	Содержание минеральных элементов, %																	
	Азот			Калий			Фосфор			Магний			Серя			Кальций		
	1 год	2 год	3 год	1 год	2 год	3 год	1 год	2 год	3 год	1 год	2 год	3 год	1 год	2 год	3 год	1 год	2 год	3 год
Среднее значение	1,29	1,27	1,27	1,48	0,95	0,86	0,29	0,22	0,22	0,31	0,28	0,29	0,25	0,22	0,22	0,62	0,91	1,09
	0,08	0,06	0,05	0,09	0,05	0,06	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,07	0,11	0,15
Среднее кв. отклонение	0,20	0,15	0,13	0,23	0,12	0,16	0,04	0,03	0,03	0,06	0,07	0,07	0,05	0,03	0,04	0,19	0,29	0,36
Коэффициент изменчивости	15,8	11,5	10,6	15,8	12,7	18,1	14,6	12,3	13,5	17,7	25,7	24,9	18,5	16,1	18,9	30,6	32,3	32,8
Точность опыта, %	6,0	4,3	4,3	6,0	4,8	7,4	5,5	4,6	5,5	6,7	9,7	10,2	7,0	6,1	7,7	11,6	12,2	13,4
Достоверность	16,8	23,0	23,1	16,7	20,8	13,5	18,2	21,5	18,2	14,9	10,3	9,8	14,3	16,4	13,0	8,6	8,2	7,5

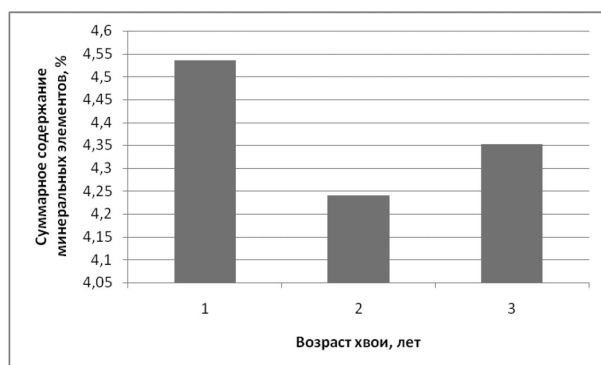


Рис. 3. Суммарное содержание минеральных элементов в хвое модельных деревьев по возрастам

содержания всех элементов, калия – от 19 до 29 %, кальция – от 12 до 27 %, магния – от 5,2 до 7,8 %, фосфора – от 5,3 до 5,9 %, наименьшая доля в хвое модельных деревьев алюминия и натрия – от 0,6 до 1,1 % и от 0,4 до 0,7 % соответственно.

Зависимость содержания в хвое каждого химического элемента от степени осушения выглядит следующим образом: с удалением от осушителя происходит снижение серы, кальция, калия, магния, фосфора, кремния и натрия. Это наиболее ярко прослеживается у кальция: содержание этого элемента с удалением в межканальное пространство снижается с 1,4 % до 0,5 %. У остальных элементов снижение происходит в менее значительных пределах: у серы – с 0,28 до 0,25 %; у калия – с 1,2 до 0,9 %; у кремния – 0,1 до 0,06 %; у магния – с 0,38 до 0,21 %; у фосфора – с 0,27 до 0,21 %; у натрия – с 0,030 до 0,018 %.

По поводу таких элементов как алюминий и марганец следует отметить, что в данном случае не прослеживается выраженной зависимости содержания их в хвое от степени осушения, на протяжении всего межканального пространства. Наблюдается примерно одинаковые значения, либо они отклоняются, но совсем незначительно.

Содержание таких элементов как азот и железо, наоборот, с удалением в межканальное пространство возрастает: азот – с 1,1 до 1,4 %, а железо – с 0,04 до 0,07 %.

Наибольшее содержание элементов наблюдается в хвое первого года, а наименьшее в хвое второго года (рис. 3). Стоит отметить, что у всех модельных деревьев хвоя первого года содержит максимальные значения содержания минеральных элементов, из этого следует, что осушение не оказывает влияние на изменение содержания минеральных элементов в хвое по возрастам.

Оценивая изменение содержания каждого элемента в хвое разного возраста в среднем, стоит отметить, что с увеличением возраста хвои происходит снижение содержания калия (табл. 4). У таких элементов как: азот, сера, фосфор и магний наблюдается снижение их содержания в хвое второго года, а затем не происходит понижения содержания этих элементов и хвоя третьего года имеет такие же значения содержания данных элементов. Также следует отметить, что с увеличением возраста хвои происходит накопление кальция, марганца, кремния, натрия. Железо содержится в хвое всех возрастов примерно в равных количествах. По поводу алюминия можно отметить следующее: в хвое первого и второго года отмечена тенденция накопления данного элемента, а затем происходит резкое снижение содержания алюминия в хвое третьего года.

