

ВАСИЛИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ МАТЮШКИНмладший научный сотрудник, главный инженер лесного хозяйства лаборатории лесоведения и лесоводства Института леса, Карельский научный центр РАН
*matyush@krc.karelia.ru***СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ МОШНИКОВ**кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории лесоведения и лесоводства Института леса, Карельский научный центр РАН
*moshniks@krc.karelia.ru***ИВАН АНДРЕЕВИЧ БЕРДНИКОВ**младший научный сотрудник лаборатории лесоведения и лесоводства Института леса, Карельский научный центр РАН
forest@krc.karelia.ru

ВЛИЯНИЕ ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И НАКОПЛЕНИЕ ФИТОМАССЫ КУЛЬТУР СОСНЫ НА ОСУШЕННОМ ПЕРЕХОДНОМ БОЛОТЕ

После внесения минеральных удобрений продуктивность культур сосны на осушеннем переходном болоте за 16 лет наблюдений увеличилась на 29 %. Через 16 лет после подкормки приросты в высоту и по диаметру на опыте значительно больше, чем на контроле. Годичный прирост фитомассы в культурах сосны в возрасте 31 года в 2,5–3,5 раза больше, чем на неосушеннем болоте.

Ключевые слова: осушение, торфяная залежь, лесные культуры, удобрения, продуктивность, фитомасса, углерод, опад, отпад

В настоящее время огромное внимание уделяется проблемам, связанным с глобальным изменением климата и ролью в нем углекислого газа. В связи с усиливающимся антропогенным воздействием на атмосферу все большее значение приобретает правильная оценка биосферной роли гидролесомелиорации.

При оценке запаса углерода в лесных экосистемах и его динамики наиболее часто используется биологическая продуктивность. Количественная характеристика параметров круговорота углерода в лесных экосистемах необходима для оценки их роли в глобальном углеродном цикле, что особенно актуально в связи с проблемами сохранения биопродуктивности и биосферной функции лесов.

Для целей лесного хозяйства в Карелии было осушено более 600 тыс. га, из которых 230 тыс. га составили безлесные и слабооблесенные болота. К лесокультурному фонду отнесено более 100 тыс. га, из них на 70 тыс. га были созданы лесные культуры, в основном сосны.

Целью исследований было выявление динамики роста, продуктивности и накопления фитомассы в лесных культурах сосны, созданных на осушеннем переходном болоте, после внесения минеральных удобрений. Также одной из задач опыта была оценка влияния проводимых мероприятий на биосферные процессы в сравнении с неосушенней болотной экосистемой.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследования выполнялись на Киндасовском стационаре (61°50' с. ш., 33°30' в. д., среднетаежная подзона Карелии). Болотный массив об-

щей площадью около 70 га осушен в 1969 году с расстоянием между осушителями 160 м. Почва торфяная переходная, до глубины 20 см сложена сфагновыми слабо разложившимися торфами, зольность которых – 2–4 %, кислотность pH_{KCl} – 2,6–2,9; глубже – хорошо разложившимися осоково-торфяными торфами с зольностью 5,5–7,0 % и кислотностью 3,3. Почва подготовлена путем бороздования, расстояние между бороздами – 5–6 м, глубина – 40–50 см. При нарезке борозд верхний слой почвы запахивался вглубь, а на поверхность извлекались более плотные и зольные слои. Пласти прикатывались гусеницами, таким образом, их плотность и зольность оказались несколько выше, чем междуурядий. Пробные площади заложены в 16-летних культурах сосны обыкновенной на одной межканавной полосе. Между удобренным участком и контролем оставлена буферная зона шириной 20 м. Минеральные удобрения ($\text{N}_{75}\text{P}_{125}\text{K}_{75}$ по действующему веществу) внесены в июне вручную на поверхность почвы. В качестве удобрений использованы: карбамид, двойной суперфосфат и хлористый калий. Культуры сосны имели высоту 5 м, густоту 3,2 тыс. шт. га⁻¹ и запас 32 м³ га⁻¹.

Травяно-кустарниковый покров на момент внесения минеральных удобрений был хорошо развит. После осушения обильно разрослась карликовая бересклет (Cop3), встречались клюква четырехлепестная (Cop1), пущица влагалищная (Cop1), кассандра (Cop1); степень проективного покрытия составляла 90 %. Сфагновые мхи занимали почти всю поверхность междуурядий, степень проективного покрытия – 80 %, лишь на пластиах в небольшом количестве росли мох

Плеуорозий Шребери и политрихум обыкновенный (5 %).

Таксационные работы проводились до внесения удобрений и через 5, 9 и 16 лет после подкормки. Для определения фитомассы древесного яруса каждый раз отбирались модельные деревья среднего диаметра в количестве 10 штук на каждом варианте. Всего было отобрано 80 деревьев. Сбор и обработка полевых материалов выполнялись по методике, разработанной в Институте леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР [9]. Продуктивность напочвенного покрова определялась в июле методом укосов на площадках ($0,25 \text{ м}^2$), их число составляло 40 штук в каждом варианте. Одновременно отбирали образцы всех фракций древостоя и видов напочвенной растительности на содержание в них углерода. Определение содержания углерода в образцах выполнено в аналитической лаборатории Института леса КарНЦ РАН спектрофотометрическим методом мокрого сжигания по Тюрину с использованием спектрофотометра КФК – 2МП.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При внесении комплексных минеральных удобрений создается благоприятный пищевой режим для роста растений. За счет более активной трансформации органического вещества повышается зольность верхнего слоя почвы. Внесение минеральных удобрений прежде всего оказало большое влияние на изменение ассимиляционного аппарата сосны, что выразилось в увеличении длины хвои и сухого веса 100 пар хвоинок. Указанные параметры особенно возросли по сравнению с контролем на второй год после внесения удобрений, хотя впоследствии эта разница несколько сократилась, но оставалась статистически достоверной на протяжении 5 лет.

Улучшение пищевого режима при внесении минеральных удобрений не только способствует изменению ассимиляционного аппарата, но и обуславливает улучшение роста древесных растений. Прирост сосны в высоту после проведения подкормки постепенно увеличивается по сравнению с приростом сосны контрольного насаждения. В первое пятилетие после подкормки прирост в высоту у сосны возрастает на 16 %, во второе – на 26 %, в третье – на 37 %. За весь период наблюдений (16 лет) прирост сосны в высоту на удобренном варианте был выше на 25,1 % (рис. 1). Такая же тенденция наблюдается и при сравнении приростов по диаметру на удобренном и контрольном вариантах. В первое пятилетие прирост на удобренном варианте возрастает на 14 %, во втором – на 38 %, в третьем – на 51 %, за период наблюдений в среднем на 30 % (рис. 2). Срок последействия внесения минеральных удобрений в этих условиях продолжается, приrostы сосны в высоту и по диаметру на удобренном варианте и через 16 лет больше,

чем на контроле. Это совпадает с данными ранее проведенных исследований по влиянию внесения минеральных удобрений в сосняке травяно-сфагновом [7].

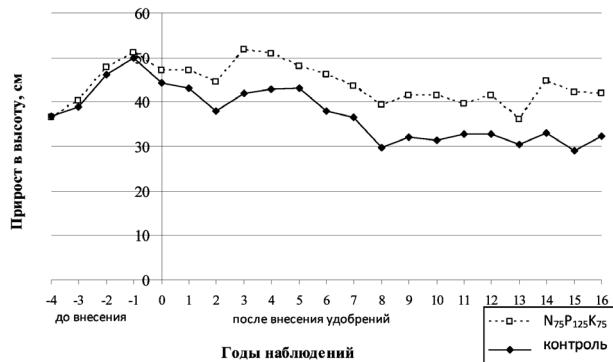


Рис. 1. Прирост культуры сосны в высоту по вариантам опыта

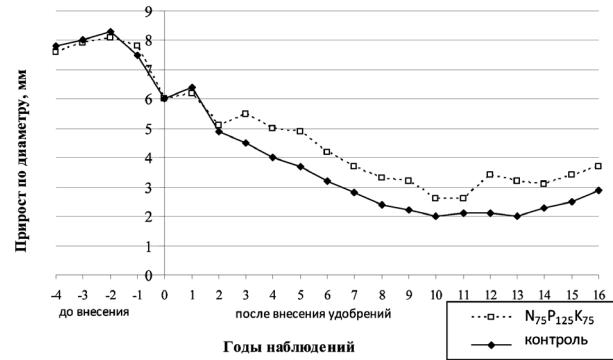


Рис. 2. Прирост культуры сосны по диаметру по вариантам опыта

По данным ряда авторов, полученных при исследовании эффекта от внесения полных минеральных удобрений на бедных верховых торфяных почвах, срок влияния подкормки на рост деревьев продолжается 7–10 лет [2], [5], [6].

Увеличение срока последействия подкормки на переходных и низинных торфах объясняется тем, что хорошо развитый напочвенный покров, где преобладает карликовая береза, обладая мощной корневой системой, перехватывает основную массу внесенных питательных веществ и закрепляет их в корнях и стволиках. Содержание элементов питания возрастает во всех фракциях напочвенного покрова [8].

Фитомасса напочвенного покрова в течение двух-трех лет после подкормки резко возрастает. Исследованиями установлено, что активность поглощения элементов питания единицей поверхности корней травяно-кустарничкового яруса в десятки раз выше, чем древесных [11]. Травянистая растительность благодаря активной поглотительной и выделительной деятельности корневых систем значительно обогащает почву подвижными элементами питания. Растения выделяют в окружающую среду до 70–90 % от общего количества поглощенных веществ. Увеличение приростов в высоту и по диаметру сосны

на удобренном варианте оказывает большое влияние на увеличение сомкнутости древесного полога, что приводит к ухудшению освещенности нижних ярусов фитоценоза; наблюдается резкое отмирание травяно-кустарничкового и мохового ярусов. При разложении опада напочвенного покрова происходит обогащение верхнего слоя почвы, увеличивается количество доступных для корневых систем элементов питания. Ранее проведенными исследованиями [4] установлено, что внесение минеральных удобрений на торфяных почвах приводит к увеличению численности и активности большей части микробной биоты. Активизация микрофлоры усиливает процессы накопления аммиачного азота и разрушения целлюлозы, соответственно, белки и углеводы растительных остатков минерализуются быстрее, высвобождающиеся элементы минерального питания включаются в биологический круговорот веществ, восполняя недостаток элементов питания в доступной для растений форме. Различия в составе и численности микрофлоры со временем увеличиваются.

Улучшение почвенного питания оказывает большое влияние на процессы роста культур сосны и повышение продуктивности насаждения, это хорошо прослеживается по изменению таксационных показателей с увеличением их возраста (табл. 1). Древостой на варианте внесения минеральных удобрений в настоящее время распределен по I,5 классу бонитета, тогда как на контроле класс бонитета II,1. За 16 лет после подкормки получен дополнительный прирост 36 м³ га⁻¹.

Таблица 1

Изменение таксационных показателей культур сосны на осушенном переходном болоте с увеличением их возраста по вариантам опыта

Возраст, лет	Породный состав	Средние		Густота, шт. га ⁻¹	Полнота		Запас, м ³ /га ⁻¹	Класс бонитета
		высота, м	диаметр, см		абсолютная, м ² га ⁻¹	относительная, м ² га ⁻¹		
Контроль (неудобренные культуры сосны)								
16*	10C	5,1	6,1	3240	9,4	0,61	32	I,0
20	10C	6,8	7,5	3080	13,9	0,70	52	II,0
24	10C	8,2	8,6	2990	17,6	0,74	72	III,0
31	10C	10,3	10,4	2790	23,6	0,87	126	II,1
Удобренные культуры сосны								
16*	10C	5,1	6,1	3190	9,3	0,61	32	I,0
20	10C	7,4	8,5	2970	16,9	0,82	71	I,9
24	10C	8,9	10,1	2770	22,2	0,89	103	II,0
31	10C	11,7	12,3	2350	28,0	0,96	162	II,5

Примечание. * – учеты сделаны до начала роста сосны.

Улучшение условий роста приводит к усилению дифференциации и увеличению отпада. Процесс изреживания насаждения на удобренном варианте идет значительно интенсивнее, чем в контрольном. За последние семь лет густота сосны уменьшилась соответственно на 420 и 220 шт. га⁻¹.

В отпад идет в основном сосна низших ступеней толщины, отставшая в росте и находящаяся под кроной более крупных деревьев. Стволы на удобренном варианте имеют хорошо развитую, густо охвоенную крону и лучшую очищаемость ствола от сучьев.

Наиболее полное представление об изменении роста и продуктивности насаждений под влиянием внесения полного минерального удобрения дает динамика накопления фитомассы. С увеличением возраста культур сосны во фракционном составе надземной фитомассы возрастает доля стволовой древесины и снижается доля хвои, что характерно как для опытного, так и для контрольного вариантов. Общая фитомасса древесного яруса заметно увеличивается, в контролльном варианте ее прирост за 16 лет составил 569 (196 %), а в опытном – 801 (267) ц га⁻¹ абсолютно сухого вещества (а. с. в.) (табл. 2). Фитомасса напочвенного покрова на опытном варианте значительно уменьшилась за счет отмирания сфагновых мхов и карликовой бересклета. Масса сфагновых мхов сократилась в 3,0 раза, бересклета карликовой – в 57,2 раза. Но если учесть, что уменьшение фитомассы бересклета карликовой и мхов происходит как на контролльном варианте, так и на опытном (на последнем более интенсивно), то можно считать, что это связано не только с влиянием удобрений, но и с ухудшением освещенности за счет увеличения сомкнутости верхнего полога. Масса сфагновых мхов на контроле уменьшилась в 1,5 раза, а бересклета карликовой – в 9,4 раза.

Годичный прирост фитомассы с увеличением возраста (с 16 лет до 31 года) лесных культур возрастает на контроле в 1,5 раза, на удобренном варианте – в 1,8 раза, при этом в фитомассе закрепляется соответственно 44,1 и 49,2 ц га⁻¹, что в пересчете на углерод составляет 21,0 и 23,1 ц га⁻¹. В то же время масса опада и отпада, поступающая на поверхность почвы, составляет 74,6 ц га⁻¹ в контролльном варианте и 97,5 ц га⁻¹ – на удобренном, в пересчете на углерод соответственно 34,7 и 45,5 ц га⁻¹.

В большинстве исследований содержание углерода в различных фракциях фитомассы принято за 45 % массы абсолютно сухого вещества в зеленых частях растений и 50 % – в стволовах, корнях и ветвях. Наши данные по содержанию углерода в различных фракциях несколько меньше (табл. 3) и близки к данным К. С. Бобковой и В. В. Тужилкиной [1] для лесов Севера.

В связи с усиливающимся антропогенным воздействием на атмосферу все большее значение приобретает правильная оценка биосферной роли гидролесомелиорации. Наибольшие споры вызывает вопрос целесообразности осушения открытых болот, являющихся местом стока углерода из атмосферы и его долговременного хранения.

Таблица 2

Изменение фитомассы, годичного прироста, опада и отпада культур сосны на осушенном переходном болоте с увеличением их возраста по вариантам опыта, в ц га⁻¹ а. с. в.

Фракции	15 лет			20 лет			24 года			31 год		
	Фитомасса	Годичный прирост	Опад и отпад	Фитомасса	Годичный прирост	Опад и отпад	Фитомасса	Годичный прирост	Опад и отпад	Фитомасса	Годичный прирост	Опад и отпад
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Контроль (неудобренные культуры сосны)

Стволы	145,0	16,6	0,3	226,8	24,0	5,2	326,8	34,3	10,8	574,0	66,2	29,6
Кrona	105,0	26,3	20,3	124,0	32,4	28,9	139,8	33,4	30,1	143,2	31,5	29,8
в т. ч. хвоя	53,6	22,3	19,4	65,7	28,7	27,6	66,0	29,6	28,6	66,4	27,6	28,2
сучья	51,4	4,0	0,9	68,3	3,7	1,3	73,8	3,8	1,5	76,8	3,9	1,6
Мертвая часть	4,2			18,4			33,0			61,2		
в т. ч. стволы	0,5			1,8			2,3			6,3		
Древостой	257,8	42,9	20,6	377,4	56,4	34,1	497,2	67,7	40,9	789,2	97,7	59,4
Кустарнички	30,2	7,6	10,8	6,6	1,6	1,7	5,7	1,4	1,6	3,2	0,8	0,9
Травы	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
Мхи	18,7	6,2	4,1	22,2	4,5	5,6	18,0	3,6	4,2	12,7	2,5	2,8
Напочвенный покров	49,7	14,6	15,7	29,6	6,9	7,5	24,3	5,6	6,4	16,4	3,0	3,2
Надземная часть	307,5	57,5	36,3	407,0	63,3	47,7	521,5	73,3	47,3	805,6	100,7	62,6
Корни деревьев	37,0	4,2	0,1	57,8	6,1	1,3	78,4	8,2	2,6	132,0	15,2	6,8
Корни кустарников	126,8	16,7	23,8	27,7	3,5	3,7	23,9	3,1	3,5	7,0	1,8	4,2
Корни трав	4,0	1,6	1,6	4,0	1,6	1,6	3,0	1,2	1,2	2,5	1,0	1,0
Подземная часть	167,8	22,5	25,5	89,5	11,2	6,6	105,3	12,5	7,3	141,5	18,0	12,0
ВСЕГО	475,6	80,0	61,8	496,5	74,5	48,8	626,8	85,8	54,6	947,1	118,7	74,6
Содержание углерода	215,9	36,3	27,2	231,5	34,7	23,0	295,2	39,9	25,2	445,2	55,7	34,7

Удобренные культуры сосны

Стволы	146,8	16,6	0,3	320,8	43,3	10,8	493,5	66,4	28,8	761,4	81,0	44,4
Кrona	107,7	27,2	21,0	138,0	35,7	31,1	158,3	37,8	33,4	184,6	38,6	34,3
в т. ч. хвоя	55,5	23,3	20,1	65,4	29,6	27,9	70,1	30,8	29,2	79,1	32,2	30,7
сучья	52,2	3,9	0,9	72,6	6,1	3,2	88,2	7,0	4,2	85,5	6,4	3,6
Мертвая часть	5,1			33,2			66,5			127,0		
в т. ч. стволы	0,9			26,8			15,9			70,5		
Древостой	262,9	43,8	21,3	492,0	60,0	41,9	706,9	104,2	62,2	1053,0	119,6	78,7
Кустарнички	28,6	8,6	7,3	34,9	7,0	10,3	0,6	0,2	0,2	0,5	0,1	0,1
Травы	0,6	0,6	0,6	8,5	8,5	8,5	1,8	1,8	1,8	2,1	2,1	2,1
Мхи	22,8	4,6	6,8	12,4	2,5	3,4	8,1	1,6	1,7	7,5	1,5	1,6
Напочвенный покров	52,0	13,8	14,7	55,8	18,0	22,2	10,5	3,6	3,7	10,1	3,7	3,8
Надземная часть	315,7	57,6	36,0	547,8	78,0	64,1	717,4	107,8	65,9	1063,1	123,3	82,5
Корни деревьев	37,4	4,2	0,1	81,8	11,0	2,8	118,3	15,9	6,9	175,0	18,6	10,2
Корни кустарников	120,1	18,9	16,1	146,6	15,2	22,7	2,5	0,4	0,4	2,2	0,2	0,2
Корни трав	3,0	1,3	1,3	40,2	18,7	18,7	7,6	4,0	4,0	8,8	4,6	4,6
Подземная часть	160,5	24,4	17,5	268,6	44,9	44,2	128,2	20,3	11,3	186,0	23,4	15,0
ВСЕГО	466,2	82,0	53,5	816,4	122,9	108,3	845,6	128,1	77,2	1246,1	146,7	97,5
Содержание углерода	211,8	37,6	23,8	373,6	55,5	48,2	397,4	60,1	35,9	586,0	68,6	41,5

Таблица 3

Содержание углерода в различных фракциях древостоя и видах растений и мхов напочвенного покрова

Содержание углерода в % а. с. в.			
Древостой		Напочвенный покров	
Фракции	«С», %	Виды	«С», %
Древесина ствола сосны	47,0	Хамедафне обыкновенная	42,6
Кора ствола сосны	48,9	Подбел многолистный	43,0
Древесина сучьев сосны	47,1	Карликовая береза	39,4
Кора сучьев сосны	46,3	Клюква четырехлепестная	42,0
Годичные побеги сосны	46,1	Пушица влагалищная	41,6
Мертвые сучья в коре	46,2	Щитовник остистый	45,5
Хвоя сосны 1-го года	45,8	Сфагнум	44,6
Хвоя сосны 2-3-го года	47,8	Политрих обыкновенный	42,3
Корни сосны тонкие	46,4	Плеурозий Шребере	42,8
Корни сосны толстые	49,0	Аулакомний болотный	42,3

Биологическая продуктивность неосущененные болот – постоянная величина, лишь изредка наблюдаются колебания, связанные с метеоусловиями конкретного года. Годичная продукция мезотрофных открытых болот Карелии, за счет которой идет пополнение запасов органического вещества в торфе, составляет 37,6–59,5 ц га⁻¹ [3]. Годичный прирост фитомассы в лесных культурах сосновы в возрасте 31 года на осушеннем переходном болоте значительно выше, чем на контроле, – 118,7, на удобренном варианте – 146,7 ц га⁻¹.

Таким образом, создание на осушеннем переходном болоте высокопродуктивных культур сосны через 20–25 лет способствует увеличению стока углерода из атмосферы по сравнению с неосушеным болотом. Годичный прирост фитомассы культур сосны в возрасте 31 года значительно (в удобренном варианте – в 2,5–4 раза, в контролльном – в 2–3 раза) превышает прирост фитомассы открытого неосущенного болота.

ВЫВОДЫ

Улучшение минерального питания способствует формированию развитого фотосинтетического аппарата, что в конечном итоге приводит к увеличению прироста сосновы по высоте, диаметру и запасу. За 16 лет после внесения минеральных удобрений получен дополнительный прирост по запасу в размере 36 м³ га⁻¹. С увеличением срока давности проведения осушки и подкормки меняется фракционный состав фитоценоза, возрастает роль древесного полога, уменьшается напочвенный покров. Общая фитомасса на удобренном варианте значительно больше, чем в контроле, соответственно 1246,1 и 947,1 ц га⁻¹. Годичный прирост фитомассы в культурах сосновы в возрасте 31 года в 2,5–3,5 раза больше, чем на неосушеннем болоте, что особенно значимо в связи с усиливающимся антропогенным воздействием на атмосферу. Последействие внесения минеральных удобрений в лесные культуры сосновы на осушеннем переходном болоте продолжается и через 16 лет, приросты в высоту и по диаметру на опытном варианте больше, чем на контролльном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобкова К. С., Тужилкина В. В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология. 1991. № 3. С. 3–10.
2. Валк У. А. Опыт по удобрению насаждений в Эстонской ССР // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тез. докл. Всесоюз. совещ. Архангельск: Архангельский институт леса и лесохимии, 1986. С. 5–6.
3. Елина Г. А., Кузнецова О. Л., Максимов А. И. Структурно-функциональная организация и динамика болотных экосистем Карелии. Л.: Наука, 1984. 128 с.
4. Загуральская Л. М., Клейн Л. А. Изменение микробиологических процессов в торфяной почве переходного типа под влиянием рубок // Научные основы повышения эффективности использования болот Карелии. Петрозаводск: КФАН ССР, 1982. С. 29–35.
5. Ипатьев В. А., Блинцов И. К. Некоторые вопросы удобрения осушенных лесов БССР // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Тез. докл. Всесоюз. совещ. Гарту, 1977. С. 74–78.
6. Матюшкин В. А. Внесение минеральных удобрений и формирование сосновняка кустарничково-сфагнового на бедной верховой торфяной почве // Лесоводственно-экологические аспекты хозяйственной деятельности в лесах Карелии. Петрозаводск: КНЦ РАН, 2005. С. 8–18.
7. Матюшкин В. А., Скородюкова О. Н. Изменение процессов формирования и продуктивности сосновняка травяно-сфагнового на торфяной почве под воздействием проведения лесохозяйственных мероприятий // Лесоводственно-экологические аспекты хозяйственной деятельности в лесах Карелии. Петрозаводск: КНЦ РАН, 2005. С. 19–33.
8. Медведева В. М., Морозова Р. М., Матюшкин В. А., Корчагина М. П. Минеральное питание и рост сосновы в культурах на осушенном переходном болоте при внесении удобрений // Лесоведение. 1994. № 2. С. 3–12.
9. Поздняков Л. К., Протопопов В. В., Горбатенко В. М. Биологическая продуктивность лесов средней Сибири и Якутии. Красноярск, 1969. 155 с.
10. Саковец В. И., Германова Н. И., Матюшкин В. А. Экологические аспекты гидролесомелиорации в Карелии. Петрозаводск: КНЦ РАН, 2000. 155 с.
11. Якушев Б. И. О механизме поглощения растениями элементов минеральной пищи из почвы // Эколого-физиологические основы взаимодействия растений в фитоценозах. Минск: Наука и техника, 1976. С. 117–123.