

УДК 630.232.11; 581.192.1

DOI: 10.29039/2413-1733-2025-44-68-77

Элементный состав побегов *Pinus contorta* Dougl. и *P. sylvestris* L. в опытных культурах Республики Коми

Пристова Т. А.

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН
Сыктывкар, Россия
pristova@ib.komisc.ru

В 2004–2007 годах в Республике Коми заложена серия экспериментальных культур с использованием быстрорастущего вида-интродуцента канадского происхождения – сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl.), в качестве контроля в эксперименте использована сосна обыкновенная (*P. sylvestris* L.) местного происхождения. Для сравнительной оценки химического состава побегов двух видов сосны определена концентрация 9 элементов: N, Mg, Ca, K, Na, Mn, Fe, Al, S. Лесокультурные площади имеют разное происхождение: бывшие сельскохозяйственные земли и сосновая вырубка. Выявлено, что оба вида, как представители рода *Pinus* имеют много общего в элементном составе. Установлено, что для исследуемых видов аккумулятивный ряд элементов идентичен и побеги относятся к азотно-калиево-кальциевому или азотно-кальциево-калиевому типу химизма. В суммарном содержании минеральных элементов в побегах обоих видов 37–58 % приходится на N, из зольных элементов 66–78 % – на Ca+K, до 11 % – на Na+Fe+Al. Показано, что сосна скрученная имеет ряд особенностей химического состава, по сравнению с сосной обыкновенной. Видоспецифичность сосны скрученной проявляется в более высокой аккумуляции Al и Mg практически во всех частях побега. Особенностью сосны скрученной является более низкая аккумуляция азота и калия ассимилирующими органами по сравнению с сосной обыкновенной. Выявлено, что концентрация элементов в побегах изучаемых видов сосны зависит от происхождения лесокультурной площади. На культурах, созданных на сельскохозяйственных землях содержание минеральных элементов в побегах обоих видов выше, чем на сосновой вырубке. Полученные данные позволяют оценить влияние сосны скрученной на почвы и обменные процессы в искусственных насаждениях с использованием интродуцированного вида в условиях Севера.

Ключевые слова: экспериментальные культуры, сосна скрученная, вид-интродуцент, сосна обыкновенная, побеги, содержание минеральных элементов.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное использование и воспроизводство лесов предусматривает ускоренное выращивание древесины, в том числе за счёт введения быстрорастущих древесных пород в производственные культуры. В таёжной зоне РФ одна из таких пород – сосна скрученная (*Pinus contorta* Dougl.), у которой естественный ареал находится в западной части Северной Америки (Мелехов, 1984). Древесина этой породы по физико-механическим свойствам близка к сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и используется в основном для производства пиломатериалов и целлюлозы (Элайс, 2014). В свое время ее масштабная интродукция была начата во второй половине XX в. в Швеции и в настоящее время создано 675 тыс. га чистых и смешанных искусственных насаждений этой породы (Nilsson, Cory, 2010). Несмотря на филогенетическое сходство, сосна обыкновенная и сосна скрученная различаются. Согласно исследованиям, проведенным в таёжной зоне европейской части РФ и Фенноскандии, показано, что сосна скрученная превосходит сосну обыкновенную по скорости роста (Varmola et al., 2000; Elfving et al., 2001; Дроздов, 2002; Феклистов и др., 2008; Раевский, Пеккоев, 2013; Гутый, Федорков, 2016) при этом для Ленинградской области эти различия незначительны (Алексеев и др., 2014; Zhigunov, Butenko, 2019).

Элементный состав сосны скрученной исследуется редко. Известно, что хвоя сосны скрученной в условиях Швеции содержит более высокую концентрацию P, Mg и Mn, по сравнению с сосной обыкновенной (Berg, Lundmark, 1987). Также различия в химическом составе между двумя видами сосны в среднетаёжной зоне проявляются в более высоком уровне накопления минеральных элементов у сосны скрученной в древесине, столовой коре

и ветвях, при этом ее особенностью является более низкое содержание N и K в ассимилирующих органах (Пристова, Федорков, 2023). Необходимость определения элементного состава побегов связана с исследованием влияния интродуцированного вида *Pinus contorta* на естественные экосистемы. Хвоя является одним из основных компонентов ежегодного древесного опада в культурах и ее химический состав будет определять влияние этого вида сосны на формирование и минеральный состав подстилки, а также на почвы (Berg, Lundmark, 1987).

Целью работы является сравнительный анализ химического (элементного) состава побегов двух видов сосны *Pinus contorta* Dougl. и *P. sylvestris* L. в зависимости от лесорастительных условий и происхождения лесокультурной площади в опытных культурах в условиях средней тайги Республики Коми.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В среднетаежной части Республики Коми в 2004–2007 годах заложена серия экспериментальных культур сосны скрученной (Федорков, Туркин, 2010). Исходным материалом для них послужили 6 лесосеменных плантаций, созданных по географическому принципу в Швеции, с использованием семенных потомств плюсовых деревьев, отобранных в Канаде. Исследования проводились в опытных культурах сосны скрученной в Сыктывкарском (СКТ) и Сторожевском (СТЖ) лесничествах Республики Коми (табл. 1). Категории лесокультурных площадей – сосновая вырубка и земли бывшего с/х пользования. В качестве контроля использованы сеянцы сосны местного происхождения. Из шести происхождений сосны скрученной, представленных в эксперименте, для исследования было выбрано самое северное (Нарлинге), соответствующее провинции Юкон (Канада), показавшее лучшие рост и сохранность (Fedorkov, Gutiy, 2017).

