

РОСТ И РАЗВИТИЕ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В КОНТЕЙНЕРАХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СУБСТРАТОВ РАЗЛИЧНОЙ ПЛОТНОСТИ СЛОЖЕНИЯ

Д. И. Мухортов, А. В. Антропова

Поволжский государственный технологический университет

В статье изложены результаты работ по изучению агрофизических свойств различных корнезакрывающих субстратов, проанализировано их влияние на рост и развитие сеянцев сосны обыкновенной, выращиваемой в контейнерах в качестве посадочного материала для лесовосстановительных работ. Лесовосстановление посадочным материалом с закрытой корневой системой имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными технологиями. Однако данная технология требует решения некоторых задач с целью оптимизации процессов выращивания сеянцев. Одним из проблемных моментов является выбор оптимальных по своим как агрохимическим, так и агрофизическим свойствам субстратов. В настоящее время большое внимание уделяется химической составляющей корнезакрывающих субстратов, когда агрофизические свойства учитываются в меньшей степени, но именно эти свойства субстратов изначально определяют характер развития корневой системы сеянцев, а следовательно, и всей вегетативной части растения. Химическая составляющая может меняться в процессе выращивания посадочного материала путем внесения удобрений. Агрофизические же свойства поменять в процессе выращивания невозможно без непосредственного вмешательства, что негативно скажется на самом росте растений, поэтому следует изначально придерживаться рекомендуемых агрофизических свойств субстрата, которые позволят получить высококачественный посадочный материал. Наши исследования направлены на определение влияния плотности сложения субстрата на развитие сеянцев сосны обыкновенной. Для этого были изучены варианты субстратов на основе верхового торфа, в которых выращены сеянцы сосны обыкновенной. Плотность сложения определялась с помощью оборудования «Стереопикнметр». По результатам исследований можно сделать вывод, что наиболее оптимальные показатели плотности сложения субстрата в контейнерах, которые дали наилучшие результаты по биометрическим параметрам самих сеянцев, находятся в диапазоне 0,10-0,17 г/см³.

Ключевые слова: плотность сложения субстрата, корнезакрывающий субстрат, лесовосстановление, закрытая корневая система, посадочный материал, агрофизические свойства субстрата.

GROWTH AND DEVELOPMENT OF THE CONTAINERIZED SEEDLINGS OF SCOTS PINE USING THE SUBSTRATES OF VARIOUS BULK DENSITY

D. I. Mukhortov, A. V. Antropova

Volga State University of Technology

The article describes the research results into agrophysical properties of various root covering substrates, their influence on the growth and development of the containerized Scots pine seedlings as a planting stock for reforestation. This method has a number of advantages in comparison with the traditional planting method. However, it requires overcoming certain problems in order to optimize the processes of seedlings growing. One of the problems is the choice of substrate optimal in agrochemical and agrophysical properties. Nowadays, the chemical components of root covering substrates are of vital importance unlike the agrophysical properties, which are considered to a lesser extent. However, these are the agrophysical properties of substrates, which determine the development of seedling root system and, therefore, all the vegetative part of a plant. The chemical component can change while growing the planting stock by means of fertilizers application. The agrophysical properties can't be changed without the immediate intervention that will negatively affect the growth of plants. Therefore, it is necessary to adhere to the initially recommended ag-

rophysical properties of substrate, which will make it possible to grow a high-quality planting stock. The research aims to define the influence of bulk density of substrate on the development of Scots pine seedlings. For this purpose different substrates based on bog peat have been examined, the seedlings of Scots pine have been grown in these substrates. Bulk density of substrates was calculated with "Stereopeakmeter". The carried out research has proved that the most optimal indicators of bulk density of substrate in containers that showed the best results on biometric parameters of seedlings were varying between 0.10 and 0.17 g/cm³.

Key words: *bulk density of substrate, root covering substrate, reforestation, root-balled tree system, planting stock, agrophysical properties of substrate.*

Введение. Решение ключевых проблем лесовосстановления, повышения качества работ и эффективности лесокультурного производства возможно только на основе комплексной механизации и автоматизации всего многоротационного процесса создания лесных культур – от посева семян при выращивании посадочного материала до формирования насаждения. Такую возможность в перспективе обеспечивает технология выращивания и использования посадочного материала с закрытой корневой системой, которая отличается сравнительно высоким уровнем механизации и автоматизации процессов выращивания посадочного материала, его транспортировки на лесокультурную площадь и посадки; увеличивает период посадки растений в лесу; повышает приживаемость посадочного материала.

Отечественные и зарубежные разработки в этой области, начатые в конце 50-х годов прошлого века, подтверждают **актуальность данного направления** в развитии лесокультурного производства как в лесоводственно-экономическом, так и в социальном плане (Жигунов, 1995; Родин, 2010; Романов, 2007). Однако широкое применение посадочного материала с закрытой корневой системой в России задерживается, что во многом объясняется отсутствием научно обоснованных рекомендаций по его выращиванию и использованию применительно к конкретным видам деревьев и условиям регионов.

В настоящее время определение оптимального вида субстрата для выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой осуществляется по его биохимическому составу, однако влияние на первые годы развития сеянцев данные свойства субстрата не оказывают. Более существенная взаимосвязь роста и развития посадочного материала от типа субстрата наблюдается при его различиях по гранулометрическому составу и водно-физическим свойствам.

