

Влияние экстрактивных компонентов древесной зелени ели на рост и развитие сеянцев сосны обыкновенной

© 2025. С. К. Стеценко¹, к. б. н., с. н. с., Е. М. Андреева¹, к. б. н., с. н. с., Т. В. Хуршкайнен², к. х. н., в. н. с., М. В. Ермакова¹, д. с-х. н., в. н. с., А. В. Кучин², д. х. н., академик РАН, г. н. с., Г. Г. Терехов¹, д. с-х. н., в. н. с.,

¹Ботанический сад УрО РАН, 620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202а, ²Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167000, Россия, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 48, e-mail: stets_s@mail.ru

Представлены результаты двухлетнего эксперимента по выращиванию в условиях лесного питомника сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) из семян, прошедших предпосевную обработку экстрактивными веществами, выделенными из древесной зелени ели эмульсионным способом. В составе кислых компонентов преобладают фенольные кислоты, нейтральные компоненты древесной зелени ели содержат эфирные масла, полипrenoлы, каротиноиды и другие биологически активные вещества. В эксперименте оценивали биометрические параметры и развитие сеянцев сосны: у однолетних растений определяли интенсивность микорризации корней, у двухлетних сеянцев исследовали элементный состав хвои и плотность древесины стволиков. При анализе хвои сосны выявлено более высокое содержание калия в паре К-Са при применении кислых компонентов биопрепарата, что указывает на более активные фотосинтетические процессы и транспорт ассимилянтов к органам растения, обеспечивающие активный рост сеянцев в этом варианте. Кислые компоненты в дозе 0,5 г/кг семян стимулируют рост сеянцев сосны при отставании процесса уплотнения клеток и одревеснения прироста. Нейтральные компоненты ели оказывают положительное влияние на формирование основных морфометрических характеристик и физических свойств древесины сосны, в дозе 0,012 г/кг семян способствуют повышению сохранности сеянцев в неблагоприятных погодных условиях. Сделан вывод о необходимости более углублённого изучения действия нейтральных компонентов древесной зелени ели на сеянцы сосны, поскольку они способствовали как активизации ростовых процессов, так и формированию оптимальных физических параметров растений.

Ключевые слова: древесная зелень ели, экстрактивные вещества, сеянцы сосны, элементный состав хвои, плотность древесины.

The effect of extractive compounds of spruce greenery on the growth and structural features of *Pinus sylvestris* seedlings

© 2025. S. K. Stetsenko¹ ORCID: 0000-0002-4885-3817, E. M. Andreeva¹ ORCID: 0000-0003-2651-2541, T. V. Hurshkainen² ORCID: 0000-0003-2710-243X, M. V. Ermakova¹ ORCID: 0000-0002-9894-6587, A. V. Kuchin² ORCID: 0000-0003-4322-7961, G. G. Terekhov¹ ORCID: 0000-0002-2312-9224

¹Botanical Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 202a, 8 Marta St., Ekaterinburg, Russia, 620144,

²Institute of Chemistry Komi Science Center Ural Division of RAS, 48, Pervomaiskaya St., Syktyvkar, Russia, 167000, e-mail: stets_s@mail.ru

The results of a two-year experiment on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings growing in a forest nursery are presented. Pine seeds were pre-treated with extractives (neutral and acidic components) isolated by emulsion method from spruce green left after timber harvesting. Phenolic acids dominated in acidic components. Essential oils, polyprenols, carotenoids and other biologically active substances are among the neutral components of spruce greenery. We assessed biometric parameters and structural features of seedlings. The intensity of mycorrhization of roots was determined in 1-year-old seedlings, and the elemental composition of needles and the wood density of stems were studied in 2-year-old seedlings. The analysis of pine needles revealed a higher potassium content in the K-Ca pair when acidic components of the biopreparation were applied. This indicates more active photosynthetic processes and transport of assimilates to the plant organs, providing active growth of seedlings in this variant. Acidic components at a dose of 0.5 g/kg of seeds stimu-

late the growth of seedlings when the process of cell hardening and lignification of increment lags. Neutral components have a positive effect on the formation of the main morphometric characteristics and physical properties of wood. At a dose of 0.012 g/kg of seeds, they increase seedlings preservation in adverse weather conditions. Based on the totality of the studied characteristics, a more in-depth study of neutral components effect is necessary, since neutral components of spruce greenery had a positive effect on seedlings preservation and contributed to both the activation of growth processes and the formation of optimal physical parameters of plants.

Keywords: spruce greenery, extractives, pine seedlings, elemental composition of needles, wood density.

Лесные питомники Свердловской области в настоящее время представлены относительно небольшими участками территорий с длительным сроком эксплуатации, где происходит возделывание монокультуры – сосны или ели. Севообороты при недостатке агротехнических ресурсов не приводят к необходимому уровню плодородия, способствующему получению качественной лесорастительной продукции. Негативным фактором, сопровождающим выращивание семян, является накопленное с годами пестицидное загрязнение пахотного слоя почвы [1]. Погодные условия последних лет – несколько засушливых периодов подряд – крайне ухудшают условия роста культивируемых растений. В то же время, семена, получаемые из лесного питомника, должны обладать требуемыми размерами надземной части и достаточно развитой корневой системой, способной снабдить растение необходимым количеством влаги и минеральных веществ во время сложного периода их пересадки в лесную среду. Сложившаяся ситуация делает актуальными разработку, испытание и включение новых технологических приёмов, обеспечивающих экономическую обоснованность получения растительной продукции.

Одним из способов решения проблемы становится разработка новых биопрепаратов, улучшающих условия роста семян, формирование защитных механизмов от фитопатологических агентов и активизацию метаболических реакций [2–7]. Развитие этого научно-практического направления объясняется многими факторами: необходимостью переработки отходов лесозаготовок; получения биостимуляторов из растительного сырья экономически оправдано, т. к. их стоимость ниже синтетических аналогов; продукты из растительного сырья легко разлагаются или перерабатываются растительными организмами и не загрязняют окружающую среду [8].