В августе 2018 и 2021 г. производился отбор растительных образцов с 15 деревьев каждой породы на каждом из двух участков опытных культур. С деревьев отбирали побеги с различных частей кроны. Отобранные побеги разделяли по возрасту, затем отделяли ветви с почками и хвоей. Подготовка растительных образцов для химического анализа состояла в отборе средних проб из 30 повторностей для каждой фракции, которые высушивали при 105 °С до состояния абсолютно сухого вещества (а.с.в.) и измельчали. Минерализация проб проводилась по ПУ 01-05 «Методические указания по проведению разрушения органических веществ в природных, питьевых, сточных водах и пищевых продуктах на микроволновой системе «Минотавр-2». В растительных пробах методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (АЭС ИСП) в 3-х кратной повторности определены: Mg, Ca, K, Na, Mn, Fe, Al, S. С использованием метода газовой хроматографии на элементном анализаторе EA 1110 (CHNS-O) (фирма CE Instruments, Италия) определялась концентрация

Таблица 1

Характеристика объектов исследования

Характеристика объектов	Лесничество	
	Сторожевское	Сыктывкарское
Год закладки	2004	2006
Площадь, га	1,8	1,1
Размещение, м	2,0×2,0	3,0×1,0
Посадочный материал	Однолетние сеянцы	Двухлетние сеянцы
Категория участка	С/х пользование	Вырубка (сосновая)
Координаты	61°53' с. ш. 52°45' в. д.	61°40' с. ш. 51°03' в. д.
Почва	Постагрогенная серогумусовая	Иллювиально-железистый подзол
Исходный тип насаждения	Сосняк лишайниковый	Сосняк бруснично-лишайниковый

азота в 3-х кратной повторности. Количественный анализ растительных образцов проводился в аккредитованной экоаналитической лаборатории ФГБУН Институт биологии Коми НЦ УрО РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Среди минеральных элементов в химическом составе побегов исследуемых древесных пород преобладает азот, что обусловлено, тем, что он входит в состав белков, нуклеиновых кислот, хлорофилла и многих ферментов (Казимиров и др., 1977). Его содержание, в хвое сосны скрученной составляет 10–14, сосны обыкновенной – 12–16 г/кг в зависимости от возраста хвои и лесничества (рис. 1).

Довольно близкие значения по концентрации азота в хвое приводятся для 20-летних посевов сосны обыкновенной Архангельской области – 10–17 г/кг (Бабич, Мерзленко, 1998), а также для естественных сосняков Республик Карелия – 10–13 (Казимиров, 1977) и Коми – 9–15 г/кг (Эколого-физиологические..., 1993; Робакидзе, 2025). В хвое сосны обыкновенной концентрация азота выше, чем у сосны скрученной (рис. 1). Довольно четко выражены

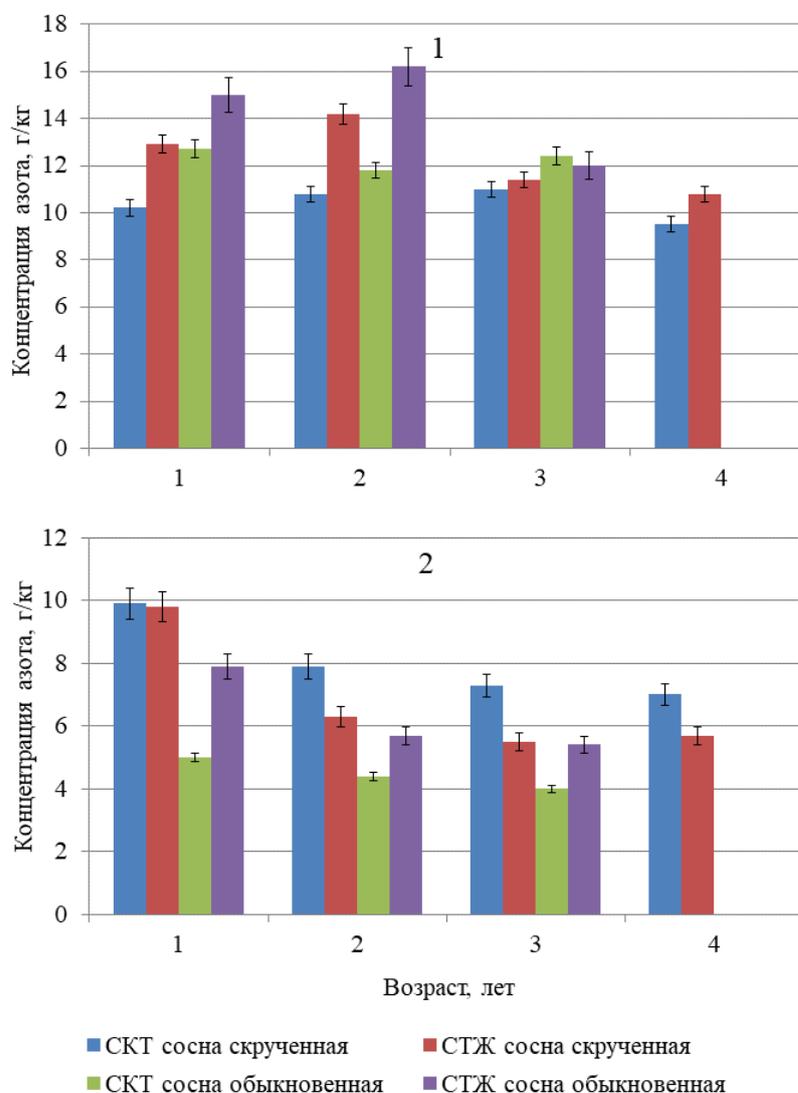


Рис. 1. Концентрация азота в хвое (1) и ветвях (2) сосны скрученной и сосны обыкновенной в культурах Сыктывкарского (СКТ) и Сторожевского (СТЖ) лесничеств

различия в содержании азота в хвое 1-го и 2-го года жизни обеих пород между различными участками. В хвое обоих видов сосны в культурах Сыктывкарского лесничества концентрация азота ниже, чем Сторожевского. В хвое 3-го года жизни эти различия не столь выражены и статистически не значимы.

В ветвях содержание азота не превышает 10 г/кг, варьируя от 4 до 10 г/кг, при этом в отличие от хвои, у сосны обыкновенной его концентрация ниже, чем у сосны скрученной (рис.1). В ветвях сосны скрученной в культурах Сыктывкарского лесничества содержание азота выше, чем Сторожевского, у сосны обыкновенной – наоборот.

Суммарное содержание определяемых зольных элементов в побегах обоих видов сосны составляет от 5 до 16 г/кг, при этом в хвое – 8–16, в ветвях – 5–11 г/кг (рис. 2).

В хвое сосны скрученной 2-го и 3-го года жизни содержание элементов в золе выше, чем у сосны обыкновенной, в хвое текущего года – наоборот. В побегах обеих видов сосны этот показатель в культурах Сторожевского лесничества, как правило, выше, чем Сыктывкарского.

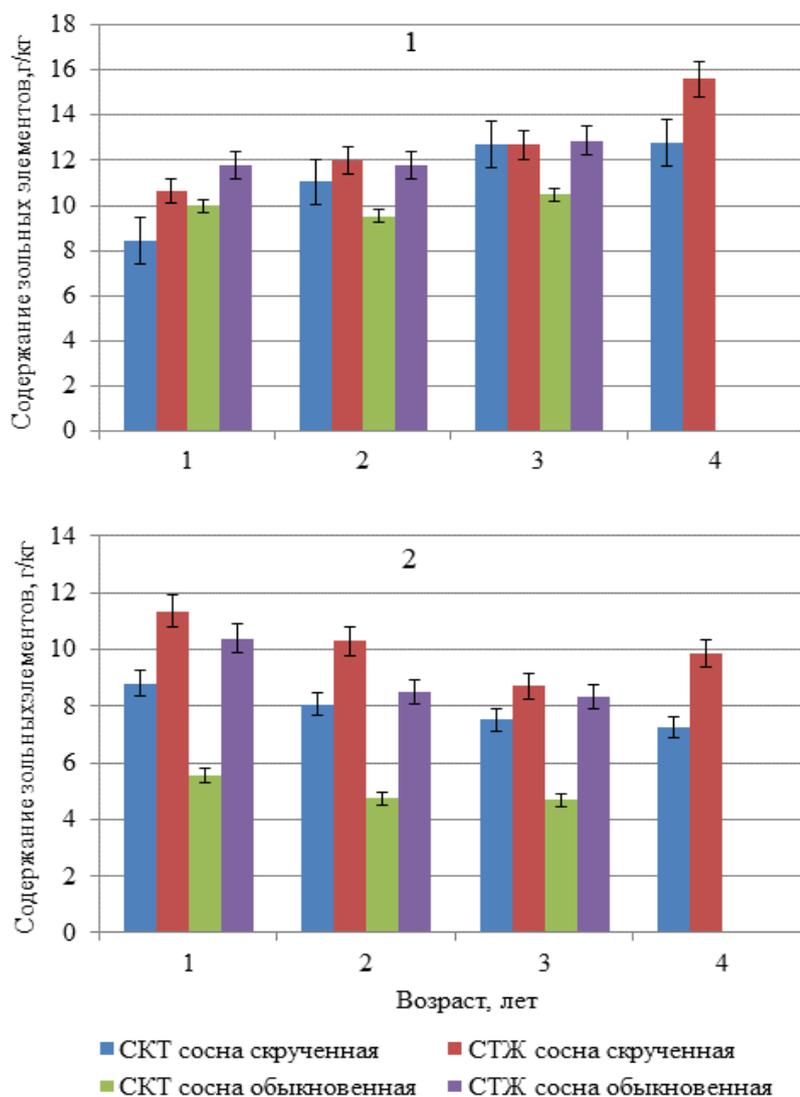


Рис. 2. Суммарное содержание зольных элементов в хвое (1) и ветвях (2) сосны скрученной и сосны обыкновенной в культурах Сыктывкарского (СКТ) и Сторожевского (СТЖ) лесничеств

Среди зольных элементов наиболее высоким уровнем накопления в побегах обеих видов сосны отличаются кальций и калий (до 6,1 г/кг), наиболее низким – натрий и железо ($\leq 0,06$ г/кг) (табл. 2).

