

УДК 630*2:582.475

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.100

ВЛИЯНИЕ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ УДОБРЕНИЙ НА МЕТАБОЛИЗМ ЕЛИ И СОСНЫ В СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ

В.Н. Коновалов¹, д-р с.-х. наук, проф.

Л.В. Зарубина², канд. с.-х. наук, доц.

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

²Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, ул. Панкратова, д. 9-а, корп. 7, с. Молочное, г. Вологда, Россия, 160555;
e-mail: liliva270975@yandex.ru

Изучено влияние калийных удобрений с высоким (хлористый калий) и низким (сульфат калия) содержанием хлора на физиологические процессы ели и сосны в зависимости от состояния водного режима торфяной почвы. Установлено, что внесение в торфяную почву хлористого калия в качестве минеральной подкормки у деревьев приводит к накоплению в хвое не только калия, но и хлора. Особенно в больших количествах (более 50 %) хлор накапливается у растений в условиях дренированной почвы, в которых корни хорошо снабжаются кислородом воздуха. В переувлажненной почве хлористый калий быстро переходит в почвенный раствор и выносится за пределы корнеобитаемого горизонта, поэтому существенного накопления хлора в органах дерева не происходит. При совместном внесении хлористого калия и азота в результате возникающих между азотом и хлором антагонистических отношений накопления хлора у ели и сосны также не происходит. Измерение концентрации пигментов, интенсивности фотосинтеза и состояния энергопреобразующей системы показало значительное снижение данных физиологических показателей у растений, удобренных фосфорно-калийным удобрением, по сравнению с растениями, удобренными одним фосфором. Эти данные дают основание полагать, что главной причиной нарушения физиологических и ростовых процессов у растений является негативное действие ионов хлора на хлоропласты, поскольку на площадках с внесением только фосфора наблюдалось даже усиление таких процессов. Параллельное использование хлористого калия и сульфата калия в качестве минеральной подкормки деревьев в целом подтвердило предположение о негативном действии на древесные растения ионов хлора, которое особенно усиливалось на дренированной почве. Сделан вывод, что применение хлористого калия в качестве минеральной подкормки деревьев в целях повышения их продуктивности без участия азота является нежелательным и даже вредным для леса хозяйственным мероприятием. Это приводит к тому, что эффективность действия на древесные растения комплексных удобрений при наличии в них хлорсодержащего калийного удобрения значительно снижается.

Ключевые слова: ионы хлора, хлористый калий, сульфат калия, физиологические процессы, ель, сосна, влажность торфяной почвы.

Для цитирования: Коновалов В.Н., Зарубина Л.В. Влияние хлорсодержащих удобрений на метаболизм ели и сосны в северотаежных фитоценозах // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 100–113. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.100

Введение

Среди факторов внешней среды, во многом определяющих интенсивность и направленность хода физиологических и ростовых процессов у растений, важное место принадлежит условиям минерального питания. В настоящее время имеется достаточное количество данных, свидетельствующих о высокой эффективности минеральных удобрений при выращивании спелой древесины. Установлено, что при правильном подборе и благоприятных почвенных условиях путем изменения минерального питания с помощью удобрений удастся воздействовать на весь ход обменных процессов у древесных растений. Минеральные элементы являются не только субстратом для метаболических реакций, но и частью регуляторного механизма, обеспечивающего приспособление растений к новым экологическим условиям. В опытах Д. Урзино [27], В.Н. Коновалова и А.В. Веретенникова [8] исключение из питательной смеси любого химического элемента приводило к нарушению активности физиологических и ростовых процессов у древесного растения. Однако не все виды удобрений и их дозы одинаково эффективны в действии на растения даже в близких природных условиях. П.Б. Раскатов [15] отмечает, что потребность растения в том или ином минеральном элементе определяется, главным образом, типом обмена веществ у него, участием данного элемента в биохимических процессах. Многочисленными исследованиями [8, 9, 15, 16, 24] установлено, что для обеспечения нормального хода физиологических процессов огромное значение также имеет форма присутствующего в используемой минеральной подкормке химического элемента. Поэтому выбор оптимальных доз и форм минеральных удобрений весьма важен с точки зрения их рационального использования в лесных насаждениях.

К числу факторов, оказывающих большое влияние на рост и интенсивность физиологических процессов у растений, относится и хлор. В растительном организме ионы хлора принимают непосредственное участие в окислительных реакциях, участвуют в энергетическом обмене, положительно влияют на поглощение кислорода корнями. Регулируя правильное функционирование устьичных отверстий, ионы хлора тем самым контролируют водный баланс растений, участвуют в процессе фотосинтеза, в частности в системе расщепления воды, следят за балансом катионов и транспортом их в растении, борются с лишним поглощением нитратов, чем препятствуют проникновению грибковых инфекций [1, 3, 4, 15]. По исследованиям О.З. Еремченко с соавторами [4], одновременное хлоридное засоление и ощелачивание корневого субстрата у растений кресс-салата повышало содержание каротиноидных пигментов в листьях и способствовало адаптации их к неблагоприятным факторам среды.

Основным источником поступления ионов хлора в растения служат калийные удобрения, в частности хлористый калий (KCl), который, согласно существующим рекомендациям, можно применять на всех почвах под основные возделываемые сельскохозяйственные культуры и лесные насаждения [1, 15, 16].