В Институте химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар, Россия) разрабатываются и успешно внедряются регуляторы роста растений, получаемые экологически безопасным способом эмульсионной экстракции из древесной зелени хвойных пород (пихты, ели,

сосны), которые подтвердили свою эффективность при выращивании как сельскохозяйственных растений, так и хвойных семян [9]. Эти препараты содержат различные классы природных соединений. Росторегулирующими свойствами могут обладать не все вещества-компоненты, входящие в состав исходного экстракта [10]. Поэтому для понимания механизма и специфики воздействия регулятора роста на выращиваемую культуру необходимо выявление в нём соединений, проявляющих биологическую эффективность.

Эмульсионный экстракт древесной зелени ели, на основе которого был разработан препарат Вэрва-ель, включает в себя ряд биологически активных веществ, составляющих фракции нейтральных и кислых соединений [11].

Цель работы – изучить степень проявления стимулирующего эффекта компонентов эмульсионного экстракта древесной зелени ели на рост и качество семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

Объекты и методы исследований

Для проведения исследований были подготовлены образцы кислых (КК) и нейтральных (НК) экстрактивных компонентов, выделенных из эмульсионного экстракта древесной зелени ели [11]. В составе КК ели преобладают фенольные кислоты (*para*-кумаровая, ванилиновая, кофейная, феруловая). Основной компонент *para*-гидроксиацетофенон известен бактерицидной и фунгицидной активностью [12]. Нейтральные компоненты ели содержат эфирные масла, полипренолы, каротиноиды и другие биологически активные вещества [11].

Влияние компонентов эмульсионного экстракта древесной зелени ели на семена сосны изучали в Балтымском лесном питомнике (Свердловская область). Почва экспериментального участка по механическому составу суглинков лёгкий крупно-пылеватый. Содержание гумуса в почве питомника 4,5–5,3%, $pH_{\text{вод}}$ – 4,5–4,6, содержание подвижных форм фосфора и калия (мг/100 г почвы) 2,4–6,9 и

9,4–12,4 соответственно. Общий азот – 0,5–3,2 мг/100 г почвы. Почва питомника – средне и слабо окультуренная для возделывания лесных пород [13].

Семена перед посевом замачивали в течение 6 ч в растворах НК в дозах 0,012 и 0,12 г/кг; в растворах КК – в дозах 0,05 и 0,5 г/кг; в контроле – в дистиллированной воде. 6-строчный посев семян выполняли в опытные площадки размером 1,5×1,0 м. Норма высева семян – 1,5 г/пог. м. Агротехнические уходы за посевами проводили своевременно в полном объёме (рыхление почвы, удаление сорной растительности, полив при необходимости).

Сеянцы выращивали два года. Ежегодно в сентябре отбирали совокупность растений для изучения основных биометрических параметров (высота и диаметр стволика, длина корня). У однолетних сеянцев учитывали плотность сосущих и проводящих корней, а также эктомикоризных окончаний. Определяли плотность корешков на единицу длины корня и интенсивность микоризации, как соотношение количества микоризованных корней к общему количеству поглощающих корней [14].

Для проведения элементного анализа отбирали образцы хвои опытных и контрольных растений. Для сравнения выполняли анализ хвои двухлетних сеянцев из посева, который выполнялся работниками лесничества – производственный посев (ПП). Цель включения ПП в группу сравнения – изучение состояния сеянцев, выращиваемых без применения стимуляторов и регулярного агротехнического ухода. Биометрические показатели сеянцев ПП: высота стволика 7,6 см, толщина стволика 1,7 мм, длина главного корня 20,6 см. По значению высоты эти сеянцы являются нестандартными, и их необходимо оставлять ещё на год до достижения ими требуемых размеров.

Для элементного анализа образцы хвои двухлетних сеянцев сосны сушили в сушильном шкафу, затем озоляли в муфельной печи при 550 °С с шагом 3 °/мин в течение 6 ч. Анализ микро- и макроэлементов выполняли на рентгенофлуоресцентном анализаторе MESA 500W фирмы Horiba (Япония).

Базисную плотность древесины стволиков двухлетних сеянцев определяли по методу максимальной влажности [15]. Стволики разделяли на две части, соответствующие приросту первого (2021) и второго (2022) года. Каждую часть анализировали отдельно. Массу определяли с точностью до 0,0001 г.

Для изученных показателей рассчитали среднее значение и ошибку среднего; достовер-

ность различий средних значений установили с помощью t-критерия Стьюдента ($t_{\text{факт}}$ должен быть больше или равно $t_{\text{теор}}$ для данного числа наблюдений, чтобы гипотеза была верна). При расчётах использовали пакет программ Statistica 8.0.

Результаты и обсуждение

Особенности вегетационного периода оказывают значительное влияние на ответную реакцию сеянцев при применении биостимуляторов. В период активного роста сеянцев в высоту, который происходит со второй половины мая до конца июня [16], действие биостимулятора будет максимально эффективным только при достаточном снабжении растения влагой [17]. Мониторинг погодных условий за первые два месяца вегетационного периода показал, что в первый год появление всходов, начало роста корней и надземной части сеянцев происходило в засушливый период: за май и июнь выпало 64 мм осадков при средних многолетних показателях 119 мм; во второй год было прохладно (на 1,2 °С ниже нормы) и количество осадков превышало средние многолетние значения на 34% [18, 19].

У растений, выросших с применением низких концентраций НК и КК, сохранность сеянцев в конце первого вегетационного сезона была выше этого показателя в контрольном варианте на 61 и 87% соответственно (табл. 1). Во второй год роста сохранность сеянцев резко снизилась в контроле и в варианте с применением КК в дозе 0,05 г/кг. Обработка КК в дозе 0,5 г/кг снизила выход сеянцев менее значительно, но это, вероятно, связано с тем, что в первый год роста произошёл сильный отпад растений в этом опыте. Таким образом, обработка НК положительно влияет на сохранность сеянцев сосны.