Таблица 2

Концентрация зольных элементов в побегах сосны скрученной и сосны обыкновенной в культурах Сыктывкарского (СКТ) и Сторожевского (СТЖ) лесничеств

Части побега, возраст	Концентрация элементов, г/кг а.с.в.															
	Mn		Fe		Al		K		Na		Ca		Mg		S	
	СКТ	СТЖ	СКТ	СТЖ	СКТ	СТЖ	СКТ	СТЖ	СКТ	СТЖ	СКТ	СТЖ	СКТ	СТЖ	СКТ	СТЖ
Сосна скрученная																
Хвоя																
1 года	0,95	0,56	0,03	0,04	0,54	0,95	3,50	4,80	0,008	0,013	2,60	2,20	0,77	1,10	0,54	1,00
2 года	1,10	1,00	0,03	0,05	0,92	1,50	3,50	4,60	0,006	0,027	4,10	2,80	0,82	1,00	0,58	1,00
3 года	1,30	1,20	0,02	0,05	1,20	1,70	3,40	4,20	0,007	0,013	5,30	3,60	0,91	1,00	0,56	0,92
4 года	0,95	1,30	0,03	0,06	1,30	1,70	3,20	3,90	0,010	0,021	5,90	6,40	0,83	1,40	0,55	0,83
Ветви																
1 года	0,28	0,27	0,04	0,04	0,48	0,51	4,30	6,10	0,007	0,019	2,20	2,30	0,90	1,10	0,60	1,00
2 года	0,25	0,28	0,04	0,05	0,50	0,61	3,40	4,50	0,009	0,019	2,50	3,20	0,87	0,93	0,50	0,69
3 года	0,23	0,29	0,04	0,05	0,52	0,64	2,80	3,50	0,010	0,038	2,70	2,80	0,76	0,78	0,44	0,60
4 года	0,20	0,23	0,05	0,06	0,58	0,80	2,00	2,60	0,011	0,042	3,10	4,60	0,84	0,95	0,48	0,57
Сосна обыкновенная																
Хвоя																
1 года	0,53	0,46	0,03	0,05	0,16	0,39	5,80	5,50	<0,005	0,015	1,80	3,10	0,95	1,30	0,70	0,98
2 года	0,69	0,77	0,03	0,06	0,19	0,74	4,50	4,00	<0,005	0,022	2,70	4,20	0,74	1,00	0,66	1,00
3 года	0,63	0,74	0,04	0,06	0,28	0,86	3,90	3,90	0,015	0,033	4,30	5,40	0,63	0,95	0,68	0,84
Ветви																
1 года	0,23	0,21	0,04	0,04	0,18	0,33	2,70	5,40	0,007	0,022	1,60	2,70	0,48	1,00	0,31	0,68
2 года	0,22	0,22	0,04	0,04	0,19	0,31	1,80	3,80	0,008	0,025	1,80	2,80	0,41	0,78	0,27	0,52
3 года	0,19	0,18	0,05	0,06	0,20	0,39	1,60	3,00	0,009	0,026	2,00	3,50	0,38	0,68	0,24	0,50

Примечание к таблице. а.с.в – абсолютно сухое вещество; СКТ – Сыктывкарское лесничество, СТЖ – Сторожевское лесничество.

Много кальция накапливается в хвое 3–4 года жизни у сосны скрученной и 3-го года жизни у сосны обыкновенной ($\geq 4,3$ г/кг), калия – в ветвях обоих видов ($\geq 6,1$), магния – в хвое 2–4 года жизни и ветвях сосны скрученной, а также в хвое текущего года сосны обыкновенной ($\geq 1,4$), марганца – в хвое сосны скрученной ($\geq 1,3$), серы – в хвое обоих пород и ветвях сосны скрученной ($\geq 1,0$), алюминия – в хвое 2–4 года сосны скрученной ($\geq 1,7$). Очень низким содержанием в побегах обеих пород отличаются железо ($\leq 0,06$) и натрий ($\leq 0,04$).

Концентрация кальция в различных частях побегов исследуемых пород изменяется от 1,6 до 6,4 г/кг (табл. 2). Его содержание в хвое, выше, чем в ветвях и с возрастом хвои оно возрастает. Довольно близкие к нашим значениям по концентрации кальция приводятся для сосняков Карелии – 2–5 г/кг (Казимиров и др., 1977) и для хвои в культурах сосны Архангельской области 2–7 г/кг (Бабич, Мерзленко, 1998). Известно, что концентрация кальция изменяется по мере старения хвои: чем выше возраст хвои, тем больше в нем кальция (Казимиров и др., 1977; Эколого-физиологические..., 1993; Бабич, Мерзленко, 1998; Робакидзе, 2025), что по большей части подтверждается нашими данными (табл. 2).

В побегах изучаемых видов концентрация калия не превышает 6,1 г/кг, при этом наиболее высокое содержание этого элемента характерно для однолетней хвои сосны обыкновенной и однолетних ветвей обеих видов – 5,4–6,1 г/кг. Более низкие показатели содержания калия в хвое текущего года приводятся для 20-летних посевов сосны обыкновенной (Архангельская область) – 3,1–5,2 (Бабич, Мерзленко, 1998). Калий в побегах обеих видов сосны варьирует от 1,6 до 6,1 г/кг. Содержание калия в хвое сосны скрученной (3,0–4,8 г/кг) немного ниже, чем у сосны обыкновенной (3,9–5,6 г/кг) и менее вариабельно в зависимости от возраста. Более

широкий диапазон концентрации калия, по сравнению с полученными результатами, приводится для хвои сосны обыкновенной в лесных культурах Архангельской области – 2,4–8,7 г/кг (Бабич, Мерзленко, 1998), сосняков Карелии – 2,0–4,6 (Казимиров и др., 1977) и Коми – 3,3–7,5 г/кг (Эколого-физиологические..., 1993; Робакидзе, 2025). Широкий диапазон в содержании калия связан с его высокой подвижностью и вариабельностью, в зависимости от возраста хвои. Известно, что повышенной концентрацией калия у сосны обыкновенной отличается хвоя текущего года, а по мере ее старения содержание этого элемента снижается (Казимиров и др., 1977; Эколого-физиологические..., 1993; Робакидзе, 2025). В наших исследованиях эта закономерность также наблюдается (табл. 2). Уровень аккумуляции этого элемента зависит от лесорастительных условий. Например, калия в хвое сосны скрученной в Сыктывкарском лесничестве содержится от 3,0 до 3,5, в Сторожевском выше – от 3,9 до 4,8 г/кг (табл. 2).

Концентрация магния в хвое обоих видов сосны составляет от 0,6 до 1,4 г/кг. Близкие показатели концентрации магния, приводятся для хвои сосны обыкновенной в сосняках Карелии – 0,5–0,9 г/кг, при этом авторами отмечается, что относительно высокое содержание этого элемента в ассимилирующих органах, обусловлено тем, что он входит в состав хлорофилла (Казимиров и др., 1977). Содержание магния в исследуемых культурах у сосны скрученной выше, чем у сосны обыкновенной, кроме хвои 1 года жизни. Более высокая концентрация этого элемента в хвое сосны скрученной, по сравнению с сосной обыкновенной отмечается в искусственных насаждениях Швеции (Berg, Lundmark, 1987). Известно, что с увеличением возраста хвои у сосны обыкновенной уровень накопления магния возрастает (Эколого-физиологические..., 1993; Робакидзе, 2025). Согласно нашим исследованиям, для сосны обыкновенной эта тенденция более выражена, чем для сосны скрученной.

Марганца в побегах содержится не более 1,3 г/кг, при этом в хвое сосны скрученной (0,6–1,3 г/кг) его содержание выше, чем у сосны обыкновенной (0,5–0,8 г/кг) (табл. 2). В хвое исследуемых пород наблюдается закономерное увеличение марганца с возрастом. Такая же тенденция в концентрации марганца наблюдается для хвои сосны обыкновенной, произрастающей в естественных сосняках Карелии и Коми (Казимиров и др., 1977; Эколого-физиологические..., 1993; Робакидзе, 2025). Марганец является одним из важнейших микроэлементов и уровень его содержания в растениях зависит от наличия доступной формы в почве, так как этот элемент имеет высокий коэффициент биологического поглощения в таежных ландшафтах (Перельман, 1961). Существенного различия в его содержании между двумя лесничествами не наблюдается. В хвое сосны скрученной содержание марганца выше, чем у сосны обыкновенной. Эта же особенность для хвои сосны скрученной отмечается шведскими исследователями (Berg, Lundmark, 1987).

Концентрация серы в побегах обеих пород составляет 0,2–1,0 г/кг. Более низкие значения приводятся для сосняков Карелии (Казимиров и др., 1977). Хвоя сосны обыкновенной в Сыктывкарском лесничестве отличается более высокой концентрацией серы, по сравнению с сосной скрученной. При этом в ветвях сосны скрученной ее содержание почти в два раза выше, чем у сосны обыкновенной (табл. 2).

Содержание алюминия в побегах у сосны скрученной выше (до 1,7 г/кг), чем у сосны обыкновенной (до 0,9 г/кг). С возрастом в хвое у обоих видов концентрация этого элемента возрастает. Для естественных сосняков Карелии приводится довольно широкий диапазон концентрации алюминия в хвое сосны обыкновенной – 0,3–1,1 г/кг (Казимиров и др., 1977).

Содержание железа в побегах исследуемых древесных пород составляет от 0,02 до 0,06 г/кг (табл. 2). При этом его концентрация в хвое и ветвях различается незначительно. Для обоих видов сосны характерно увеличение железа с возрастом хвои. Содержание железа в хвое сосны обыкновенной составляет 0,03–0,06 г/кг (табл. 2), что несколько ниже, чем в естественных сосняках Карелии – 0,08–0,10 г/кг (Казимиров и др., 1977). Согласно данным этих авторов, в хвое более продуктивных насаждений сосны обыкновенной накапливается меньшее количество железа, также отмечается, что с увеличением возраста хвои концентрация этого элемента возрастает. В хвое обеих видов сосны в культурах Сторожевского лесничества содержание этого элемента выше.

В побегах исследуемых видов содержание натрия незначительно и не превышает 0,03 г/кг (табл. 2). В большинстве случаев его концентрация в хвое и ветвях сосны скрученной выше, чем у сосны обыкновенной. В побегах сосны обыкновенной наблюдается увеличение концентрации натрия с возрастом, в то время как у сосны скрученной оно менее выражено.

Суммарное количество определяемых элементов минерального питания (с азотом) в побегах – для сосны скрученной изменяется от 14,2 до 26,4, сосны обыкновенной – от 8,7 до 28,0 г/кг (табл. 3). Хвоя исследуемых древесных пород отличается большей вариабельностью в содержании минеральных элементов по сравнению с ветвями, обусловленной не только возрастом, но и лесорастительными условиями: от 18,6 до 26,4 для сосны скрученной и от 21,3 до 28,0 г/кг для сосны обыкновенной. В естественных сосняках Республики Коми этот показатель для сосны обыкновенной схож с полученными данными и достигает 26 г/кг в зависимости от возраста, условий произрастания и типа насаждения (Робакидзе, 2025). Согласно результатам исследования, в ветвях сумма элементов минерального питания составляет для сосны обыкновенной 8,7–18,3, для сосны скрученной 14,2–21,1 г/кг (табл. 3). В естественных сосняках Республики Коми в ветвях сосны обыкновенной диапазон этого показателя шире и составляет 13,4–27,6 г/кг и определяется типом насаждения, достигая максимальных величин в сосняке чернично-сфагновом (Робакидзе, 2025).

В хвое текущего года диапазон концентрации определяемых элементов у сосны скрученной ниже (18,6–23,6 г/кг), чем у сосны обыкновенной (22,7–26,8 г/кг) (табл. 3). В хвое 2 и 3 года жизни, независимо от условий произрастания, этот показатель у сосны обыкновенной либо выше, либо примерно одинаковый для обеих пород.

Безусловно, уровень аккумуляции элементов минерального питания сосны скрученной и сосны обыкновенной отличается, что было показано нами ранее для культур Сыктывкарского лесничества (Пристова, Федорков, 2023) и подтверждаются представленными результатами для двух участков. Полученные данные также показывают, что эти различия между породами наблюдаются вне зависимости от условий местообитания (табл. 3).

Влияние условий местообитания на химический состав растений достаточно давно и хорошо известно. Даже в нормативных документах предлагается проведение химического анализа хвои для последующей рекомендации внесения удобрений на лесосеменных плантациях (ОСТ 56-74-96). Согласно представленным данным, видна разница между

Таблица 3

Суммарная концентрация элементов минерального питания в побегах сосны скрученной и сосны обыкновенной в двух лесничествах

Год жизни	Содержание минеральных элементов, г/кг*			
	Сосна скрученная		Сосна обыкновенная	
	Сыктывкарское лесничество	Сторожевское лесничество	Сыктывкарское лесничество	Сторожевское лесничество
Хвоя				
1	18,6	23,6	22,7	26,8
2	21,9	26,2	21,3	28,0
3	23,7	24,1	22,9	24,9
4	22,3	26,4	–	–
Ветви				
1	18,7	21,1	10,6	18,3
2	16,0	16,6	9,1	14,2
3	14,8	14,2	8,7	13,7
4	14,3	15,6	–	–

Примечание к таблице. Прочерк означает отсутствие охвоенных побегов 4 года жизни у сосны обыкновенной; * – в таблице представлена сумма концентрации 9 минеральных элементов (N, Mg, Ca, K, Na, Mn, Fe, Al, S).

суммарным содержанием минеральных элементов в побегах, обеих видов сосны между исследуемыми культурами (табл. 3). Как правило, в культурах на бывших землях с/х пользования (СТЖ) суммарное содержание определяемых минеральных элементов в побегах выше, чем в культурах, созданных на сосновой вырубке (СКТ). Вероятно, благоприятные почвенные условия на сельскохозяйственных землях способствуют более интенсивной аккумуляции минеральных элементов.

Как указывалось выше, доминирующим компонентом элементного состава побегов обеих видов сосны является азот, его доля от суммарного количества определяемых элементов составляет от 37 до 58 %. Согласно нашим данным, с возрастом содержание азота в хвое сосны обыкновенной имеет тенденцию к снижению, что отмечается и другими исследователями (Казимиров и др., 1977; Эколого-физиологические..., 1993; Робакидзе, 2025). Однако, для сосны скрученной эта тенденция не столь выражена как для сосны обыкновенной.

Калий и кальций являются доминирующими зольными элементами в побегах, исследуемых видов сосны, на них приходится от 66 до 78 % от суммы зольных элементов. При этом на калий приходится от 25 до 58 %, на кальций – от 18 до 47 % от суммы определяемых зольных элементов. С возрастом доля кальция в побегах увеличивается, а калия напротив снижается. Высокая доля участия калия в составе золы исследуемых видов обусловлена его важной физиологической ролью для растений, поскольку он необходим для процессов фотосинтеза, а также его высокой подвижностью и биогенной аккумуляцией, при этом, следует отметить, что для таежных ландшафтов этот элемент дефицитен (Перельман, 1961). Как отмечено выше, для обеих пород в культурах Сторожевского лесничества содержание калия в побегах выше, чем Сыктывкарского. Известно, что концентрация калия в хвое сосны обыкновенной во многом определяется почвенными условиями и условиями вегетационного периода (Казимиров, 1977). Поскольку исследуемые виды произрастают в одних и тех же почвенных условиях, и отбор растительных проб производился в одно и то же время, можно предположить, что различия в возрастной динамике содержания калия в хвое определяется видовыми особенностями сосны скрученной.

Высокая концентрация кальция в зольном составе исследуемых побегов сосны обусловлена тем, что он относится к важным биоэлементам, наиболее распространенным во всех живых организмах (Перельман, 1961). Для древесных растений высокая доля кальция в элементном составе связана тем, что он входит в состав меристемных тканей и способствует устойчивости растений, его высокое содержание в хвое также связано с климатическими условиями Севера (Казимиров и др., 1977).

В побегах изучаемых видов сосны суммарная доля Na+Fe+Al, как правило, не превышает 11 % от суммы зольных элементов. Эти элементы отличаются низкой интенсивностью биологического поглощения для таежной зоны (Перельман, 1961). Концентрация алюминия, натрия и железа у сосны скрученной на обоих участках превышает таковую у сосны обыкновенной, что вероятно обусловлено ее видоспецифичностью в отношении аккумуляции этих элементов. Например, содержание алюминия в хвое и ветвях 1 года жизни у сосны скрученной в 3 раза превышает его концентрацию у сосны обыкновенной (табл. 2).

Тип химизма для побегов обеих видов сосны, независимо от лесорастительных условий – азотно-кальциево-калиевый (N>Ca>K) и азотно-калиево-кальциевый (N>K>Ca).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительный анализ концентрации 9 элементов (N, Mg, Ca, K, Na, Mn, Fe, Al, S) в побегах сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на двух участках экспериментальных культур, средней тайги Республики Коми показал как сходство, так и различия между ними. Проведенные исследования выявили, что наиболее высокой концентрацией в побегах исследуемых пород отличаются N, Ca, K, S и Mg низкой – Na, Al и Fe. Суммарное содержание определяемых элементов в хвое, как правило, ниже, чем в ветвях, что характерно для обоих видов. Этот показатель в хвое сосны скрученной (19–

26 г/кг) ниже, чем у сосны обыкновенной (14–21 г/кг), для ветвей – наоборот. В среднем около половины суммы минеральных элементов у обеих пород приходится на N. Значительную долю в составе зольных элементов составляют Ca и K. Установлено, что исследуемые побеги сосны независимо от видовой принадлежности, относятся к азотно-калиево-кальциевому или азотно-кальциево-калиевому типу химизма и характеризуются сходным аккумулятивным рядом содержания элементов.

Согласно полученным данным, различия в химическом составе побегов между двумя видами сосны проявляются в более высоком содержании определяемых зольных элементов в хвое (за исключением K и S), и ветвях сосны скрученной, что вероятно обусловлено ее видоспецифичностью. Выявлено, что в культурах, заложенных на сельскохозяйственных землях содержание большинства определяемых элементов в побегах обеих пород выше, чем в культурах, заложенных на месте сосновой вырубki. Полученные результаты могут использоваться при оценке влияния вида-интродуцента сосны скрученной на почвы и обменные процессы искусственных насаждений в условиях Севера.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН, тема «Средообразующая роль и продуктивность лесных и болотных экосистем европейского северо-востока России» (№ 125020501547-8).