Исследования по определению оптимальных водно-физических свойств субстратов для выращивания посадочного материала древесных растений в контейнерах будут способствовать разработке технологии производства субстратов, в том числе с применением торфа местных предприятий и внесением различных органических отходов, что позволит сократить необходимые ранее расходы на приобретение и транспортировку субстратов из других регионов.

Исследования, направленные на улучшение агрохимических и агрофизических свойств субстрата для выращивания посадочного материала хвойных пород, проводятся как за рубежом, так и в России. Изучаются способы улучшения структуры корнезакрывающих субстратов, путем применения различных по соотношению составляющих, изменением гранулометрического состава. Проводятся исследования по использованию гранулированного биочара (Dumroese et al., 2011), где отмечается его положительное воздействие на влагоудерживающую способность субстрата в связи с переработкой биочара в гранулы.

Изучается эффективность применения гидрогеля для сохранения влажности корнезакрывающего субстрата (Sarvas et al., 2007), использования в качестве одного из составляющих измельченной коры сосны (Jackson et al., 2009; Зайцева, 2010).

Согласно результатам исследований, корнезакрывающий субстрат должен обладать высокой влагоемкостью, хорошей смачиваемостью, малой насыпной плотностью, достаточной аэрируемостью, буферностью, высокой сорбционной способностью, иметь адекватное воздушное пространство и водоудерживающую способность в течение всего периода выращивания (Fukushima et al., 2009). Существует ряд рекомендаций, которых следует придерживаться при выращивании сеянцев хвойных пород в контейнерах: после полива воздухопроницаемость субстрата должна быть равна 10–30 %, влагоудерживающая способность находится в пределах 45–65 % при насыпной плотности 0,19–0,70 г/см³ (Yeager et al. 2007). Эти свойства меняются в процессе выращивания: происходит оседание частиц, что приводит к уменьшению воздухопроницаемости (Allaire-Leung, 1999).

Проводились эксперименты с целью определения оптимальных альтернативных торфяных субстратов. Изучены физические свойства древесно-волоконистых субстратов по сравнению с другими органическими субстратами. Были определены объемный вес, пористость, влагоемкость, водозадерживающие свойства и доля потери объема этих субстратов. Древесно-волоконистые субстраты показали такой же объемный вес и общее поровое пространство, что и торфяные субстраты, но с меньшим влагоудерживанием. Увеличение объемного веса вызвало уменьшение плотности сложения субстрата. По результатам исследований рекомендуется уплотнение субстратов из древесного волокна в контейнерах, чтобы минимизировать оседание субстрата (Gruda, Schnitzler, 2004).

Водно-физические свойства субстратов также изучались на кокосовом субстрате, в частности в зависимости от размера частиц. Размер частиц значительно влияет на физические свойства субстрата, особенно на воздухопроницаемость и влагоудерживающее свойство. Пористость субстрата увеличивается, а влагоудерживающая способность уменьшается с увеличением диаметра частиц. Наиболее оптимальным субстратом является во фракции 0,125–0,25 мм. Размер частиц, эквивалентный 0,5 мм, приводит к незначительному изменению изученных физических свойств. Размер частиц пыли кокосовой коры также влияет на физико-химические и химические характеристики, но в меньшей степени (Noguera et al., 2003).

Поиск оптимальных водно-физических свойств субстрата для древесных пород продолжается по настоящее время, что связано с появлением на рынке новых альтернативных традиционным видам продуктов, которые требуют исследования.

Цель исследований – определение оптимальных агрофизических свойств субстратов для выращивания однолетних сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в контейнерах.

Задачи исследований:

1. Оценить степень влияния агрофизических и агрохимических свойств субстратов на рост и развитие сеянцев сосны обыкновенной в контейнерах.
2. Определить влияние введения агроперлита на агрофизические и агрохимические свойства субстратов, на рост и развитие сеянцев сосны обыкновенной в контейнерах.
3. Выявить зависимость влияния хранения субстрата на его агрофизические свойства, а также на рост и развитие сеянцев.
4. Изучить взаимосвязь биометрических показателей сеянцев сосны обыкновенной от водно-физических свойств используемых корнезакрывающих субстратов.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились с 25 июня по 10 октября 2018 года на территории Ботанического сада-института Поволжского государственного технологического университета с использованием оборудования ЦКП «ЭБЭЭ». Опыты закладывались в теплице арочного типа с поликарбонатным покрытием и наличием автоматизированной поливной системы. Посев се-

мян, предварительно протравленных «Байлетоном» (4 г препарата на 1 кг семян), производился вручную в контейнеры «Ардатов-40» на субстраты с разными физико-химическими свойствами. В эксперимент были включены десять вариантов опыта:

- 1) ЗАО «Росторфинвест», «грунты торфяные универсальные «Агробалт», марка «Агробалт-Н» без перлита;
- 2) ЗАО «Росторфинвест», «грунты торфяные универсальные «Агробалт», марка «Агробалт-С» 20% перлита;
- 3) ООО «Велторф», торфяной питательный субстрат (верховой), рецепт 5СО/1/3 (2017 года изготовления);
- 4) ООО «Велторф», торфяной питательный субстрат (верховой), рецепт 19С/1 (2017 года изготовления);
- 5) ООО «Велторф», торфяной питательный субстрат (верховой), рецепт 19С/1/5,2 (2016 года изготовления);
- 6) ОАО «Параньгинское торфопредприятие», переходный торф (1 года хранения);
- 7) ОАО «Параньгинское торфопредприятие», переходный торф (без хранения);
- 8) ЗАО «Ронгинское торфобрикетное предприятие», низинный торф;
- 9) Субстрат Семеновского спецсемлесхоза Нижегородской области;
- 10) ЗАО «Ронгинское торфобрикетное предприятие», переходный торф.

Для каждого варианта субстрата были определены физико-химические свойства.

Результаты исследования и их обсуждение. Химические свойства субстратов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Агрохимические свойства исследуемых субстратов

№ п/п	Наименование субстрата	Орг. в-во, %	pH _{KCl}	P ₂ O ₅ , мг	K ₂ O, мг	N _{нитрат.} , мг
1	ЗАО «Росторфинвест», «грунты торфяные универсальные «Агробалт», марка «Агробалт-Н» без перлита	94,66	6,87	1,6	34,9	4,8
2	ЗАО «Росторфинвест», «грунты торфяные универсальные «Агробалт», марка «Агробалт-С» 20% перлита	85,38	6,92	62,3	119	517
3	ООО «Велторф», торфяной питательный субстрат (верховой), рецепт 5СО/1/3 (2017 года изготовления)	80,08	6,92	257,3	270,8	683,7
4	ООО «Велторф», торфяной питательный субстрат (верховой), рецепт (2017 года изготовления)	95,1	4,73	138,6	275,6	189,2
5	ООО «Велторф», торфяной питательный субстрат (верховой), рецепт 19С/1/5,2 (2016 года изготовления)	89,04	5,89	138,5	303,2	62,6
6	ОАО «Параньгинское торфопредприятие», переходный торф (1 года хранения)	84,61	6,94	15,4	10,3	658,2
7	ОАО «Параньгинское торфопредприятие», переходный торф (без хранения)	89,16	6,97	13,2	8,2	665
8	ЗАО «Ронгинское торфобрикетное предприятие», низинный торф	6,21	7,35	550	100	559,5
9	Субстрат Семеновского спецсемлесхоза Нижегородской области	84,2	6,87	3,9	8,2	11,2
10	ЗАО «Ронгинское торфобрикетное предприятие», переходный торф	89,46	4,87	15,3	198,5	33,6

Согласно результатам анализа химического состава субстратов, все варианты, кроме низинного торфа (№9), имеют высокое содержание органических веществ – от 80 до 95 %. Содержание минеральных веществ находится в зависимости от исходного рецепта субстрата и срока его хранения и представлено в таблице 1. Следует отметить, что согласно проведен-

ным ранее исследованиям, органическое и минеральное составляющее почвенного субстрата не оказывает существенного влияние на рост и развитие семян, выращенных в контейнерах, что подтвердилось и в наших исследованиях.

Физические свойства субстратов в ходе эксперимента определялись с помощью стереопикнометра. К общим физическим свойствам относятся плотность почвы, плотность твердой фазы и пористость (табл. 2).

Таблица 2

Агрофизические свойства исследуемых субстратов

№ п/п	Наименование субстрата	Плотность сложения, г/см ³	Объем порошка, см ³	Плотность сложения субстрата, г/см ³	Пористость субстрата, %
1	ЗАО «Росторфинвест», «грунты торфяные универсальные «Агробалт», марка «Агробалт-Н» без перлита	0,073	3,745	1,175	93,8
2	ЗАО «Росторфинвест», «грунты торфяные универсальные «Агробалт», марка «Агробалт-С» 20% перлита	0,162	7,492	1,295	87,5
3	ООО «Велторф», торфяной питательный субстрат (верховой), рецепт 5С0/1/3 (2017 года изготовления)	0,120	6,215	1,158	89,6
4	ООО «Велторф», торфяной питательный субстрат (верховой), рецепт (2017 года изготовления)	0,180	8,217	1,314	86,3
5	ООО «Велторф», торфяной питательный субстрат (верховой), рецепт 19С/1/5,2 (2016 года изготовления)	0,195	8,344	1,402	86,1
6	ОАО «Параньгинское торфопредприятие», переходный торф (1 года хранения)	0,290	11,098	1,568	81,5
7	ОАО «Параньгинское торфопредприятие», переходный торф (без хранения)	0,332	12,770	1,558	78,7
8	ЗАО «Ронгинское торфобрикетное предприятие», низинный торф	0,337	13,711	1,473	77,1
9	Субстрат Семеновского спецсемлесхоза Нижегородской области	0,353	13,769	1,540	77,1
10	ЗАО «Ронгинское торфобрикетное предприятие», переходный торф	0,197	8,623	1,368	85,6

Очевидно, что в исследуемых вариантах плотность сложения субстрата варьирует от 0,073 до 0,353 г/см³. Наименьшее значение наблюдается у марки «Агробалт-Н» без перлита (ЗАО «Росторфинвест»). Наибольшей плотностью характеризуются субстрат из Семеновского спецсемлесхоза – 0,353 г/см³, низинный торф ЗАО «Ронгинское торфобрикетное предприятие» – 0,337 г/см³ и питательные торфяные субстраты из переходного торфа ОАО «Параньгинское торфопредприятие» (0,290-0,332 г/см³).

Плотность сложения субстрата так же оказывает значительное влияние на формирование корневой системы семян, определяя динамику их роста и развития. Сложение субстрата определяется взаимным расположением ее частиц и комков.

Плотность почв зависит от минералогического, механического состава, а также от содержания в ней органических веществ, ее структурности, сложения и механической обработки, а плотность твердой фазы почв — от минералогического состава и содержания органических веществ.

Наименьшую плотность твердой фазы имеет торфяной субстрат марки «Агробалт-Н» без перлита (ЗАО «Росторфинвест») – 1,175 г/см³. Максимальные значения наблюдаются в переходных торфах ОАО «Параньгинское торфопредприятие» 2016 и 2017 годов – 1,568 и 1,558 г/см³ и в субстрате Семеновского спецсемлесхоза – 1,540 г/см³.

С общей пористостью связаны водо-, воздухопроницаемость и воздухоемкость, газообмен между почвой и атмосферой. Показатели пористости изучаемых субстратов варьируют от

77 % (низинный торф, субстрат Семеновского спецсемлесхоза) до 95 % («Агробалт-Н» без перлита (ЗАО «Росторфинвест»).

Каждый вариант эксперимента состоял из трех повторностей. За одну повторность в каждом варианте принималось два контейнера «Ардатов-40» с 40 ячейками. В каждую ячейку контейнера высевалось по одному семени сосны обыкновенной, всего было взято 2 640 семян. Варианты опыта находились в одинаковых условиях по отношению к факторам окружающей среды.

Уход за сеянцами заключался в регулярных поливах (один раз в день), прополке (один раз в неделю). Для борьбы с болезнями и для профилактики грибковых заболеваний проводили опрыскивание раствором марганцовокислого калия, норма внесения 4 мг на 10 л воды.

Сохранность сеянцев находится в пределах 67,5-83,2%. Наименьшая доля сохранившегося посадочного материала наблюдается на верховом торфе ООО «Велторф» 2016 года (67,5 %) и в субстрате Семеновского спецсемлесхоза Нижегородской области (71,7 %). Наибольшее число сохранности характерно для субстрата ЗАО «Росторфинвест» марки «Агробалт-С» с 20 % содержанием перлита и для переходного торфа ОАО «Параньгинское торфопредприятие» 2016 года закупки – 89,2 %.

По окончании эксперимента сеянцы вынимались из контейнеров, отмывались, измерялись их биометрические параметры, представленные в таблице 3. Линейные размеры сеянцев определялись методом простых измерений высоты стволика и длины корня с помощью линейки, диаметр шейки корня – с помощью штангенциркуля. Масса сухого вещества органов сеянцев взвешивалась с помощью электронных весов. Отдельно определялась масса стволиков, хвои, крупных корней (диаметром более 1мм), мелких корней (диаметром менее 1 мм). Биомасса пересчитывалась на 100 штук сеянцев.

Таблица 3

Биометрические параметры сеянцев сосны обыкновенной, выращенной в контейнерах

Наименование субстрата	Диаметр корневой шейки, мм	Длина, см					Масса сухого вещества, г/100 шт			
		надземной части корневой системы	общая	хвои	стволиков	надземной части корней	общая			
ЗАО «Росторфинвест», «грунты торфяные универсальные «Агробалт», марка «Агробалт-Н» без перлита	1,4	6,8	15,0	21,8	28,2	5,8	34,0	13,0	47,0	
ЗАО «Росторфинвест», «грунты торфяные универсальные «Агробалт», марка «Агробалт-С» 20% перлита	1,4	8,6	18,1	26,7	22,0	6,2	28,2	13,5	41,7	
ООО «Велторф», торфяной питательный субстрат (верховой), рецепт 5СО/1/3 (2017 года изготовления)	1,6	7,6	9,9	17,5	31,1	8,0	39,1	19,5	58,6	
ООО «Велторф», торфяной питательный субстрат (верховой), рецепт (2017 года изготовления)	1,1	5,8	10,9	16,7	17,4	4,5	21,9	10,5	32,5	
ООО «Велторф», торфяной питательный субстрат (верховой), рецепт 19С/1/5,2 (2016 года изготовления)	1,0	5,9	13,5	19,4	10,6	3,1	13,7	6,7	20,3	
ОАО «Параньгинское торфопредприятие», переходный торф (1 года хранения)	1,1	6,4	12,7	19,1	12,9	3,5	16,3	6,7	23,1	
ОАО «Параньгинское торфопредприятие», переходный торф (без хранения)	1,0	5,8	7,6	13,4	10,8	2,7	13,5	5,0	18,5	
ЗАО «Ронгинское торфобрикетное предприятие», низинный торф	0,9	5,8	8,2	14,0	12,4	2,5	14,9	5,7	20,5	
Субстрат Семеновского спецсемлесхоза Нижегородской области	0,5	3,4	9,9	13,3	6,0	1,5	7,5	2,6	10,1	
ЗАО «Ронгинское торфобрикетное предприятие», переходный торф	1,0	6,2	8,7	14,9	4,9	1,1	2,4	8,4	11,9	

По результатам измерений биометрических параметров семян сосны обыкновенной была проведена оценка влияния на рост и развитие посадочного материала агрохимических и агрофизических свойств субстрата.

Оценка степени влияния агрофизических и агрохимических свойств субстрата на рост и развитие семян проводилась с помощью корреляционного анализа, результаты которого представлены в таблице 4.

Таблица 4

Корреляционный анализ биометрических параметров семян и свойств субстрата

Свойства субстратов / Биометрические параметры семян		Диаметр корневой шейки, мм	Длина, см			Масса сухого вещества, г/100 шт			
			надземной части	корневой системы	общая	хвоя	стволиков	корней	общая
Агрофизические	Плотность сложения субстрата, г/см ³	-0,84	-0,66	-0,56	-0,65	-0,74	-0,72	-0,74	-0,75
	Плотность твердой фазы, г/см ³	-0,82	-0,61	-0,41	-0,51	-0,82	-0,78	-0,82	-0,82
Агрохимические	Содержание орг. в-ва, %	0,24	0,08	0,35	0,30	0,11	0,19	0,15	0,14
	pH KCl	0,10	0,12	0,11	0,12	0,29	0,24	0,19	0,25
	P ₂ O ₅ , мг	0,01	0,06	-0,31	-0,23	0,13	0,10	0,16	0,14
	K ₂ O, мг	0,30	0,24	0,02	0,09	0,18	0,27	0,35	0,25
	N нитрат., мг	0,32	0,44	-0,14	0,03	0,27	0,35	0,33	0,30

Согласно данным таблицы 4, агрохимические свойства используемых субстратов слабо влияют на рост и развитие семян сосны обыкновенной, так как коэффициент корреляции не превышает 0,35. Агрофизические свойства субстратов оказывают умеренное и сильное влияние на рост и развитие растений. Обратная связь говорит о том, что с уменьшением плотности субстрата значения биометрических параметров семян увеличиваются, тем самым увеличивая долю выхода стандартных семян. Наибольшее влияние оказывается на диаметр корневой шейки и массу сухого вещества семян ($R^2=0,72-0,84$). Длина корневой системы имеет наименьшую зависимость от агрофизических свойств субстрата ($R^2=0,41-0,56$), так как ее размеры ограничены параметрами ячеек контейнера.

Следовательно, наибольшее влияние на процесс формирования стандартных семян оказывают агрофизические свойства субстратов, которые зависят от состава рецепта компонентов. На рынке субстратов встречаются различные рецепты: с включением и без включения в состав агроперлита. Использование перлита в качестве компонента субстрата (до 40 %) позволяет значительно улучшить характеристики смеси. Повышаются пористость и рыхлость, а значит, и воздухопроницаемость, предотвращается слеживание, комкование, уплотнение, затвердевание почвы, образование поверхностной корки. Результаты проведенного эксперимента по выявлению зависимости введения агроперлита на физические и химические свойства субстратов на рост и развитие семян показали, что включение в состав субстратов перлита оказывает влияние только на линейные параметры семян (табл. 5).

**Влияние введения в субстрат агроперлита на биометрические параметры
контейнерных сеянцев сосны обыкновенной ($t_{\text{табл.}}=1,96$)**

Параметры		Наименование субстрата	ЗАО «Росторфинвест», «грунты торфяные универсальные «Агробалт», марка «Агробалт-Н» без перлита	ЗАО «Росторфинвест», «грунты торфяные универсальные «Агробалт», марка «Агробалт-С» 20% без перлита
Диаметр корневой шейки, см	$X_{\text{ср}}$		1,4	1,36
	m_x		0,03	0,02
	$t_{\text{факт}}$		1,32	
Высота, см	$X_{\text{ср}}$		6,8	8,6
	m_x		0,11	0,78
	$t_{\text{факт}}$		2,29	
Длина корня, см	$X_{\text{ср}}$		15	18,1
	m_x		0,47	1,2
	$t_{\text{факт}}$		2,42	
Масса хвои, г	$X_{\text{ср}}$		21,41	16,97
	m_x		7,08	5,26
	$t_{\text{факт}}$		0,94	
Масса стволика, г	$X_{\text{ср}}$		5,81	6,24
	m_x		0,48	0,56
	$t_{\text{факт}}$		0,59	
Масса корней, г	$X_{\text{ср}}$		13,02	13,5
	m_x		2,37	1,22
	$t_{\text{факт}}$		0,18	

Согласно данным таблицы 5, увеличение показателей высота стволиков и длины корневой системы контейнерных сеянцев сосны обыкновенной при введении в используемый субстрат 20 % агроперлита достоверно, так как $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл.}}$. Влияние использования агроперлита в субстрате на изменение массы сухого вещества не достоверно, так как $t_{\text{факт}}$ не превышает $t_{\text{табл.}}$.

Следует также отметить, что введение агроперлита в субстрат оказывает влияние на изменение агрофизических свойств почвы. С увеличением доли агроперлита на 20 % плотность сложения субстрата увеличивается на 55 %, плотность твердой фазы – на 9 %, что связано с задержкой воды в субстрате.

Таким образом, из результатов сравнения биометрических параметров сеянцев, выращенных в субстратах с разным содержанием агроперлита, следует, что роль введения агроперлита наблюдается только при формировании длины корневой системы и высоты сеянца. Однако для более достоверного определения влияния на рост и развитие сеянцев агроперлита необходимо провести эксперименты по выращиванию посадочного материала различных древесных видов с включением в состав субстратов разной доли агроперлита.

Одной из проблем производства посадочного материала в контейнерах является применение разного по составу и сроку хранения субстратов, которые будут способствовать увеличению выхода стандартных сеянцев. Процесс хранения субстрата в первую очередь оказывает существенное влияние на изменение агрохимического состава, а также способствует изменению агрофизических свойств.

В ходе эксперимента были изучены сеянцы, выращенные в контейнерах с применением идентичного по составу переходного торфа ОАО «Параньгинское торфопредприятие» со сроком хранения 1 год и без хранения.

По результатам измерения биометрических параметров видно, что сеянцы, выращенные на прошлогоднем субстрате, имеют показатели выше, чем на свежем торфе (табл. 6.).

Влияние хранения субстрата на линейные показатели контейнерных сеянцев сосны обыкновенной
($t_{\text{табл}} = 1,96$)

Параметры	Наименование субстрата	ОАО «Параньгинское торфопредприятие», переходный торф (1 года хранения)	ОАО «Параньгинское торфопредприятие», переходный торф (без хранения)
		Диаметр корневой шейки, см	X _{ср}
	m _x	0,02	0,01
	t _{факт}	4,92	
Высота, см	X _{ср}	6,44	5,84
	m _x	0,1	0,08
	t _{факт}	4,69	
Длина корня, см	X _{ср}	12,66	7,63
	m _x	0,36	0,33
	t _{факт}	10,3	
Масса хвои, г	X _{ср}	12,88	10,8
	m _x	1,18	0,66
	t _{факт}	1,54	
Масса стволика, г	X _{ср}	3,46	2,7
	m _x	0,22	0,35
	t _{факт}	1,84	
Масса корней, г	X _{ср}	6,72	5,03
	m _x	0,54	0,23
	t _{факт}	1,95	

Согласно данным, представленным в таблице 6, увеличение линейных параметров сеянцев при использовании субстрата с 1 годом хранения, по сравнению со свежим, достоверно, так как $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$. Показатели, наблюдаемые в изменении массы сухого вещества сеянцев, можно считать недостоверными, так как $t_{\text{факт}}$ не превышает $t_{\text{теорет}}$.

На плотность сложения и плотность твердой фазы 1 год хранения не оказал существенного влияния. Через год хранения плотность сложения субстрата уменьшилась на 12,6 %, изменение в плотности твердой фазы наблюдается в сторону увеличения на 0,6 %.

Следовательно, один год хранения не способствует существенным изменениям агрофизических свойств субстрата, но оказывает влияние на изменение биометрических параметров сеянцев, в частности на торфе с 1 годом хранения растения имеют более высокие показатели роста. Однако для получения более точного результата следует провести эксперименты с использованием субстратов разного срока хранения и отследить динамику изменения их агрофизических свойств.

Как было отмечено выше, агрофизические свойства субстратов оказывают существенное влияние на рост и развитие посадочного материала, выращиваемого в контейнерах. По результатам исследований биометрических параметров сеянцев, полученных на 10 испытываемых вариантах субстрата, были построены модели для определения наиболее оптимальных водно-физических свойств корнезакрывающих субстратов. Моделирование зависимости роста сеянцев сосны обыкновенной при использовании субстратов с различными агрофизическими свойствами проводилось с применением частной функции отклика растений вида

$$y = a \cdot x^{(b-1)} \cdot \exp(-c \cdot x)^b + c \quad (1)$$

График зависимости массы надземной части сеянцев от плотности сложения субстрата представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Зависимость показателей массы надземной части сеянцев сосны обыкновенной от плотности сложения субстрата

По максимальным показателям суммы масс сухого вещества хвои и стволиков сеянцев установлено, что наиболее оптимальное значение плотности сложения субстрата в исходной смеси колеблется в пределах 0,05...0,07 г/см³.

Зависимость массы подземной части сеянцев от плотности сложения субстрата отражена на графике, представленном на рисунке 2.



Рис. 2. Зависимость показателей массы подземной части сеянцев сосны обыкновенной от плотности сложения субстрата

Согласно графику зависимости массы корневой системы сеянцев от массы сухого вещества подземной части наибольшее значение оказывается при плотности сложения субстрата 0,10...0,12 г/см³. Максимальное значение массы надземной части наблюдается в пределах плотности твердой фазы 1,20...1,25 г/см³.

Заключение

Таким образом, результаты исследований подтвердили, что на рост и развитие посадочного материала сосны обыкновенной с закрытой корневой системой в большей степени оказывают влияние агрофизические свойства субстрата, чем его агрохимические свойства. Регрессионный анализ зависимости биометрических параметров сеянцев от водно-физических свойств субстрата выявил обратную связь влияния массы сухого вещества от плотности. Наибольшее влияние плотность сложения субстрата оказывает на диаметр корневой шейки и массу сухого вещества сеянцев ($R^2=0,72...0,84$).

Параметры сеянцев, выращенных без включения агроперлита, характеризуются меньшими биометрическими параметрами, в отличие от сеянцев, полученных на рецепте с содержа-

нием 20% агроперлита. Однако введение в состав субстрата агроперлита показывает достоверное влияние только на линейные параметры семян. Влияние использования агроперлита в субстрате на изменение массы сухого вещества не достоверно, так как $t_{\text{факт.}}$ не превышает $t_{\text{табл.}}$

Введение агроперлита в субстрат оказывает влияние на изменение его агрофизических свойств. С увеличением доли агроперлита плотность сложения субстрата увеличивается на 55 %, плотность твердой фазы – на 9 %, что связано с повышением водоудерживающей способности субстрата. Тем не менее, для более достоверного определения влияния на рост и развитие семян агроперлита следует провести эксперименты по выращиванию посадочного материала различных древесных видов с включением в состав субстратов разной доли агроперлита.

По результатам исследований установлено, что на рост и развитие семян в контейнерах оказывает влияние срок хранения субстрата. Было выявлено, что на переходном торфе ОАО «Параньгинское торфопредприятие» со сроком хранения 1 год растения достоверно имеют более высокие показатели роста, чем на идентичном по составу торфе данного месторождения без хранения.

Срок хранения не вызывает существенных изменений агрофизических свойств субстрата: плотность сложения субстрата уменьшилась на 12,6 %, изменение в плотности твердой фазы увеличилось менее чем на 1 %. Однако для получения более точных результатов, следует провести эксперименты с применением субстратов разного срока и условий хранения и отследить динамику изменения их агрофизических свойств.

По результатам моделирования изменения показателей массы сухого вещества семян, выращенных в контейнерах, наиболее оптимальная плотность сложения субстрата в ячейках должна составлять $0,07 \dots 0,12 \text{ см}^3$, а плотность твердой фазы – $1,20 \dots 1,35 \text{ см}^3$.

Исследования по определению наиболее оптимальных для роста и развития параметров субстрата с целью совершенствования технологий производства корнезакрывающего субстрата требуют более глубокой проработки проблемы и проведения детальных экспериментов, включающих большее число вариантов.

Библиографический список

1. Жигунов А.В. Производство и лесокультурное использование посадочного материала с закрытыми корнями // III Всероссийский съезд лесничих. – Москва: Экология, 1995, – С. 280-283.
2. Жигунов А.В. Выращивание посадочного материала с закрытой корневой системой в Устьянском тепличном комплексе. Практические рекомендации / Сост. А. В. Жигунов, А. И. Соколов, В. А. Харитонов. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2016. – 43 с.
3. Зайцева, М.И. Использование порубочных остатков для приготовления торфяных субстратов при выращивании семян сосны обыкновенной с закрытой корневой системой / М.И. Зайцева, Е.В. Робонен, Н.П. Чернобровкина // Вестник МГУЛ. – Лесной вестник. – 2010. – №1. – С. 4-8.
4. Мочалов Б. А. Подготовка почвы и выбор посадочного места при создании лесных культур сосны из семян с закрытыми корнями // Известия ВУЗов. Лесной журнал. – 2014. – №4 (340). – С. 15-20.
5. Родин, А.Р. Повышение результативности выращивания лесных культур посадочным материалом с закрытой корневой системой / А.Р. Родин, С.А. Родин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2010. – №5. – С. 54-58.
6. Романов Е.М. Выращивание семян с закрытой корневой системой в малых тепличных комплексах / Е.М. Романов, А.В. Ушнурцев, Д.И. Мухортов, Ю.Н. Гагарин // Лесное хозяйство. – 2007. – № 1. – С. 26–27.
7. Allaire-Leung, S.E. Changes in physical properties of peat substrates during plant growth / S.E. Allaire-Leung, J. Caron, L.E. Parent // Canadian Journal of Soil Science. – 1999. – Vol. 79. – P. 137-139.
8. Dumroese, R.K. Pelleted biochar: chemical and physical properties show potential use as a substrate in container nurseries / R.K. Dumroese, J. Heiskanen, K. Englund, A. Tervahauta // Biomass Bioenergy. – 2018. № 35. – P. 2027
9. Fukushima M. Effects of the maturity of wood waste compost on the structural features of humic acids / K. Fukushima K. Yamamoto, K. Ootsuka, T. Komai, U. Aramaki, S. Horiya // Bioresource Technology. – 2009. – Vol. 100. – №2. – P. 791-797.

10. Gruda N. Suitability of wood fiber substrate for production of vegetable transplants: I. Physical properties of wood fiber substrates / N. Gruda, W.H. Schnitzler // *Scientia Horticulturae*. – 2004. – Vol. 100, Issues 1-4. – P. 309-322.
11. Heiskanen, J. Favourable water and aeration conditions for growth media used in containerized tree seedling production: A review // *Scandinavian Journal of Forest Research*. – 1993. – No. 3. – P. 337-358
12. Jackson B.E. Pine Tree Substrate: an Alternative and Renewable Substrate for Horticultural Crop Production / B.E. Jackson, R.D. Wright // *Acta Hort*. – 2009. – Vol. 819. – P. 265–272.
13. Jackson, B.E. Amendment Affect Poinsettia Growth and Substrate Physical Properties / B.E. Jackson, R.D. Wright, M.C. Barnes // *HortScience horts*. – 2007. – No. 43(7). – P. 2155-2161.
14. Jackson, B.E. Pine Tree Substrate: an Alternative and Renewable Substrate for Horticultural Crop Production / B.E. Jackson, R.D. Wright // *Acta Hort*. – 2009. – Vol. 819. – P. 265–272.
15. Noguera, P. Influence of Particle Size on Physical and Chemical Properties of Coconut Coir Dust as Container Medium / P. Noguera, M. Abad, R. Puchades, A. Maquieira, V. Noguera // *Journal Communications in Soil Science and Plant Analysis*. – 2003. – Vol. 34, Issue 3-4. – P. 593-605.
16. Sarvas, M. Effect of hydrogel application on survival and growth of pine seedlings in reclamations / M. Sarvas, P. Pavlenda, E. Takacova // *Journal of forest science*. – 2007. – No. 5. – P. 204-209
17. Yeager, T.H. Best management practices: Guide for producing container-grown plants / T.H. Yeager, D.C. Fare, J. Lea-Cox, et al. // 2nd Ed. Southern Nurserymen's Assoc., Marietta, GA. – 2007. – No. 3. – P. 200-203