Выводы. По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- суммарное содержание минеральных элементов у всех модельных деревьев во всех частях кроны снижается с удалением от осушителя, теснота связи данной зависимости подтверждается корреляционным анализом;
- часть кроны не оказывает влияния на содержание минеральных элементов;
- в хвое модельных деревьев достаточно велика доля таких элементов как азот, калий, кальций, магний, фосфор и сравнительно мало серы, марганца, алюминия, железа, натрия, кремния;
- с удалением от осушителя в хвое модельных деревьев происходит снижение серы, кальция, калия, магния, фосфора, кремния и натрия; возрастает содержание азота и

железа, а алюминий и марганец почти не реагируют на изменение условия увлажнения;

– существенного изменения содержания минеральных элементов в хвое разного возраста под действием осушения не отмечено;

– элементы, которые накапливаются в хвое с возрастом – кальций, марганец, кремний,

натрий; содержание калия снижается в хвое более старших возрастов; содержание азота, серы, фосфора и магния снижается только в хвое второго года; железо содержится в хвое всех возрастов примерно в равных количествах; содержание алюминия резко снижается в хвое третьего года.

Список литературы

1. Бобкова К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов Европейского Северо-Востока. Л., 1987.
2. Вомперский С.Э. Биологические основы эффективности лесосоушения. М., 1968.
3. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера / Н.И. Казимиров, А.Д. Волков, С.С. Зябченко, А.А. Иванчиков. Л., 1977.
4. Тюкавина О.Н. Изменение ассимиляционного аппарата, водного режима и структуры годичного кольца сосны под влиянием осушения: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Архангельск, 2003.
5. Феклистов П.А., Евдокимов В.Н., Барзут В.М. Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне Европейской тайги. Архангельск, 1997.

References

1. Bobkova K.S. *Biologicheskaya produktivnost' khvoynykh lesov Evropeyskogo Severo-Vostoka* [Biological Productivity of Coniferous Forests of the European North-East]. Leningrad, 1987.
2. Vomperskiy S.E. *Biologicheskie osnovy effektivnosti lesoosusheniya* [Biological Bases of Efficient Forest Draining]. Moscow, 1968.
3. 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 and Energy Exchange in Pine Forests of the European North]. Leningrad, 1977.
4. Tyukavina O.N. *Izmenenie assilyatsionnogo apparata, vodnogo rezhima i struktury godichnogo kol'tsa sosny pod vliyaniem osusheniya*: avtoref. dis. ... kand. s.-kh nauk [Changes in Assimilation Apparatus, Water Regime and Structure of Pine Tree Annual Ring Under the Influence of Drainage]. Arkhangelsk, 2003.
5. Feklistov P.A., Evdokimov V.N., Barzut V.M. *Biologicheskie i ekologicheskie osobennosti rosta sosny v severnoy podzone Evropeyskoy taygi* [Biological and Ecological Characteristics of Pine Tree Growth in the Northern Subzone of the European Taiga]. Arkhangelsk, 1997.

Khabarova Elena Pavlovna

Forestry Engineering Institute, Northern (Arctic) Federal University
named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

Feklistov Pavel Aleksandrovich

Forestry Engineering Institute, Northern (Arctic) Federal University
named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

Kosheleva Anna Evgenyevna

Northern (Arctic) Federal University
named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

INFLUENCE OF DRAINAGE ON THE CONTENT OF MINERAL ELEMENTS IN PINE NEEDLES

The paper studies the influence of drainage on the content of physiologically important elements in pine needles. The data are provided on the changes in the total content of mineral elements in pine needles depending on the crown part, as well as in needles of various ages depending on the effect produced by the drainage channel, and changes in each element content separately. The correlation analysis of the data obtained confirms that this correlation is close. Distribution of all mineral elements, the content of which was determined in pine needles, is presented in decreasing order. Elements accumulating in needles with age are noted.

Keywords: *assimilation apparatus, mineral elements, drainage, crown part, age of needles, moistening conditions, interchannel space.*

Контактная информация:

Хабарова Елена Павловна

Адрес: 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17

e-mail: alena.khabarova2010@yandex.ru

Феклистов Павел Александрович

Адрес: 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17

e-mail: feclistov@narfu.ru

Кошелева Анна Евгеньевна

Адрес: 163002, г. Архангельск, ул. Северодвинская, д. 14

e-mail: kosheleva-an@yandex.ru

Рецензент – *Бабич Н.А.*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов лесотехнического института Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова