

## ОПЫТ СОЗДАНИЯ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР НА МИКРОПОВЫШЕНИЯХ ПРИ ЭКСКАВАТОРНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОЧВЫ

А.С. Ильинцев<sup>1, 2✉</sup>, Е.Н. Наквасина<sup>1, 2</sup>, А.П. Богданов<sup>1, 2</sup>, А.А. Парамонов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства» (СевНИИЛХ), Россия, 163062, г. Архангельск, ул. Никитова, д. 13

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), Россия, 163002, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 17

a.ilintsev@narfu.ru

Представлены материалы изучения лесных культур, созданных на микроповышениях точечного типа, в условиях Двинско-Вычегодского таежного района. Проведено натурное обследование 17 лесокультурных площадей, где заложили учетные площадки для оценки качества лесных культур и обработки почвы, изучив водно-физические свойства в корнеобитаемом слое в микроповышениях и пасаках, где не было обработки почвы. Установлено, что густота лесных культур в целом соответствует нормативным показателям, заложенным в проектах искусственного лесовосстановления. Определена приживаемость лесных культур, созданных посадочным материалом с закрытой и открытой корневой системой, которая изменяется от 72 до 100 %. Самое высокое значение приживаемости приходится на первый год создания лесных культур сеянцами сосны с закрытой корневой системой, на участках двух- и трехлетних культур приживаемость несколько ниже, особенно при посадке сеянцев ели с открытыми корнями. Приведены результаты корреляционного анализа, показавшего, что наибольшее влияние на приживаемость сеянцев с открытыми корнями оказала влажность почвы ( $r = -0,894$ ,  $p = 0,04$ ). Проанализирована связь между приживаемостью сеянцев и физическими свойствами почвы в посадочных местах. Приведено сравнение свойств почвы в корнеобитаемом слое в микроповышениях и на пасеке, где не проводилась обработка почвы. Выявлено, что плотность сложения почвы в микроповышениях выше на 8 %, а влажность ниже на 11,4 %. Установлено, что это приводит к снижению общей пористости и повышению пористости аэрации в корнеобитаемом слое почвы в микроповышениях. Показано, что обработка почвы путем создания микроповышений с помощью экскаваторов в условиях Севера обеспечивает достаточно благоприятные водно-воздушные свойства посадочных мест для создания лесных культур посадочным материалом сосны и ели как с закрытой, так и открытой корневой системой.

**Ключевые слова:** сплошные вырубki, экскаваторная обработка почвы, физические свойства почвы, лесные культуры, густота, приживаемость

**Ссылка для цитирования:** Ильинцев А.С., Наквасина Е.Н., Богданов А.П., Парамонов А.А. Опыт создания лесных культур на микроповышениях при экскаваторной обработке почвы // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 2. С. 5–16. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-2-5-16

Методы интенсивного лесовосстановления [1], включая механизированную обработку почвы и посадку сеянцев [2], в том числе с улучшенными генетическими свойствами [3], широко распространены в практике ведения лесного хозяйства в странах Скандинавии — Финляндии, Норвегии и Швеции.

Создание микроповышений и дисковое рыхление — два наиболее распространенных механизированных способа обработки почвы [4, 5]. Приподнятые посадочные места формируются в виде дискретных микроповышений при насыпании почвы, в то время как сплошные бермы — при дисковом рыхлении. В большинстве случаев микроповышения образуются с помощью экскаватора [6]. Приподнятые посадочные места состоят из перевернутого слоя лесной подстилки, расположенной на нижележащей неповрежденной лесной подстилке, и покрыты минеральной почвой. Экскаваторная

обработка почвы путем создания микроповышений, как правило, применяется на свежих и влажных участках, где приподнятые посадочные места благоприятны для выживания посадочного материала, а дисковое рыхление, пригодное для всех типов минеральных почв и каменистых участков, не подходит для влажных участков [2].

Микроповышения рекомендуются в качестве мест посадки в различных лесорастительных условиях, поскольку питательные вещества, выделяющиеся при разложении погребенной лесной подстилки, благотворно влияют на рост посадочного материала [4]. Кроме того, приподнятое посадочное место теплее и по сравнению с пониженным, менее подвержено повреждению от морозного пучения и затопления [7–9]. В микроповышениях влажность почвы довольно низкая, так как органический слой внутри них уменьшает капиллярный поток воды снизу [7, 8, 10–12].

Различия типов почв, наличие крупных камней, пней и порубочных остатков на сплошной

вырубке формируют отличия в пределах микроповышений даже на одной лесокультурной площадке [13]. Механизированная обработка почвы обычно проводится за год до посадки, для того чтобы микроповышения слежались. Если внутри микроповышений остается много ветвей, камней или густой наземной растительности, контакт с нижележащей почвой и доступ к капиллярной кайме могут быть нарушены [7, 14].

В настоящее время экскаваторная обработка почвы приобретает все большую популярность среди крупных лесозаготовительных компаний на северо-западе России. Традиционная, с помощью плугов, обработка почвы, может быть затруднена в связи с тем, что на многих вырубках остаются большие объемы непригодной для продажи, неликвидной древесины, порубочных остатков, корней деревьев и пней. Микрорельеф также создает трудности при проведении данной обработки почвы [15]. Древесные остатки могут препятствовать работе тракторных рыхлительно-насыпных агрегатов, поскольку эти остатки имеют тенденцию к накоплению вокруг рыхлителя, что впоследствии повреждает механизм агрегата.

Такие условия, в свою очередь, влияют на качество обработки почвы: борозды или пласты становятся прерывистыми, извилистыми, а глубина обработки почвы — неравномерной. Перед обработкой почвы требуется подготовка участка, предусматривающая частичную узкополосную раскорчевку, для которой требуются специальные орудия [13, 16, 17].

Разработанной альтернативой таким тракторным операциям является экскаваторная обработка почв [18]. Гусеничный экскаватор способен свободно передвигаться на вырубке и с помощью ковша удалять порубочные остатки с отдельных мест для создания микроповышений или минерализованных площадок. Современные исследования в таежных условиях по данному вопросу пока фрагментарны [19].

Использование экскаваторной обработки почвы должно быть строго обосновано с точки зрения соблюдения технологических и экологических требований для обеспечения высокого качества работ в специфических почвенно-лесорастительных условиях. Большое значение имеет изучение положительного опыта создания культур при дискретной экскаваторной обработке почвы для разработки научно-практических рекомендаций в целях последующего внедрения такой обработки в практику ведения лесного хозяйства в условиях Севера.

## Цель работы

Цель работы — оценка опыта применения дискретной (экскаваторной) обработки почвы путем

формирования микроповышений при создании лесных культур в таежных лесах для разработки научно обоснованных предложений в практику ведения лесного хозяйства.

## Материалы и методы

Исследования проведены на 17 лесокультурных площадях в Двинско-Вычегодском таежном лесном районе, в том числе девять из них расположены в Котласском, пять — в Устьянском и три — в Вельском лесничествах (подзона средней тайги). Методика изучения лесных культур основана на рекомендациях, изложенных в работе [17] и нормативном документе [20]. На лесокультурных площадях закладывали учетные площадки размером 25×25 м, которые примыкали одна к другой. Количество учетных площадок зависело от однородности условий произрастания и площади вырубок. Густоту лесных культур устанавливали как число посадочных мест на единицу площади путем их подсчета на учетных площадках с последующим пересчетом на 1 га. Приживаемость рассчитали в процентах на основании количества сохранившихся особей. При определении процента приживаемости число нежизнеспособных (сомнительных) растений делили пополам и половину прибавляли к жизнеспособным.

Для оценки качества обработки почвы на каждой лесокультурной площади отбирали 10 образцов в корнеобитаемом слое почвы в микроповышениях и 10 шт. — в местах, где почва не обрабатывалась (типичные условия роста растений). Сбор и обработку образцов почвы проводили в соответствии с общепринятыми методами [21]. Образцы почвы отбирали с помощью металлического цилиндра с режущими краями (бура) объемом 52,78 см<sup>3</sup> (диаметр 4,1 см, длина 4 см). Бур заглубляли, вдавливая его сверху вниз вручную или забивая с помощью специального направителя так, чтобы захватить середину корнеобитаемого слоя. Далее бур с почвой извлекали, подкапывали лопатой или почвенным ножом, очищали от избытка почвы. Образцы почвы переносили в заранее взвешенные и пронумерованные алюминиевые бюксы.

Все образцы почвы после сбора взвесили на аналитических весах с точностью до 0,01 г. Затем в лаборатории высушили в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы. После этого общепринятыми в почвоведении методами [22] определили основные водно-физические свойства почвы — полевую влажность, плотность сложения, плотность твердой фазы, общую пористость и пористость азрации.

Для проверки исследуемых выборок на нормальность распределения оценили их статисти-

Т а б л и ц а 1

## Характеристика обследованных лесокультурных площадей и посадочного материала

## Characteristics of the surveyed regeneration areas and planting material

Порядковый номер лесокультурной площади	Год создания площади	Лесничество	Площадь, га	Тип лесорастительных условий	Период обработки почвы	Порода	Посадочный материал	
							возраст, лет	тип корневой системы
1	2020	Котласское	16,5	Ельник черничный	Весна — лето	Сосна	1–2	Закрытая
2	2020		21,8					
3	2018		12,1					
4	2017		10,9	Ельник кисличный	Весна	2		
5	2020		14,6	Ельник черничный	Весна — лето	Ель	1–2	
6	2017		18,7		Весна	Сосна	2	
7	2020		3		Весна — лето		1–2	
8	2020		7,8				1	
9	2022		11,7	Сосняк черничный				
10	2020	Устьянское	12	Ельник черничный	Весна	Ель	2	Открытая
11	2021		32,2					
12	2021		4,3	Ельник долгомошный	Осень			
13	2021		15,8	Ельник черничный				
14	2021		21,2					
15	2021	Вельское	6,0	Сосняк брусничный	Лето	Сосна	1	Закрытая
16	2020		18,2	Ельник черничный		Ель		
17	2020		20,2	Сосняк черничный		Сосна		

ческие показатели и применили критерий Колмогорова — Смирнова. Для сравнения физических свойств между микроповышениями и необработанными участками почв применили *t*-критерий на 0,05 уровне вероятности. Для установления взаимосвязи между приживаемостью и физическими свойствами почвы применили коэффициент корреляции Спирмена ( $\rho$ ). Для установления доли прямых и обратных связей применили коэффициент ранговой корреляции Кендалла ( $\tau$ ). Все расчеты выполнены в программе SPSS Statistics 22 (IBM Inc., Armonk, NY, USA).

## Результаты и обсуждение

Лесокультурные площади (табл. 1) представлены различными лесорастительными условиями (ельниками черничными, кисличными, брусничными, долгомошными), на подзолистых почвах (типичных, глееподзолистых) разной степени оподзоливания и, как правило, легкого гранулометрического состава (песчаных, супесчаных, легко- и среднесуглинистых).

Обработка почвы на всех лесокультурных площадях была проведена тяжелыми экскаваторами со стандартным ковшом объемом 0,8...1,0 м<sup>3</sup> (рис. 1).



Рис. 1. Фрагмент изображения лесокультурной площади № 9, полученный с квадрокоптера (светлым показаны подготовленные посадочные места с оголенной минеральной почвой)

Fig. 1. Quadcopter image fragment of regeneration area No. 9 (prepared planting sites with bare mineral soil are shown in light)

На лесокультурных площадях сформированы микроповышения в основном через 1...1,5 м как в пасаках, так и на технологических коридорах. Сезон обработки почвы — преимущественно