В состав KCl, кроме калия, входят также ионы хлора (0,9...1,0 г на 1 кг удобрения) [1], избыточное накопление которых, как показывает практика, для сельскохозяйственных растений часто бывает нежелательным и даже вредным, вызывающим у них нарушения хода обменных и ростовых процессов. Чрезмерная концентрация ионов хлора в растениях снижает содержание хлорофилла, уменьшает активность фотосинтеза, задерживает рост и развитие растений. У плодовых деревьев поглощение хлора в течение вегетационного сезона приводит к солевому отравлению, хлорозу листьев и растений [3, 17, 23]. Кроме сельскохозяйственных растений, факты отрицательного влияния ионов хлора на рост обнаружены и у многих древесных растений после внесения в древесостой хлорсодержащих калийных удобрений [9, 12, 17, 19, 20].

В естественных условиях ионы хлора в растениях содержатся обычно в небольших количествах ($n \cdot 10^{-2} \dots 10^{-3}$ % на сухое вещество) [1, 16], поэтому негативного влияния на растение они, как правило, не оказывают. Избыточное накопление ионов хлора в органах растений после внесения в почву хлорсодержащих удобрений часто приводит к серьезным нарушениям в обменных процессах. Однако, несмотря на особую важность, физиологическая сторона этого явления у древесных растений до сих пор остается практически не изученной.

Цель настоящей работы – выяснение роли хлорсодержащих удобрений с разной концентрацией хлора в метаболизме ели и сосны в условиях разного водного режима торфяной почвы.

Объекты и методы исследования

В соответствии с поставленной целью нами в качестве опытного был взят участок осушаемого ельника осоково-хвощево-сфагнового (VI класс возраста, V-а бонитет), относящегося к сфагновой группе типов леса. Общая площадь участка – 22 га, его осушенная часть – 14 га. Высота ели около осушителей – 13,0 м, в контроле – 9,1 м, диаметр – соответственно 16,0 и 13,0 см.

Для проведения исследований на перпендикулярно проведенном к осушителям створе было оборудовано три экспериментальных участка со средним расстоянием между центром участка и осушителем: № 1 – 20 м, № 2 – 40 м, № 3 – 60 м. Контролем служила неосушенная часть древесостоя. Средняя глубина почвенно-грунтовых вод по данным 4-летних наблюдений на контроле и опытных участках (№ 1–3) составляла соответственно 16, 47, 29, 24 см. С удалением от каналов мелиорирующее действие осушения ослабевало. Это проявлялось в повышении уровня почвенно-грунтовых вод и снижении продуктивности древесостоев [9].

Дополнительно на каждом экспериментальном участке были заложены специальные площадки, на которых осуществлена подкормка деревьев минеральными удобрениями. Выяснение роли ионов хлора в метаболизме деревьев достигалось включением калийного удобрения сначала в состав минеральной смеси с участием фосфора (вариант РК – фосфор, калий), а затем фосфора и азота (вариант NPK – азот, фосфор, калий).

С учетом литературных данных [11, 13, 23, 25] были приняты следующие нормы внесения удобрений по действующему веществу, кг/га: N – 90, P – 120, K – 60 (в нормах, обычно рекомендуемых для подобных лесорастительных условий). На каждом экспериментальном участке удобрения внесены по следующей схеме: N₉₀P₁₂₀K₆₀; P₁₂₀K₆₀ (P₁₂₀ – перед началом вегетационного периода путем равномерного разбрасывания по поверхности почвы). Размер опытных площадок – 0,02 га, расстояние между центрами соседних площадок – 40...50 м. Каждой опытной площадке соответствовала контрольная. Общим контролем служил участок ельника, где осушение и внесение удобрений не проводили. В качестве удобрений использовали: мочевины, хлористый калий, фосфоритную муку, отдельно сульфат калия. Повторность опытов – двукратная.

Для изучения содержания в хвое и коре деревьев питательных элементов, в том числе и хлора, на каждой опытной площадке (с разной интенсивностью осушения, разными видами удобрений) и соответствующих контрольных составляли постоянные биогруппы из 3...5 деревьев. Образцы хвои для определения концентрации хлора отбирали ежегодно 2-3 раза в июне–августе в течение 3 лет. Одновременно с определением концентрации хлора у ели и сосны изучали интенсивность физиологических и ростовых процессов.

Концентрацию пигментов в свежесобранной хвое определяли методом количественной бумажной хроматографии в модификации Д.И. Сапожникова [14], интенсивность фотосинтеза – радиометрическим методом [2], ионы хлора – по В.Е. Ермакову в модификации Е.П. Ниловой [5]. Содержание хлорофиллов *a* и *b* в светособирающем комплексе (ССК) и хлорофилл-белковых комплексах фотосистем I и II (ХБК ФС I и II) рассчитывали исходя из того, что практически весь хлорофилл *b* содержится в ССК, а отношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* в этом комплексе составляет 1,1–1,3 [18].

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе опытов установлено, что внесение хлористого калия в осушаемую торфяную почву приводит к повышению в хвое ели и сосны не только содержания калия, но и хлора. Данные, приведенные в табл. 1, показывают, что содержание хлора в год внесения удобрений в вариантах NPK и PK в однолетней хвое деревьев ели, по сравнению с неудобренными деревьями, на участке № 1 повысилось на 12...52 %, на участке № 2 – на 18...30 %.

В вариантах более обводненного участка № 3 накопления хлора в хвое практически не было отмечено. На второй год содержание хлора в хвое опытных растений также продолжало оставаться достаточно высоким по сравнению с контролем, особенно на участках вблизи осушителей. Следует отметить, что после внесения в почву хлористого калия содержание хлора у деревьев повысилось не только в хвое, формирование которой происходило в год внесения удобрений, но и в 2-3-летней хвое.

Таблица 1

Содержание хлора (% на сухую массу) в хвое ели на участках с КСІ

№ участка	Возраст хвои	Первый год			Второй год		
		Контроль	НРК	РК	Контроль	НРК	РК
1	Молодая	0,065	0,085	0,092	0,067	0,074	0,071
	Однолетняя	0,065	0,083	0,088	0,067	0,077	0,074
	Двухлетняя	0,065	0,089	0,097	0,067	0,078	0,073
	Трехлетняя	0,065	0,083	0,097	0,067	0,079	0,075
2	Молодая	0,065	0,073	0,075	0,073	0,078	0,082
	Однолетняя	0,064	0,076	0,082	0,072	0,088	0,085
	Двухлетняя	0,066	0,077	0,080	0,074	0,075	0,082
	Трехлетняя	0,067	0,074	0,077	0,072	0,082	0,082
3	Молодая	0,070	0,074	0,070	0,077	0,068	0,070
	Однолетняя	0,070	0,072	0,072	0,079	0,072	0,075
	Двухлетняя	0,070	0,074	0,072	0,077	0,075	0,074

Поглощение хлора растениями из почвы шло более активно (до 52 %) в вариантах РК. Возможно, именно в этих условиях происходило наибольшее связывание минеральных ионов хлора, на что имеются указания и в литературе [20]. Добавление в питательную смесь азота (вариант НРК) тормозило поступление хлора в растения в результате антагонистического действия на него азота [3, 10].

Из этого следует, что после внесения хлорсодержащих калийных удобрений в осушенную болотную почву содержание хлора особенно значительно повышается у растений вблизи осушителей, где корни деревьев хорошо снабжаются кислородом воздуха, а почва в течение вегетационного периода остается относительно увлажненной. Переувлажнение почвы на наиболее удаленном от осушителя участке № 3 с высоким уровнем стояния почвенной воды обеспечило быстрое растворение удобрения и, возможно, частичный вынос хлористого калия за пределы корнеобитаемого горизонта, а также исключило тем самым избыточное поступление хлора в растения. Известно [1], что ионы хлора плохо связываются почвой и легко вымываются из нее атмосферными осадками. Повышение в хвое содержания хлора в 1,5–2,0 раза после внесения в почву хлорсодержащих калийных удобрений ранее было отмечено также в 54-летних культурах сосны [17].

Накопление хлора у деревьев негативно сказалось, прежде всего, на процессах, связанных с синтезом фотосинтетических пигментов (табл. 2). В течение первого года деревья на более осушенном участке № 1 на делянках с РК, содержали хлорофилла на 20 % меньше, чем на делянках с одним фосфором (достоверность разницы по отношению к варианту с одним фосфором $t_{\text{факт}} = 7,4$). На участке № 2 это снижение составило не более 5 %. На более обводненном участке № 3 внесение хлористого калия совместно с фосфором даже способствовало небольшому увеличению концентрации зеленых пигментов

Таблица 2

Влияние хлористого калия на содержание пигментов (мкг/г) у ели

Пигмент	Расстояние до осушителя, м								
	20			40			60		
	НПК	РК	Р	НПК	РК	Р	НПК	РК	Р
Хлорофилл <i>a</i>	582	341	478	573	409	436	512	356	342
Хлорофилл <i>b</i>	268	260	271	254	262	274	318	243	246
Сумма <i>a</i> + <i>b</i>	850	601	749	827	671	710	830	599	588
Процент	100	70	88	100	81	86	100	72	71
Отношение Хл. <i>a</i> /Хл. <i>b</i>	2,17	1,31	1,76	2,26	1,56	1,59	1,35	1,47	1,39
ССК	590	572	596	559	576	613	700	535	541
ХБК	260	29	153	268	95	97	130	64	47
Отношение ССК/ХБК	2,27	19,70	3,90	2,09	6,06	6,32	5,38	8,36	11,50
Каротин (1)	141	180	164	144	118	126	195	224	154
Лютеин (2)	115	114	102	93	75	78	132	117	73
Виолакстин (3)	71	72	74	71	68	65	115	87	58
Сумма 1 + 2 + 3	327	366	340	308	261	269	442	428	285
Процент	100	112	104	100	85	87	100	97	65

по сравнению с внесением одного фосфора, по-видимому, за счет присутствия в минеральной подкормке калия и вымывания из почвы хлора. Наибольшее отрицательное влияние хлор оказывал на комплексы, контролируемые синтез хлорофилла *a*. Отношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* на первых двух участках, на делянках с РК, уменьшилось до 1,31, на делянках с одним фосфором составило 1,76–1,59.

Ионы хлора оказали влияние и на состояние хлорофилла в энергопреобразующей системе хлоропластов. По нашим расчетам, у деревьев более осушенного участка № 1 на делянках с фосфорно-калийным удобрением ССК уменьшился на 4 % по сравнению с делянками, на которых был внесен один фосфор, объем ХБК ФС I и II, основных комплексов синтеза белка [18], – в 5,3 раза. На участке № 2 эти показатели сократились на 6 и 2 % соответственно. В результате отмеченные изменения на участке № 1 привели к увеличению отношения между этими двумя комплексами с 3,90 на делянках с фосфором до 19,70 на делянках с РК. Согласно литературным данным [18], рост отношения ССК к ХБК свидетельствует о снижении у растений количества всех мембранных комплексов энергопреобразующей системы хлоропластов и их продуктивности. Более подробно эти вопросы нами рассмотрены в работах [8, 9]. На более обводненном участке № 2 существенных изменений в соотношениях между этими двумя системами на второй год не наблюдалось. На делянках с полным удобрением негативное действие хлора на отношение ССК к ХБК на осушенных участках № 1 и № 2 не проявилось в результате, вероятно, нейтрализующего действия азота на ионы хлора [3, 10].

Относительно высокие соотношения (5,4...11,5) между указанными комплексами у ели на переувлажненном участке № 3 явились результатом негативного действия на хлоропласты, кроме удобрений, высоких уровней почвенно-грунтовых вод (12...24 см), нарушивших работу корней. Действие хлористого калия на содержание каротиноидных пигментов у ели на наиболее осушенном участке № 1 повысилось незначительно, а на № 2 и заболоченном участке № 3 не сказалось. Это привело к небольшому их накоплению. Позднее негативное действие хлористого калия на синтез зеленых пигментов, особенно хлорофилла *a*, нами было отмечено в условиях Крайнего Севера на суходольных почвах у ели в ельнике черничном, у сосны – в сосняках лишайниковых [7, 9]. Избыточное накопление хлора и возникшие при этом негативные изменения в энергопреобразующем комплексе у сосны и ели в дальнейшем отрицательно сказались на ассимиляции атмосферной углекислоты (CO₂) и общем росте этих древесных пород (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние КСI на физиологические процессы ели
в осушаемом осоково-кустарничково-сфагновом ельнике**

Возраст и показатели хвои	Расстояние до осушителя, м								
	20			40			60		
	НПК	РК	Р	НПК	РК	Р	НПК	РК	Р
<i>Фотосинтез, мг CO₂ / (г · ч)</i>									
Молодая	24,0	18,7	20,0	18,5	15,7	17,3	16,8	13,3	14,2
Однолетняя	22,1	17,6	19,6	16,4	14,4	15,8	14,5	12,5	12,8
Двухлетняя	18,0	15,7	18,3	13,3	11,6	12,2	13,7	10,9	10,9
Трехлетняя	15,4	12,6	15,7	12,0	9,6	10,4	11,0	10,3	10,2
<i>Дыхание хвои, мг CO₂ / (г · ч)</i>									
Молодая	1,07	1,07	1,02	1,71	1,70	1,61	1,47	1,47	1,39
Однолетняя	0,34	0,44	0,38	0,50	0,57	0,55	0,64	0,70	0,67
Двухлетняя	0,32	0,37	0,35	0,44	0,50	0,44	0,51	0,51	0,61
<i>Биометрические показатели 100 шт. однолетних хвоинок</i>									
Длина, см	18,5	15,7	17,4	17,6	12,9	16,7	15,3	13,6	14,0
Масса, г	0,49	0,39	0,44	0,46	0,33	0,39	0,41	0,35	0,35

Статистическая обработка всего собранного за 3 года на опытных участках ельника осоково-хвощево-сфагнового экспериментального материала показала, что у ели для наиболее осушенного участка № 1 различия в интенсивности фотосинтеза между вариантами с фосфорным и фосфорно-калийным удобрениями при освещенности 20...35 тыс. лк вполне достоверны в пользу варианта с одним фосфором ($t_{\text{факт}} = 2,6...3,3$). У деревьев при использовании РК по отношению к контролю обнаружена лишь слабая тенденция наращивания фотосинтеза под действием этого удобрения, в то время как между

контролем и вариантом с одним фосфором разница достигла 33 %. На участке № 2 у деревьев улавливалась только небольшая тенденция к снижению интенсивности фотосинтеза на делянках с РК по сравнению с одним фосфором ($t_{\text{факт}} = 0,3 \dots 1,4$). На опытных делянках участка № 3 такая тенденция вообще отсутствовала. Здесь, в условиях повышенной оводненности торфяной почвы, оба удобрения в течение 3 лет на ассимиляцию CO_2 у деревьев оказывали небольшое, примерно равное положительное действие. На делянках с полным удобрением отрицательного действия ионов хлора на ассимиляционный аппарат ели отмечено не было [8, 9]. Отсутствие отрицательного действия хлора на фотосинтез в вариантах с полным удобрением может быть объяснено, вероятно, снятием отрицательного действия ионов хлора на ассимиляционный аппарат азотом как его антагонистом [3, 12].

На дыхание хвои ионы хлора оказали слабое действие. Так, на более осушенном участке № 1 дыхание хвои на делянках с РК по сравнению с одним фосфором возросло на 13 %. На других участках действие хлористого калия на дыхание хвои было менее заметно. опыты показывают, что в условиях избытка хлоридов дыхание растений осуществляется без запаса энергии в макроэнергетических пирофосфатных связях со значительным расходом энергетического материала [3]. Аналогичные результаты действия хлористого калия на ассимиляционный аппарат были выявлены и у сосны [9].

В целях проверки высказанного выше предположения о возможном негативном влиянии на древесные растения ионов хлора нами в одном из специально поставленных опытов у ели и сосны было проверено действие двух видов калийных удобрений (с разным содержанием в них ионов хлора) на интенсивность физиологических процессов [6, 9]. Объектом исследований служил 58-летний осушенный с помощью мелкой мелиорации сосняк травяно-сфагновый. Состав древостоя – 6С3Е1Б. Почва – торфяная переходная на средних торфах. Высота сосны на период исследований – 8,5 м, ели – 7,7 м. Осушение на объекте выполнено в 40-е гг. XX в. ручным способом с укреплением боковых стенок каналов деревянными щитами. Расстояние между осушителями – 140 м, рабочая глубина осушителей – 0,5 м. Уровень почвенно-грунтовых вод во время опыта на расстоянии 10 м от каналов колебался от 23 до 34 см, на расстоянии 60 м – от 9 до 17 см. Удобрения были внесены в почву в июне перед началом вегетации растений путем разбрасывания по ее поверхности. В качестве удобрений использовали KCl , содержащий в составе ионы хлора (0,9...1,0 г на 1 кг удобрения) [1], и бесхлорный сульфат калия K_2SO_4 (содержание хлора 0,02...0,03 г на 1 кг удобрения) [1, 10] в дозах, обычно рекомендуемых для подобных лесорастительных условий, – 60 кг/га по действующему веществу [11, 25]. Результаты исследований интенсивности фотосинтеза у ели на опытных объектах приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Влияние KCl и K₂SO₄ на интенсивность фотосинтеза ели (мг CO₂/(г·ч))
при освещенности 30...35 тыс. лк**

Хвоя	Расстояние до осушителя, м					
	10 м			60 м		
	Контроль	KCl	K ₂ SO ₄	Контроль	KCl	K ₂ SO ₄
Первого года	45,7	42,7	48,4	28,3	32,4	29,4
	49,5	43,3	52,0	31,1	33,7	30,0
	45,2	40,7	58,9	39,7	39,0	40,7
	30,5	31,1	45,5	27,5	27,9	30,1
	52,5	50,9	57,7	26,3	33,6	32,9
Среднее	46,7	44,1	52,5	30,6	33,3	32,6
В процентах	100	94	112	100	109	106
Второго года	36,1	29,7	40,0	22,6	24,5	24,5
	26,3	24,0	28,5	16,0	18,5	19,3
	29,3	23,7	36,1	13,6	20,4	20,3
	30,7	26,1	34,9	17,4	20,6	21,4
	100	85	116	100	120	123

Примечание. Аналогичные результаты получены и для сосны.

Сравнение данных фотосинтеза на контрольных и опытных делянках показало, что в условиях благоприятного водно-воздушного режима торфяной почвы (10 м от канала) хлористый калий и сульфат калия на ассимиляционный аппарат сосны и ели оказали неоднозначное влияние. У деревьев, удобренных хлористым калием, интенсивность фотосинтеза была на 6...15 % ниже, чем в контроле, а у деревьев, удобренных сульфатом калия, – на 12...16 % выше. В то же время статистический анализ с помощью t-критерия Стьюдента для обоих возрастов хвои не подтвердил необходимого уровня достоверности разницы между экспериментальными данными и контролем для обоих вариантов ($t_{\text{факт}} \leq 3$), а между вариантами с сульфатом калия и хлористым калием разница оказалась достаточно высокой, более 18...34 % ($t_{\text{факт}} \geq 3$).

У деревьев на участке, расположенном в средней части межканального пространства (60 м, уровень почвенно-грунтовых вод 9...17 см) оба вида калийного удобрения способствовали повышению интенсивности фотосинтеза на 6...23 %. Более существенное влияние на ассимиляционный аппарат в этих условиях оказал сульфат калия (до 23 %). Отсутствие негативного влияния на фотосинтез хлористого калия в условиях повышенной влажности торфяной почвы мы склонны объяснить задержкой поступления ионов хлора в дерево в результате нарушения работы корневой системы из-за возникшего анаэробноз и вымыванием части элемента за пределы корнеобитаемого слоя почвы [8]. При подкормке деревьев хлористым калием нами было отмечено снижение интенсивности фотосинтеза также и в других древостоях:

у ели в 120-летнем ельнике черничном, у сосны – в 70-летнем осушенном сосняке кустарничково-сфагновом и в 12-летнем сосняке лишайниковом [9]. Считается, что основной причиной токсического действия ионов хлора (при его избытке) на растение является накопление высоких концентраций аммиака во всех его органах в результате усиленного распада белка под действием хлора и нарушения процессов аминирования [3]. Результаты наших исследований вполне согласуются с данными П.С. Пастернака с соавторами [12], а также В.В. Савельева и М.Д. Нестеровича [19], которые в своих опытах также неоднократно наблюдали снижение интенсивности фиксации CO₂ у семян тех видов древесных пород, которых подкармливали хлористым калием.

Внесение хлористого калия в почву отрицательно сказалось также на развитии ассимиляционного аппарата древесных растений (табл. 4). Полученные результаты показали, что по сравнению с внесением только фосфорного удобрения хлористый калий в варианте с фосфором снизил длину и массу хвои соответственно на 10...12 и 11...15 %, что можно объяснить вредным воздействием ионов хлора на процессы деления и растяжения клеток. Факты отрицательного влияния ионов хлора на прирост древесных растений при внесении хлорсодержащих калийных удобрений неоднократно наблюдались в насаждениях из разных древесных пород во многих регионах России [12, 19, 20].

Заключение

Исследование влияния калийных удобрений (хлористого калия и сульфата калия) с высокой и низкой концентрацией хлора на жизненное состояние ели и сосны в осушаемых древостоях и на суходольных почвах показало, что использование для повышения роста и продуктивности древостоев хлористого калия с высокой концентрацией хлора без участия азота является нежелательным и даже вредным для леса хозяйственным мероприятием. Это приводит к тому, что и эффективность действия на древесные растения комплексных удобрений с участием хлорсодержащего калийного удобрения значительно снижается. В результате нельзя в полной мере использовать все полезные свойства вносимых в древостой не только калийных, но и полных удобрений, а значительное количество биологического урожая не будет получено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артюшин А.М., Державин Л.М. Краткий справочник по удобрениям. М.: Колос, 1971. 288 с.
2. Вознесенский В.Л., Заленский О.В., Семихатова О.А. Методы исследования фотосинтеза и дыхания растений. М.; Л.: Наука, 1965. 306 с.
3. Гончарик М.Н. Физиологическое влияние ионов хлора на растения. Минск: Наука и техника, 1968. 250 с.
4. Еремченко О.З., Кусакина М.Г., Лузина Е.В. Содержание пигментов в растениях *Lepidium sativum* в условиях хлоридно-натриевого засоления и ошелачивания // Вестн. Перм. ун-та. Сер. Биология. 2014. С. 30–36.

5. *Ермаков А.И., Арасимович В.В., Смирнов-Иконников М.И., Мурри И.К.* Методы биохимического исследования растений. М.: Сельхозгиз, 1952. 520 с.
6. *Коновалов В.Н.* Эколого-физиологические особенности сосны и ели на осушенных и удобренных торфяных почвах Севера // Мелиорация лесов Европейского Севера. Архангельск: АИЛиЛХ, 1982. С. 66–75.
7. *Коновалов В.Н.* Сезонная динамика содержания пластидных пигментов в хвое ели в связи с внесением минеральных удобрений // Журн. общ. биологии. 1988. Т. XLIX, № 5. С. 611–617.
8. *Коновалов В.Н., Веретенников А.В.* Воздействие лесных мелиораций на некоторые физиологические процессы ели северной подзоны тайги // Экология таежных лесов. Архангельск: АИЛиЛХ, 1978. С. 54–61.
9. *Коновалов В.Н., Зарубина Л.В.* Эколого-физиологические особенности хвойных на удобренных почвах. Архангельск: САФУ, 2011. 338 с.
10. *Магницкий К.П., Шугаров Ю.А., Малков В.К.* Новые методы анализа растений и почв. М.: Сельхозгиз, 1959. 240 с.
11. *Паавилайнен Э.* Применение минеральных удобрений в лесу / пер. с фин. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 96 с.
12. *Пастернак П.С., Смольянинов И.И., Угаров В.Н.* Влияние минеральных удобрений на культуры дуба и сосны // Лесн. хоз-во. 1974. № 12. С. 25–30.
13. *Победов В.С.* Применение удобрений в лесном хозяйстве. М.: Лесн. пром-сть, 1972. 201 с.
14. *Попова И.А.* Исследование пигментов пластид с помощью хроматографии на бумаге // Тр. БИН СССР. 1963. Вып. 16. С. 154–164.
15. *Раскатов П.Б.* Физиология растений с основами микробиологии: учеб. для вузов. М.: Сов. наука, 1954. 376 с.
16. *Ратнер Е.И.* Питание растений и применение удобрений. М.: Наука, 1965. 223 с.
17. *Рахтеенко Л.И., Пискунов В.С., Моисеенко Е.И.* Отзывчивость средневозрастных культур сосны на различные дозы и сроки внесения полного минерального удобрения // Повышение эффективности использования минеральных удобрений в лесном хозяйстве: материалы Всесоюз. науч.-техн. совещания. Гомель, 1984. С. 75–76.
18. *Рубин А.Б., Венедиктов П.С., Кренделева Т.Е., Пащенко В.З.* Регуляция первичных стадий фотосинтеза при изменении физиологического состояния растений // Фотосинтез и продукционный процесс. М.: Наука, 1988. С. 29–39.
19. *Савельев В.В., Нестерович М.Д.* Влияние минерального питания на фотосинтез и накопление хлорофилла // Изв. БССР. Сер. Биол. науки. 1980. № 1. С. 6–9.
20. *Стратонович А.И., Яковлев А.П.* Проявление отрицательных свойств некоторых видов удобрений при прорастании семян сосны и ели // Сб. науч. тр. Л.: Наука, 1974. Вып. 21. С. 16–26.
21. *Строгонов Б.П.* Физиологические основы солеустойчивости растений. М.: АН СССР, 1962. 366 с.
22. *Удовенко Г.В.* К вопросу о физиологической роли хлора в жизни растений // Роль минеральных элементов в обмене веществ и продуктивности растений. М.: Наука, 1964. С. 193–199.
23. *Шумаков В.С., Федорова Е.Л.* Применение минеральных удобрений в лесу. М.: Лесн. пром-сть, 1970. 89 с.
24. *Huikari O.* Afforestation of the Swam Lands of Finland // World Groops. 1978. Vol. 10, no. 1. Pp. 17–19.

25. Heikurainen L. The Effects of Manuring an Organic Soils // Proc. 5-th Colloquium on Forest Fertilization. Finland, Jyvaskyla. 1967. Pp. 197–205.

26. Marek M., Lomsky B. Vliv odlinych forem hnojeni ammonym dusikem ne fotosyntetickou produktivitu ruznych provenience smeku ztiepileho (*Picea abies* (L.) Karst.) // Lesnictvi. 1987. Vol. 33, no. 2. Pp. 109–120.

27. Ursino D.J. The translocation of ¹⁴C-photoassimilate in Single Tree Progeny of White Spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss) // Canad. J. Forest Res. 1973. Vol. 3, no. 2. Pp. 315–318.

Поступила 21.11.16

UDC 630*2:582.475

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.100

The Influence of Chlorine-Containing Fertilizers on Metabolism of Spruce and Pine in the North Taiga Plant Communities

*V.N. Konovalov*¹, *Doctor of Agricultural Sciences, Professor*

*L.V. Zarubina*², *Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor*

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: v.konovalov@narfu.ru

²Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin, ul. Pankratova, 9a, bl. 7, Molochnoe, Vologda, 160555, Russian Federation; e-mail: liliva270975@yandex.ru

The effect of potash fertilizers with a high (potassium chloride) and low (potassium sulfate) content of chlorine on the physiological processes of spruce and pine, depending on the water regime of peat soil is studied. The introduction of potassium chloride as a mineral fertilizer for trees in peat soil leads to the potassium and chlorine accumulation in the needles. Chlorine accumulates in large quantities (more than 50 %) in plants in drained soil, where the roots are well supplied with oxygen. Potassium chloride rapidly passes into the soil solution in waterlogged soil, and is carried out of the rooting horizon; so the substantial chlorine accumulation in the tree parts does not occur. The combined introduction of potassium chloride and nitrogen does not lead to the chlorine accumulation in spruce and pine, as a result of the antagonistic relationships between chlorine and nitrogen. Measuring the concentration of pigments, photosynthesis intensity, and the state of the energy-converting system demonstrates a significant decrease of these physiological parameters of plants, enriched by phosphorus-potassium fertilizers, in comparison with plants, fertilized by phosphorus only. These data suggest that the main cause of the violation of physiological and growth processes in plants is the negative effect of chloride ions on the chloroplasts; since we observe their intensification in the sites with the phosphorus introduction. The combining use of potassium chloride and potassium sulfate as a mineral fertilizing of trees confirms the assumption of a negative effect of chloride ions on woody plants, which is particularly intensified in the drained soil. The use of potassium chloride as a mineral fertilizer for trees in order to increase

For citation: Konovalov V.N., Zarubina L.V. The Influence of Chlorine-Containing Fertilizers on Metabolism of Spruce and Pine in the North Taiga Plant Communities. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 100–113. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.100

their productivity without the participation of nitrogen is the undesirable and even harmful forest management activity. This leads to the fact that the effectiveness of complex fertilizers for woody plants with chlorine-containing potash fertilizers is significantly reduced.

Keywords: chloride ion, potassium chloride, potassium sulfate, physiological process, spruce, pine, peat soil moisture.

REFERENCES

1. Artyushin L.M., Derzhavin L.M. *Kratkiy spravochnik po udobreniyam* [Quick Reference of Fertilizers]. Moscow, 1971. 288 p.
2. Voznesenskiy L.V., Zalenskiy O.V., Semikhatova O.A. *Metody issledovaniya fotosinteza i dykhaniya rasteniy* [Methods of Photosynthesis and Plant Respiration Investigating]. Moscow; Leningrad, 1965. 306 p.
3. Goncharik M.N. *Fiziologicheskoe vliyaniye ionov khlorina na rasteniya* [Physiological Effect of Chloride Ions on Plants]. Minsk, 1968. 250 p.
4. Eremchenko O.Z., Kusakina M.G., Luzina E.V. Soderzhanie pigmentov v rasteniyakh *Lepidium sativum* v usloviyakh khloridno-natrievogo zasoleniya i oshchelachivaniya [The Content of Pigments in Plants *Lepidium sativum* Under Conditions of Chloride-Sodium Salinization and Alkalinization]. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya Biologiya* [Bulletin of Perm University. Biology], 2014, no. 1, pp. 30–36.
5. Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Smirnov-Ikonnikov M.I., Murri I.K. *Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy* [Methods for Biochemical Research of Plants]. Moscow; Leningrad, 1952. 520 p.
6. Konovalov V.N. Ekologo-fiziologicheskie osobennosti sosny i eli na osushennykh i udobrennykh torfyanykh pochvakh Severa [Ecological and Physiological Characteristics of Pine and Spruce on Drained and Fertilized Peat Soils of the North]. *Melioratsiya lesov Evropeyskogo Severa* [Forest Reclamation of the European North]. Arkhangelsk, 1982, pp. 66–75.
7. Konovalov V.N. Sezonnaya dinamika sodержaniya plastidnykh pigmentov v khvoe v svyazi s vneseniem mineral'nykh udobreniy [Seasonal Dynamics of the Content of Plastid Pigments in the Needles in Connection with the Application of Mineral Fertilizers]. *Zhurnal obshchey biologii* [Biology Bulletin Reviews], 1988, vol. XLIX, no. 5, pp. 611–617.
8. Konovalov V.N., Veretennikov A.V. Vozdeystvie lesnykh melioratsiy na nekotorye fiziologicheskie protsessy eli severnoy podzony taygi [The Impact of Forest Reclamation on Some Physiological Processes of Spruce in the Northern Taiga Subzone]. *Ekologiya taezhnykh lesov* [Ecology of Taiga Forests]. Arkhangelsk, 1978, pp. 54–61.
9. Konovalov V.N., Zarubina L.V. *Ekologo-fiziologicheskie osobennosti khvoynykh na udobrennykh pochvakh* [Ecological and Physiological Characteristics of Conifers on Fertilized Soils]. Arkhangelsk, 2011. 338 p.
10. Magnitskiy K.P., Shugarov Yu.A., Malkov V.K. *Novye metody analiza rasteniy i pochv* [New Methods for the Analysis of Plants and Soils]. Moscow, 1959. 250 p.
11. Paavilaynen E. *Primeneniye mineral'nykh udobreniy v lesu* [Application of Mineral Fertilizers in a Forest]. Moscow, 1983. 96 p.
12. Pasternak P.S., Smol'yaninov I.I., Ugarov I.V. Vliyaniye mineral'nykh udobreniy na kul'tury duba i sosny [Influence of Mineral Fertilizers on Oak and Pine Cultures]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1974, no. 12, pp. 25–30.
13. Pobedov V.S. *Primeneniye udobreniy v lesnom khozyaystve* [The Use of Fertilizers in Forestry]. Moscow, 1972. 201 p.

14. Popova I.A. Issledovanie pigmentov plastid s pomoshch'yu khromatografii na bumage [The Study of Plastid Pigments Using the Paper Chromatography]. *Trudy BIN SSSR* [Proceedings of the Botanical Institute of the USSR], 1963, vol. 16, pp. 154–164.
15. Raskatov P.B. *Fiziologiya rasteniy s osnovami mikrobiologii* [Plant Physiology with the Basics of Microbiology]. Moscow, 1954. 376 p.
16. Ratner E.I. *Pitanie rasteniy i primeneniye udobreniy* [Plant Nutrition and Fertilizer Application]. Moscow, 1965. 223 p.
17. Rakhteenko L.I., Piskunov V.S., Moiseenko E.I. Otzyvchivost' srednevozzrastnykh kul'tur sosny na razlichnyye dozy i sroki vnoseniya polnogo mineral'nogo udobreniya [Responsiveness of Middle-Aged Pine Cultures to Different Doses and Terms of Complete Fertilizer Application]. *Povysheniye effektivnosti ispol'zovaniya mineral'nykh udobreniy v lesnom khozyaystve: materialy Vsesoyuz. nauch.-tekhn. soveshchaniya* [Efficiency Improvement of the Use of Mineral Fertilizers in Forestry: Proc. All-Union Sci. and Eng. Meeting]. Gomel, 1984, pp. 75–76.
18. Rubin A.B., Venediktov P.S., Krendeleva T.E., Pashchenko V.Z. Regulyatsiya pervichnykh stadiy fotosinteza pri izmenenii fiziologicheskogo sostoyaniya rasteniy [Regulation of Primary Stages of Photosynthesis when Changing the Physiological State of Plants]. *Fotosintez i produktsionnyy protsess* [Photosynthesis and Production Process]. Moscow, 1988, pp. 29–39.
19. Savel'ev V.V., Nesterovich M.D. Vliyaniye mineral'nogo pitaniya na fotosintez i nakopleniye khlorofilla [Effect of Mineral Nutrition on Photosynthesis and Chlorophyll Accumulation]. *Izv. BSSR. Ser. Biol. nauki* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Biological Sciences], 1980, no. 1, pp. 6–9.
20. Stratonovich A.I., Yakovlev A.P. Proyavleniye otritsatel'nykh svoystv nekotorykh vidov udobreniy pri prorastanii semyan sosny i eli [The Manifestation of the Negative Properties of Certain Types of Fertilizers during the Pine and Spruce Seeds Germination]. *Sb. nauch. tr. Vyp. 21* [Collection of Scientific Papers. Vol. 21]. Leningrad, 1974, pp. 16–26.
21. Strogonov B.N. *Fiziologicheskie osnovy soleustoychivosti rasteniy* [Physiological Basis of Salinity Resistance]. Moscow, 1962. 365 p.
22. Udovenko G.V. K voprosu o fiziologicheskoy roli khloro v zhizni rasteniy [On the Physiological Role of Chlorine in the Plants Life]. *Rol' mineral'nykh elementov v obmene veshchestv i produktivnosti rasteniy* [The Role of Mineral Elements in Metabolism and Productivity of Plants]. Moscow, 1964, pp. 193–199.
23. Shumakov V.S., Fedorova E.L. *Primeneniye mineral'nykh udobreniy v lesu* [The Use of Mineral Fertilizers in a Forest]. Moscow, 1970. 89 p.
24. Huikari O. Afforestation of the Swam Lands of Finland. *World Groups.*, 1978, vol. 10, no. 1, pp. 17–19.
25. Heikurainen L. The Effects of Manuring on Organic Soils. *Proc. 5th Colloquium on Forest Fertilization*. Finland, Jyvaskyla, 1967, pp. 197–205.
26. Marek M., Lomsky B. Vliv odlinykh forem hnojeni ammonym dusikem ne fotosyntetickou produktivitu ruznykh proveniencie smeku ztepileho (*Picea abies* (L.) Karst.). *Lesnictvi.*, 1987, vol. 33, no. 2, pp. 109–120.
27. Ursino D.J. The Translocation of ¹⁴C-photoassimilate in Single Tree Progeny of White Spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss). *Canad. J. Forest Res.*, 1973, vol. 3, no. 2, pp. 315–318.

Received on November 21, 2016