References

1. Zhigunov A.B. Proizvodstvo i lesokul'turnoe ispol'zovanie posadochnogo materiala s zakrytymi kornyami [Production and silvicultural use of planting material with closed roots], *III Vserossiiskii s"ezd lesnichikh*, Moskva: Ekologiya, 1995, pp. 280-283.
2. Zhigunov A.V. Vyrashchivanie posadochnogo materiala s zakrytoi kornevoi sistemoi v Ust'yanskom teplichnom komplekse. Prakticheskie rekomendatsii [Growing planting material with a closed root system in the Ustyansky greenhouse complex. Practical recommendations], Sost. A. V. Zhigunov, A. I. Sokolov, V. A. Kharitonov, Petrozavodsk: Karel'skii nauchnyi tsentr RAN, 2016, 43 p.
3. Zaitseva M. I., Robonen E. V., Chernobrovkina N. P. Ispol'zovanie porubochnykh ostatkov dlya prigotovleniya torfyanykh substratov pri vyrashchivanii seyantsev sosny obyknovЕННОI s zakrytoi kornevoi sistemoi [The use of felling residues for the preparation of peat substrates when growing seedlings of Scots pine with a closed root system], *Vestnik MGUL – Lesnoi vestnik* [Vestnik MGUL - Forest Herald], 2010, No. 1, pp. 4-8.
4. Rodin A. R., Rodin S. A. Povyshenie rezul'tativnosti vyrashchivaniya lesnykh kul'tur posadochnym materialom s zakrytoi kornevoi sistemoi [Improving the effectiveness of growing forest crops planting material with a closed root system], *Vestnik MGUL – Lesnoi vestnik* [Vestnik MGUL - Forest Herald], 2010, No. 5, pp. 54-58.
5. Romanov E.M., Ushnurtsev A.V., Mukhortov D.I., Gagarin Yu.N. Vyrashchivanie seyantsev s zakrytoi kornevoi sistemoi v malykh teplichnykh kompleksakh [Growing seedlings with a closed root system in small greenhouse complexes], *Lesnoe khozyaistvo* [Forestry], 2007, No. 1, pp. 26-27.
6. Mochalov B. A. Podgotovka pochvy i vybor posadochnogo mesta pri sozdanii lesnykh kul'tur sosny iz seyantsev s zakrytymi kornyami [Preparation of the soil and the choice of the seat when creating pine forest crops from seedlings with closed roots], *Izvestiya VUZov. Lesnoi zhurnal* [University News. Forest magazine], 2014, No. 4 (340), pp. 15-20
7. Allaire-Leung S. E., Can J. Changes in physical properties of peat substrates during plant growth, *Soil Sci*, 1999, Vol. 79, pp. 137–139.
8. Dumroese R.K., Heiskanen J., Englund K., Tervahauta A. Pelleted biochar: chemical and physical properties show potential use as a substrate in container nurseries, *Biomass Bioenergy*, 2018, No. 35, pp. 2027.
9. Fukushima M., Yamamoto K., Ootsuka K., Komai T., Aramaki U., Horiya S. Effects of the maturity of wood waste compost on the structural features of humic acids, *Bioresource Technology*, 2009, Vol. 100, No. 2, pp. 791-797.
10. Jackson B. E., Wright R.D. Pine Tree Substrate: an Alternative and Renewable Substrate for Horticultural Crop Production, *Acta Hort*, 2009, Vol. 819, pp. 265–272.
11. Gruda N., Schnitzler W.H. Suitability of wood fiber substrate for production of vegetable transplants: I. Physical properties of wood fiber substrates, *Scientia Horticulturae*, 2004, Vol. 100, Iss. 1-4, pp. 309-322.
12. Yeager T.H., Fare D.C., J. Lea-Cox J. et al. Best management practices: Guide for producing container-grown plants, 2nd Ed. *Southern Nurserymen's Assoc.*, 2007, No. 3, pp. 200-203.
13. Heiskanen J. Favourable water and aeration conditions for growth media used in containerized tree seedling production: A review, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1993, No. 3, pp. 337-358.
14. Jackson B.E., Wright R.D., Barnes M.C. Amendment Affect Poinsettia Growth and Substrate Physical Properties, *HortScience horts*, 2007, No. 43(7), pp. 2155-2161.
15. Sarvas M., Pavlenda P., Takacova E. Effect of hydrogel application on survival and growth of pine seedlings in reclamations, *Journal of forest science*, 2007, No. 5, pp. 204-209.
16. Noguera P., Abad M., Puchades R., Maquieira A., Noguera V. Influence of Particle Size on Physical and Chemical Properties of Coconut Coir Dust as Container Medium, *Journal Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2003, Vol. 34, Iss. 3-4, pp. 593-605.
17. Jackson B. E., Wright R.D. Pine Tree Substrate: an Alternative and Renewable Substrate for Horticultural Crop Production, *Acta Hort*, 2009, Vol. 819, pp. 265-272.