Биометрические показатели сеянцев, установленные в конце вегетационных сезонов, приведены в таблице 2.

У однолетних растений сосны выраженное стимулирующее влияние экстрактов, несмотря на засушливые условия роста, отмечено в варианте с НК в дозе 0,12 г/кг: высота сеянцев и длина главного корня намного превышали те же показатели в контрольной группе ($t_{\text{факт}}$ был 7,80 и 4,04 при $t_{\text{теор}}=2,00$ соответственно). Диаметр стволика в этом же варианте также был значительно больше ($t_{\text{факт}}=3,53$ при $t_{\text{теор}}=2,00$). Высота растений в других опытных вариантах оказалась меньше или немного больше высо-

Таблица 1 / Table 1

Сохранность сеянцев сосны, обработанных экстрактивными компонентами эмульсионного экстракта ели, шт./пог. метр / Preservation of pine seedlings treated with extractive components of emulsion spruce extract, pcs/linear meter

Вариант Variant	Доза, г/кг семян Dose, g/kg of seeds	Сохранность сеянцев сосны, шт./пог. м / Pine seedlings preservation, pcs/linear meter		Снижение сохранности относительно первого года, % Decrease in preservation compared to the first year, %
		первый год first year	второй год second year	
Контроль Control	0,0	119,2	39,4	67,0
Нейтральные компоненты Neutral components	0,012	192,6	109,5	43,1
	0,12	107,5	83,4	22,4
Кислые компоненты Acidic components	0,05	223,5	56,5	74,7
	0,5	88,2	87,7	0,6

Таблица 2 / Table 2

Биометрические показатели сеянцев сосны обыкновенной в лесном питомнике, выращенных с применением экстрактивных компонентов эмульсионного экстракта ели / *Pinus sylvestris* seedlings biometric parameters in a forest nursery grown with extractive components of spruce emulsion extract

Показатель Parameter	Контроль Control	Нейтральные компоненты, г/кг семян Neutral components, g/kg of seeds		Кислые компоненты, г/кг семян Acidic components, g/kg of seeds	
		0,012	0,12	0,05	0,5
1-летние сеянцы / 1-year-old seedlings					
Высота, см / Height, cm	3,40±0,15	2,90±0,12*	4,90±0,12*	2,90±0,13*	4,00±0,21*
Диаметр стволика, мм Stem, mm	0,90±0,04	0,90±0,03	1,10±0,04*	1,00±0,03	1,10±0,05*
Длина главного корня, см Root length, cm	17,4±0,9	18,8±0,6	21,7±0,6*	23,9±0,6*	18,7±0,9
2-летние сеянцы / 2-year-old seedlings					
Высота, см / Height, cm	11,1±0,6	10,1±0,4	14,8±0,8*	11,0±0,5	18,7±0,6*
Диаметр стволика, мм Stem, mm	2,50±0,12	2,00±0,06*	2,30±0,12	2,10±0,10*	2,70±0,15
Длина главного корня, см Root length, cm	18,7±0,4	21,9±0,5*	20,3±0,7*	21,5±0,5*	20,7±0,7*

Примечание: * – достоверные различия ($p < 0,05$) между контрольным и опытными вариантами.
 Note: * – significant differences ($p < 0,05$) between the control and experimental variants.

ты контрольных сеянцев, однако различия были недостоверными. Главный корень был длиннее контрольного во всех вариантах обработки, статистически значимые различия с контрольными растениями были отмечены в вариантах НК 0,12 г/кг и КК 0,05 г/кг семян – $t_{\text{факт}} = 4,04$ и $6,13$ соответственно при $t_{\text{теор}} = 2,00$.

Развитие корневой системы однолетних сеянцев сосны оценивали по показателю плотности корней второго порядка и по степени микоризации сосущих корешков (рис. 1). Общее

количество боковых корней было одинаковым в контроле и при применении высоких доз НК и КК. Соотношение сосущих и поглощающих корней при использовании КК в дозе 0,5 г/кг аналогично контролю. Заселение корневых окончаний микоризными грибами у опытных сеянцев шло более медленными темпами, чем у контрольных растений. Подобный эффект – более низкая скорость микоризообразования у растений, растущих с применением биостимуляторов, ранее отмечалась у однолетних сеянцев сосны [20]. Слабое развитие боковых корней

показали сеянцы в варианте НК 0,012 г/кг, что сопровождалось более высокой степенью микоризации корневых окончаний относительно других опытных вариантов.

Достаточное количество осадков в начале второго вегетационного сезона стало благоприятным условием для роста сеянцев в высоту: прирост в контрольном варианте и при применении НК в дозе 0,012 г/кг составил в среднем 7,5 см. В опытах с высокими дозами компонентов обоих видов отмечена существенная прибавка размеров стволика – от 9,9 до 14,7 см. Отличие значения высоты стволика в вариантах с компонентами от его размеров в контроле было достоверным – $t_{факт}$ изменялся от 3,67 до 8,66 при $t_{теор} = 2,00$. В варианте КК в дозе 0,05 г/кг семян высота стволика сеянцев не отличалась от контроля, однако прирост за второй год был больше.

В варианте НК в дозе 0,012 г/кг сеянцы сосны характеризовались наименьшей толщиной стволика, однако в этой совокупности растений отмечена наибольшая длина главного корня (при сравнении с контролем $t_{факт} = 4,84$ при $t_{теор} = 2,00$). В остальных вариантах размеры корня были больше, но отличие было не существенным, толщина стволика достоверно не отличалась от контрольного значения.

Для выявления действия стимуляторов на уровне биохимических реакций растений

был выполнен элементный анализ хвои двухлетних сеянцев сосны. Минеральные вещества обеспечивают течение многих метаболических реакций в растениях, а также входят в состав их органов как самостоятельные элементы и в составе органических соединений, способствуя накоплению массы растительной продукции.

Анализ показал, что в образцах всех вариантов преобладают Ca, K, P, Mg и Si (рис. 2). Содержание остальных элементов не превышает 5%-ного уровня. В опытных и контрольном вариантах отмечено относительно высокое содержание K в сравнении с другими элементами. Максимальное накопление K установлено в золе сеянцев с обработкой КК.

Характер накопления Ca обратно пропорционален содержанию K – менее всего этот элемент накапливался в хвое при влиянии КК. Содержание Ca в хвое растений ПП значительно выше, чем в опытных образцах. Количество K в этой группе растений меньше, чем кальция. Калий выполняет важную роль в метаболических реакциях в хлоропластах, регулирует содержание органических кислот [21]. Кальций частично выполняет функции, противоположные K, и ингибирует его реакции. Кальций входит в состав пектиновых веществ, составляющих стенки отдельных клеток. Отмечено, что к концу вегетационного

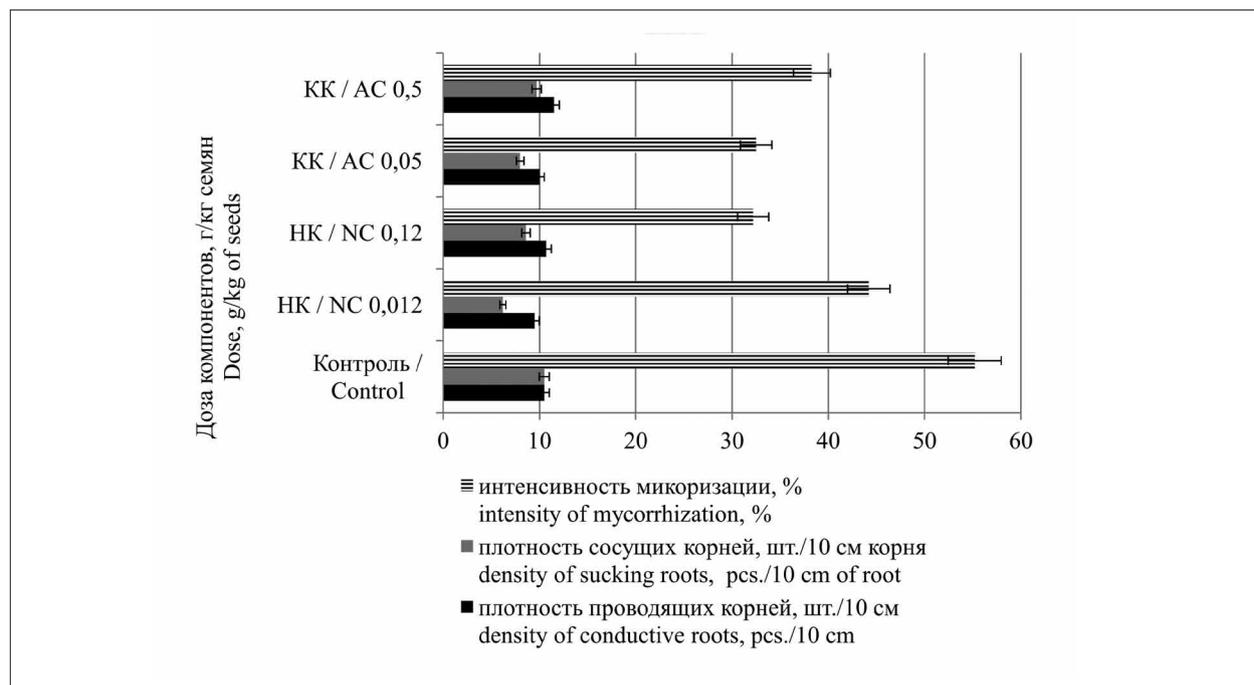


Рис. 1. Структурные особенности корневой системы и её микоризация у однолетних сеянцев сосны. НК – нейтральные компоненты, КК – кислые компоненты
Fig. 1. Structural features of the root system and its mycorrhization in 1-year-old pine seedlings. NC – neutral components, AC – acidic components

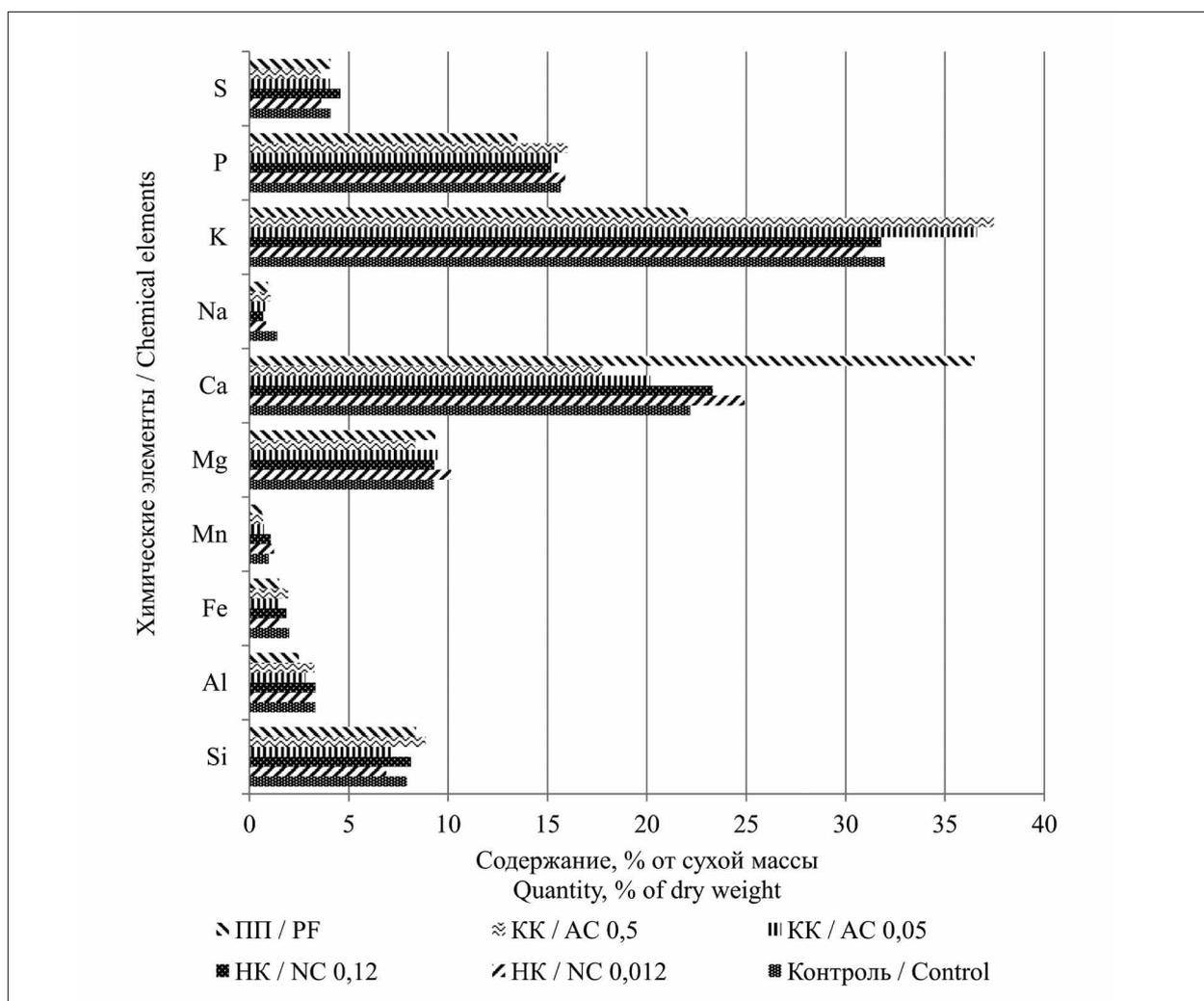


Рис. 2. Содержание элементов в хвое у двухлетних сеянцев сосны обыкновенной. НК – нейтральные компоненты, КК – кислые компоненты, ПП – производственный посев
Fig. 2. Element content in the needles of 2-year-old pine seedlings. NC – neutral components, AC – acidic components, PF – seedlings from a production field

периода происходит аккумуляция Са в растениях [22].

Известно, что в растущей хвое преобладает К, а в стареющей – Са [23]. Известно, что калий через стимулирование работы хлоропластов участвует в поддержании фотосинтетических процессов и играет важную роль в транспорте ассимилянтов к органам растения [21], тем самым обеспечивая активный рост сеянцев в опытных вариантах. В большей степени этот процесс выражен у сеянцев под воздействием КК в обеих дозах. Соотношение К-Са в хвое сосны из ПП, а также пониженное содержание в ней Р, который расходуется в процессе синтеза нуклеиновых кислот и белков, говорит о том, что активность ростовых процессов в этой группе растений уже снижена.

Биохимический статус сеянцев может оказывать влияние на плотность древесины –

одну из основных качественных характеристик получаемых в питомниках сеянцев сосны и саженцев в последующих лесных культурах. Обычно это свойство анализируется в саженцах, но при определении этого показателя в двухлетних растениях можно судить о скорости и направлении морфоструктурного развития сеянцев под влиянием различных факторов роста.

Различия в плотности древесины между сеянцами из контрольного варианта и сеянцами из ПП отсутствуют (табл. 3). Наибольшая плотность участков стволика, относящихся к первому и второму году, была отмечена в вариантах с применением НК в двух дозах и КК в низкой дозе.

Плотность стволика в варианте КК 0,5 г/кг в приросте первого года была достоверно наименьшей в сравнении с остальными вариантами.

Таблица 3 / Table 3

Плотность древесины двухлетних сеянцев сосны обыкновенной (кг/м³), выращенных с применением экстрактивных компонентов эмульсионного экстракта ели / Wood density of 2-year-old pine seedlings (kg/m³) grown with extractive components of spruce emulsion extra

Вариант (доза, г/кг семян) Variant (dose, g/kg of seeds)	Плотность прироста стволика за 1-й год Wood density of stem increment at 1st year	Плотность прироста стволика за 2-й год Wood density of stem increment at 2nd year
Контроль / Control	417,0±3,0	333,0±3,7
НК 0,012 / NC 0.012	452,0±3,0*	342,0±0,9*
НК 0,12 / NC 0.12	443,0±2,2*	344,0±1,0*
КК 0,05 / AC 0.05	441,0±2,0*	344,0±0,9*
КК 0,5 / AC 0.5	403,0±2,1*	336,0±0,7
ПП / Seedlings from a production field	415,0±2,0	336,0±0,8

Примечание: * – различия между контрольным и опытными вариантами достоверны (p<0,05). НК – нейтральные компоненты, КК – кислые компоненты, ПП – производственный посев

Note: * – differences between control and experimental variants are reliable (p<0.05). NC – neutral components, AC – acidic components, PF – seedlings from a production field.

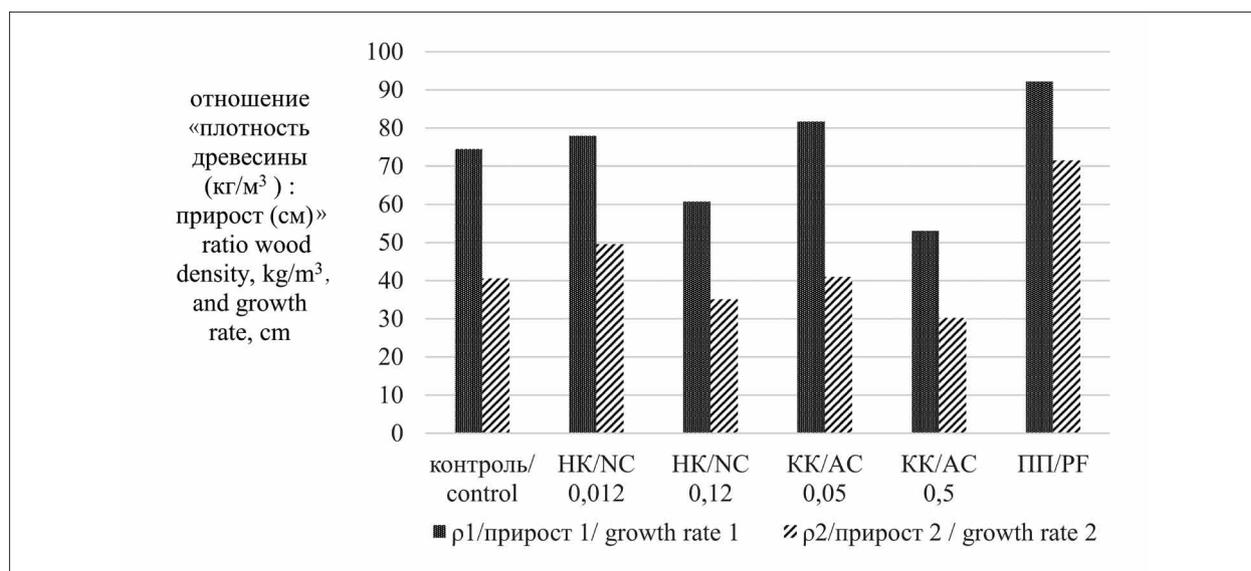


Рис. 3. Отношение плотности древесины (кг/м³) и величины прироста (см) сеянцев сосны: ρ1 – плотность древесины побега первого года (прирост 1); ρ2 – плотность древесины побега второго года (прирост 2). НК – нейтральные компоненты, КК – кислые компоненты, ПП – производственный посев
Fig. 3. Ratio of wood density (kg/m³) and growth rate (cm) of pine seedlings: ρ1 – wood density of the first year shoot (increment 1); ρ2 – wood density of the second year shoot (increment 2).
NC – neutral components, AC – acidic components, PF – seedlings from a production field

ми. Однако, в приросте второго года плотность стволика не отличалась от контроля (табл. 3).

Сопоставляя высоту однолетних сеянцев (табл. 2) с данными по плотности древесины (табл. 3) в вариантах НК 0,12 г/кг и КК 0,5 г/кг можно отметить, что при применении нейтральных компонентов сеянцы сосны развивались более гармонично – ускоренный рост в высоту сопровождался выраженным уплотнением стволика. В варианте с кислыми компонентами при интенсивном росте стволика в высоту плотность стволика формировалась более замедленными темпами. На второй год

при применении НК тоже отмечено уплотнение стволика.

Изучение соотношения плотности приростов стволика по годам с их длиной показало, что тенденция изменения этого показателя одинакова – он уменьшается на второй год роста во всех вариантах эксперимента (рис. 3). По величине этот показатель выше в ПП.

В опытных вариантах с применением небольших доз компонентов (НК 0,012 и КК 0,05) плотность на единицу длины стволика не имела выраженных различий с этим показателем в контроле. В опытных вариантах с

использованием высоких доз, по сравнению с контролем, этот показатель уменьшается, особенно в варианте с КК, что, вероятнее всего, указывает на более активный рост в высоту и некоторое отставание процесса уплотнения клеток и одревеснения прироста. Последнее согласуется с выводами по динамике элементного состава хвои – интенсивность метаболических процессов, определяющих рост растения, более выражена в варианте с применением КК в дозе 0,5 г/кг семян.

Заключение

Включение экологически безопасных биопрепаратов в агротехнику выращивания сосны обыкновенной в лесном питомнике способствует улучшению качества и объёмов получаемой растительной продукции. Предпосевная обработка НК в дозе 0,012 г/кг семян положительно влияет на сохранность однолетних сеянцев сосны в условиях неблагоприятного начала вегетационного сезона. Нейтральные компоненты в дозе 0,012 г/кг и КК в дозе 0,5 г/кг семян эффективнее стимулируют рост однолетних сеянцев сосны. Экстракты древесной зелени ели положительно повлияли на длину главного корня у опытных сеянцев сосны, а интенсивность микоризации корневых окончаний была ниже по сравнению с контролем.

Во второй год роста опытные сеянцы сосны показали интенсивный прирост стволика по высоте: в варианте НК 0,12 г/кг семян размеры стволика были больше контроля на 33%, а в варианте КК 0,5 г/кг семян – на 68%.

Элементный анализ хвои двухлетних сеянцев сосны показал, что характер распределения пары К-Са в опытных вариантах с применением КК указывает на более активно протекающие метаболические процессы, связанные с ростом сеянцев. При этом активный рост в высоту сопровождается некоторым отставанием процесса уплотнения клеток и одревеснения прироста.

Таким образом, влияние компонентов древесной зелени ели на растения сосны обыкновенной подтверждается на уровне биохимических процессов, приводящих к изменениям в формировании морфометрических показателей и физических свойств древесины сеянцев сосны. По совокупности изученных характеристик необходимо более глубокое изучение влияния НК, которые положительно повлияли на сохранность сеянцев и способствовали как активизации ростовых процессов, так и формированию оптимальных физических параметров растений сосны.

Работа выполнена за счёт гранта Российского научного фонда № 21-73-20091, изучение физических свойств древесины сеянцев проведено в рамках государственного задания ФГБУН Ботанический сад УрО РАН». Авторы выражают благодарность старшему инженеру-технологу лаборатории химии минерального сырья Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН С.Т. Неверову за проведение элементного анализа.

Литература

1. Родин А.З., Попова Н.Я., Стукушин М.Н., Лободюк В.Д., Кандыба Е.В. Биологический способ реабилитации почв, подвергающихся интенсивной химизации в лесных питомниках // Лесной вестник. 1998. № 3. С. 104–107.
2. Colla G., Roupheal Y. Biostimulants in horticulture // Sci. Hortic. 2015. V. 196. P. 1–2. doi: 10.1016/j.scienta.2015.10.044
3. Егорова А.В., Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В. Влияние хвойного препарата на рост и элементный состав сеянцев *Pinus sylvestris* L. в условиях лесного питомника // Химия растительного сырья. 2017. № 2. С. 171–180. doi: 10.14258/jcprgm.2017021720
4. Кириенко М.А., Гончарова И.А. Пролонгированное влияние стимуляторов роста на морфометрические показатели трёхлетних сеянцев основных лесообразующих видов Средней Сибири // Сибирский лесной журнал. 2018. № 1. С. 65–70. doi: 10.15372/SJFS20180107
5. Гродницкая И.Д., Полякова Г.Г., Сенашова В.А., Пашкеева О.Э., Пашенова Н.В., Антонов Г.И., Баглаев А.Ю. Влияние обработки семян сосны обыкновенной биопрепаратами на повышение качества посадочного материала в лесных питомниках Красноярского края // Сибирский лесной журнал. 2021. № 3. С. 3–16. doi: 10.15372/SJFS20210301
6. Горбунова С.В., Сеньков А.О., Файзулин Д.Х. Опыт применения гуминового препарата при выращивании сеянцев хвойных пород с закрытой корневой системой в условиях Архангельской области // Сибирский лесной журнал. 2022. № 1. С. 41–51. doi: 10.15372/SJFS20220104
7. Яхин О.И., Лубянов А.А., Яхин И.А. Современные представления о биостимуляторах // Агрохимия. 2014. № 7. С. 85–90.
8. Горбылева Е.Л., Боровский Г.Б. Биостимуляторы роста и устойчивости растений терпеноидной природы и другие биологически активные соединения, полученные из хвойных пород // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8. № 4. С. 32–41. doi: 10.21285/2227-2925-2018-8-4-32-41
9. Хуршкайнен Т.В., Андреева Е.М., Стеценко С.К., Терехов Г.Г., Кучин А.В. Влияние биопрепаратов Вэрва и Вэрва-ель на рост сеянцев сосны обыкновенной //

Химия растительного сырья. 2019. № 1. С. 295–300. doi: 10.14258/jcpr.2019014248

10. Тарасов С.С., Михалёв Е.В., Речкин А.И., Крутова Е.К. Регуляторы роста и развития растений: классификация, природа и механизм действия // Агробиохимия. 2023. № 9. С. 65–80. doi: 10.31857/S0002188123090120

11. Hurshkainen T.V., Nikonova N.N., Nazarova Y.I., Shirokikh A.A., Bokov N.A., Shirokikh I.G., Kuchin A.V. Study of biocidal properties in extractive substances from coniferous wood greenery // Химия растительного сырья. 2025. № 1. doi: 10.14258/jcpr.20250115053

12. Хуршкайнен Т.В., Скрипова Н.Н., Кучин А.В. Сравнительная оценка экстракционного оборудования для эффективного выделения экстрактивных веществ хвойной древесной зелени // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 1. С. 25–30. doi: 10.25750/1995-4301-2017-1-025-030

13. Наставления по выращиванию посадочного материала древесных и кустарниковых пород в лесных питомниках Уральского региона. М.: ВНИИЦлесресурс, 1998. 172 с.

14. Веселкин Д.В. Функциональное значение микоризообразования у однолетних семян сосны и ели в лесных питомниках // Вестник ОГУ. 2006. № 4S (54). С. 12–18.

15. Использование ядерной древесины в лесоводственных исследованиях. Методические рекомендации / Под ред. И.А. Турчинской. Л.: ЛенНИИЛХ, 1988. 43 с.

16. Смирнов В.В. Сезонный рост главнейших древесных пород. М.: Наука, 1964. 167 с.

17. Hurshkainen T.V., Stetsenko S.K., Andreeva E.M., Shkurikhin A.O., Terekhov G.G., Kuchin A.V. The stimulating properties of spruce wood greenery extract obtained in accordance with the principles of “green technology” // Химия растительного сырья. 2024. № 2. С. 420–428. doi: 10.14258/jcpr.20240212689

18. Расписание погоды [Электронный ресурс] <http://rp5.ru> (Дата обращения: 23.04.2024).

19. Погода и климат [Электронный ресурс] <http://www.pogodaiklimat.ru> (Дата обращения: 23.04.2024).

20. Andreeva E.M., Stetsenko S.K., Hurshkainen T.V., Terekhov G.G., Kuchin A.V. The mycorrhization of the root system of Scots pine with different granulometric composition of the soil under the influence of bio-stimulants in the Middle Urals // AIP Conference Proceedings. 2022. Article No. 030003. doi: 10.1063/5.0069142

21. Ильин В.Б. Элементный химический состав растений. Новосибирск: Наука, 1985. 130 с.

22. Никонов В.В., Сизов И.И., Иванов Г.А., Баскова Л.А. Особенности минерального состава хвои сосны обыкновенной в природе и лесокультуре на Кольском Севере // Бюллетень ГБС. 1984. № 134. С. 62–66.

23. Хабарова Е.П., Феклистов П.А., Кошелева А.Е. Содержание минеральных элементов в отмирающей хвое сосны на осушенных площадях // Лесной вестник. 2015. № 2. С. 15–20.

References

1. Rodin A.Z., Popova N.Ya., Stukushin M.N., Lobodyuk V.D., Kandyba E.V. Biological method for the rehabilitation of soils subjected to intensive chemicalization in forest nurseries // Forestry Bulletin. 1998. No. 3. P. 104–107 (in Russian).

2. Colla G., Roupheal Y. Biostimulants in horticulture // Sci. Hortic. 2015. V. 196. P. 1–2. doi: 10.1016/j.scienta.2015.10.044

3. Egorova A.V., Chernobrovkina N.P., Robonen E.V. Effects of application of a conifer-derived chemical on the growth and elemental composition of *Pinus sylvestris* L. seedlings in a forest nursery // Chemistry of Plant Raw Material. 2017. No. 2. P. 171–180 (in Russian). doi: 10.14258/jcpr.2017021720

4. Kirienko M.A., Goncharova I.A. The prolonged influence of growth stimulants on morphometric indicators of three-year seedlings of main forest forming species of Central Siberia // Sibirskij Lesnoj Zhurnal. 2018. No. 1. P. 65–70 (in Russian). doi: 10.15372/SJFS20180107

5. Grodnitskaya I.D., Polyakova G.G., Senashova V.A., Pashkeeva O.E., Pashenova N.V., Antonov G.I., Baglaev A.Yu. Treatment of Scots pine seeds by biological preparations as a way of improving the planting material quality in forest nurseries of Krasnoyarsk Krai // Sibirskij Lesnoj Zhurnal. 2021. No. 3. P. 3–16 (in Russian). doi: 10.15372/SJFS20210301

6. Gorbunova S.V., Sen'kov A.O., Fayzulin D.H. The experience of using a humic preparation for growing coniferous ball-rooted seedlings in the conditions of Arkhangelsk Oblast // Sibirskij Lesnoj Zhurnal. 2022. No. 1. P. 41–51 (in Russian). doi: 10.15372/SJFS20220104

7. Yakhin O.I., Lubyanova A.A., Yakhin I.A. Modern concepts on biostimulators // Agrokimiya. 2014. No. 7. P. 85–90 (in Russian).

8. Gorbyleva E.L., Borovskii G.B. Growth and stability biostimulators for plants containing terpenoids and other biologically-active compounds // Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya. 2018. V. 8. No. 4. P. 32–41 (in Russian). doi: 10.21285/2227-2925-2018-8-4-32-41

9. Khurshkaynen T.V., Andreyeva Ye.M., Stetsenko S.K., Terekhov G.G., Kuchin A.V. Influence of bio-preparation Verva and Verva-spruce on the Scots pine seedlings growth // Chemistry of Plant Raw Material. 2019. No. 1. P. 295–300 (in Russian). doi: 10.14258/jcpr.2019014248

10. Tarasov S.S., Mikhalev E.V., Rechkin A.I., Krutova E.K. Plant growth and development regulators: classification, nature and mechanism of action // Agrokimiya. 2023. No. 9. P. 65–80 (in Russian). doi: 10.31857/S0002188123090120

11. Hurshkainen T.V., Nikonova N.N., Nazarova Y.I., Shirokikh A.A., Bokov N.A., Shirokikh I.G., Kuchin A.V. Study of biocidal properties in extractive substances from

coniferous wood greenery // Chemistry of Plant Raw Material. 2025. No. 1. doi: 10.14258/jcprm.20250115053

12. Hurshkainen T.V., Skripova N.N., Kutchin A.V. Comparative assessment of extraction equipment for efficient isolation of extractives of coniferous wood greenery // Theoretical and Applied Ecology. 2017. No. 1. P. 25–30 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2017-1-025-030

13. Instructions for growing planting material of tree and shrub species in forest nurseries of the Ural region. Moskva: VNIITs Lesresurs, 1998. 172 p. (in Russian).

14. Veselkin D.V. Functional meaning of mycorrhiza formation of annual pine and fir seedling in pinetum // Vestnik OGU. 2006. No. 4S (54). P. 12–18 (in Russian).

15. Use of wood kerns in silvicultural research. Methodological recommendations / Ed. I.A. Turchinskaya. Leningrad: LenNIILKh, 1988. 43 p. (in Russian).

16. Smirnov V.V. Seasonal growth of the main tree species. Moskva: Nauka, 1964. 167 p. (in Russian).

17. Hurshkainen T.V., Stetsenko S.K., Andreeva E.M., Shkurikhin A.O., Terekhov G.G., Kutchin A.V. The stimulating properties of spruce wood greenery extract obtained in accordance with the principles of “green tech-

nology” // Chemistry of Plant Raw Material. 2024. No. 2. P. 420–428. doi: 10.14258/jcprm.20240212689

18. Weather schedule [Internet resource] <http://rp5.ru> (Accessed: 04.23.2024) (in Russian).

19. Weather and climate [Internet resource] <http://www.pogodaiklimat.ru> (Accessed: 23.04.2024) (in Russian).

20. Andreeva E.M., Stetsenko S.K., Hurshkainen T.V., Terekhov G.G., Kutchin A.V. The mycorrhization of the root system of Scots pine with different granulometric composition of the soil under the influence of bio-stimulants in the Middle Urals // AIP Conference Proceedings. 2022. Article No. 030003. doi: 10.1063/5.0069142

21. Ilyin V.B. Elemental chemical composition of plants. Novosibirsk: Nauka, 1985. 130 p. (in Russian).

22. Nikonov V.V., Sizov I.I., Ivanov G.A., Baskova L.A. Features of the mineral composition of Scots pine needles in nature and silviculture in the Kola North // Bulletin of the Main Botanical Garden. 1984. No. 134. P. 62–66 (in Russian).

23. Habarova E.P., Feklistov P.A., Kosheleva A.E. Contents of mineral elements in the dying off needles of Scotch pine on drained areas // Forestry Bulletin. 2015. No. 2. P. 15–20 (in Russian).