Список литературы

- Алексеев В. М., Жигунов А. В., Бондаренко А. С., Бурцев Д. С. Интродукция сосны скрученной в условиях Ленинградской области // Лесной журнал. – 2014. – №3 (339). – С. 24–33.
- Бабич Н. А., Мерзленко М. Д. Биологическая продуктивность лесных культур. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 1998. – 89 с.
- Гутий Л. Н., Федорков А. Л. Экспериментальные культуры сосны скрученной в Сыктывкарском лесничестве Республики Коми // Лесной журнал. – 2016. – № 1. – С. 48–54. DOI: 10.17238/0536-1036.2016.1.48
- Дроздов Ю. И. Сосна скрученная в культурах европейской части России // Лесохозяйственная информация. – 2002. – № 9. – С. 21–23.
- 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.
- Мелехов И. С. Интродукция хвойных в лесном хозяйстве // Лесоведение. – 1984. – № 6. – С. 72–78.
- Перельман А. И. Геохимия ландшафта. – М.: Географгиз, 1961. – 496 с.
- Пристова Т. А., Федорков А. Л. Элементный состав *Pinus contorta* Dougl. и *Pinus sylvestris* L. в экспериментальных культурах Сыктывкарского лесничества Республики Коми // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2023. – № 245. – С. 55–70. <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2023.245.55-70>
- Раевский Б. В., Пеккоев А. Н. Перспективы выращивания сосны скрученной в Южной Карелии // Инновации и технологии в лесном хозяйстве – 2013. Ч. 2: Материалы III международ. научно-практич. конф. – 2013. – С. 182–193.
- Робакидзе Е. А. Элементный состав разновозрастной хвои сосны (*Pinus sylvestris* L.) в сосняках лишайниковых в условиях длительного аэротехногенного загрязнения выбросами АО «Сыктывкарский лесопромышленный комплекс» // Экосистемы. – 2025. – № 41. – С. 65–78.
- Федорков А. Л., Туркин А. А. Экспериментальные культуры сосны скрученной в Республике Коми // Лесоведение. – 2010. – № 1. – С. 70–74.
- Феклистов П. А., Бирюков С. Ю., Федяев А. Л. Сравнительные эколого-биологические особенности сосны скрученной и обыкновенной в северной подзоне европейской тайги. – Архангельск: Архангельский государственный технический ун-т, 2008. – 118 с.
- Эколого-физиологические основы продуктивности сосновых лесов европейского Северо-Востока. – Сыктывкар, 1992. – 97 с.
- Элайс Т. С. Североамериканские деревья: определитель. – Новосибирск: Изд-во Гео, 2014. – 959 с.
- Berg B., Lundmark J.- E. Decomposition of needle litter in *Pinus sylvestris* monocultures – a comparison // Scandinavian Journal of Forest Research. – 1987. – N 2. – P. 3–12.
- Elfving B., Ericsson T., Rosvall O. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden – a review // Forest Ecology and Management. – 2001. – N 141 (1–2). – P. 15–29.
- Fedorov A., Gutiy L. Performance of lodgepole pine and Scots pine in field trials located in north-west Russia // Silva Fennica. – 2017. – Vol. 51. – N 1. – 10 p. DOI: 10.14214/af. 1692
- Nilsson P., Cory N. Skogsdata 2010, Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från Riksskogstaxeringen // Forestry statistics 2010. Umeå, Sveriges Lantbruksuniversitet, 2010. – 119 p.
- Varmola M., Salminen H., Rikala R., Kerkela M. Survival and early development of Lodgepole pine // Scandinavian Journal of Forest Research. – 2000. – N 15. – P. 410–423.

Zhigunov A. V., Butenko O. Y. Estimating the growth of 20-to 26-year-old longepole pine plantations in the Leningrad Region of Russia // *Folia Forestalia Polonica series A-Forestry*. – 2019. – Vol. 61 (1). – P. 68–77. DOI: 10.2478/ffp-2019-0006

Pristova T. A. The Elemental Composition of *Pinus contorta* Dougl. and *Pinus sylvestris* L. Shoots in the Experimental Plantations of the Komi Republic // *Ekosistemy*. 2025. Iss. 44. P. 68–77.

In 2004–2007, a series of experimental plantations were planted in the Komi Republic using a fast-growing introduced species of Canadian origin, lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl.). Local Scots pine (*P. sylvestris* L.) served as a control group in the experiment. For a comparative assessment of the chemical composition of these two pine species' shoots, the concentration of nine elements was determined – N, Mg, Ca, K, Na, Mn, Fe, Al, S. Forested areas have different origins: former agricultural fields and logged pine forests. It has been revealed that both species, as representatives of the genus *Pinus*, have much in common in their elemental composition. Both species exhibit comparable ranges of elemental accumulation and their shoots can be classified into either nitrogen-potassium-calcium or nitrogen-calcium-potassium chemotypes. The total content of mineral elements in shoots of both species accounts for 37–58 % N, while calcium plus potassium make up about 66–78 % of the ash elements, with sodium, iron, and aluminum contributing less than 11%. It is shown that the lodgepole pine has a number of chemical composition features, compared with the Scots pine. Specifically, lodgepole pine exhibits elevated levels of aluminum and magnesium across most shoot components but shows reduced nitrogen and potassium concentrations relative to its counterpart. It was revealed that the concentration of elements in the shoots of the studied pine species depends on the land-use history of the respective planting sites. In plantation created on agricultural lands, the content of mineral elements in shoots of both species is higher than in logged pine forests. The obtained data will allow us to assess the effect of lodgepole pine on soils and metabolic processes in cultivated plantations using an introduced species in the conditions of the North.

Key words: experimental plantations, lodgepole pine, introduced species, Scots pine, shoots, content of mineral elements.

Поступила в редакцию 06.08.25

Принята к печати 20.10.25