Т а б л и ц а 2

## Физические свойства почвы в корнеобитаемом слое на участках исследования

## Physical soil properties in the rooting depth at the study sites

Физические свойства	Пасека	Микроповышение	<i>t</i> -критерий	Вероятность, <i>p</i>
Плотность сложения, г/см <sup>3</sup> среднее значение и основная ошибка интервал значений стандартное отклонение коэффициент вариации, %	1,26 ± 0,016 0,97–1,55 0,21 16,6	1,36 ± 0,013 1,16–1,57 0,16 12,0	4,8	0,000002
Полевая влажность % среднее значение и основная ошибка интервал значений стандартное отклонение коэффициент вариации, %	25,5 ± 1,05 2,3–52,4 13,4 52,6	14,1 ± 0,45 3,2–30,6 5,8 41,4	10,0	0,000001
Общая пористость, % среднее значение и основная ошибка интервал значений стандартное отклонение коэффициент вариации, %	45,9 ± 0,74 36,1–58,5 9,7 21,0	40,0 ± 0,56 32,0–48,6 7,2 18,0	6,4	0,000001
Пористость аэрации, % среднее значение и основная ошибка интервал значений стандартное отклонение коэффициент вариации, %	14,6 ± 0,89 4,9–46,6 11,7 59,0	20,3 ± 0,81 10,3–40,5 10,6 50,5	4,6	0,000005

весна (перед посадкой). При осенней обработке почвы посадку лесных культур проводили на следующий год. На посадке применяли посадочные трубы Pottiputki для семян с закрытой корневой системой (ЗКС) и мечи Колесова для семян с открытой корневой системой (ОКС). На всех участках был использован стандартный районированный посадочный материал ели и сосны.

Свойства корнеобитаемого слоя в местах естественного произрастания растений (на пасеке) и на микроповышениях, подготовленных экскаваторами, различаются, что связано, прежде всего, с механизированным разрыхлением и переслаиванием горизонтов. Важно установить критичность этих различий для роста семян с ОКС и ЗКС.

Значения плотности сложения корнеобитаемого слоя почвы в пасеках (табл. 2), где не было обработки почвы, лежат в широком диапазоне от 0,97 до 1,55 г/см<sup>3</sup> (в среднем составляет 1,26 г/см<sup>3</sup>), что объясняется изучением почв различных по гранулометрическому составу: от песчаных до легкосуглинистых.

Плотность сложения корнеобитаемого слоя в микроповышениях на 8 % выше и в среднем составляет 1,36 г/см<sup>3</sup>. Установлено достоверное различие в плотности сложения между микроповышениями и пасеками, где не было обработки почвы ( $t = 4,8$ ,  $p < 0,05$ ). В первую очередь это связано с обработкой почвы, при которой происходит перемешивание и вынос на поверхность микроповышений почвы из срединных горизонтов с другим, как правило, более тяжелым, гранулометрическим составом, поскольку на севере

почвенные профили имеют малую толщину и широкое развитие двучленных отложений [23].

Одним из технологических приемов при создании микроповышений в весенний и летний сезон является их уплотнение ковшом, для того чтобы создать плоское посадочное место. Учитывая почвенные особенности, в целях недопущения переуплотнения микроповышений данный технологический прием применяется только перед посадкой (при весенне-летней обработке почвы). При осенней обработке почвы микроповышения слеживаются естественным путем и дополнительное уплотнение ковшом может привести к чрезмерному уплотнению корнеобитаемого слоя почвы, что может отразиться на росте семян.

По данным разных авторов [24, 25], оптимальная плотность сложения корнеобитаемого слоя почвы для роста семян и саженцев хвойных древесных пород, в зависимости от гранулометрического состава почв, составляет 1,0...1,3 г/см<sup>3</sup> (см. табл. 2) На суглинистых почвах явное отрицательное влияние на всхожесть семян ели оказывает плотность сложения, составляющая 1,45 г/см<sup>3</sup> [26]. На песчаных почвах уплотнение до 1,5 г/см<sup>3</sup> положительно влияет на приживаемость лесных культур, создаваемых как посевом, так и посадкой [27]. Таким образом, плотность сложения в изучаемых нами микроповышениях лежит в допустимых пределах для роста посадочного материала.

Полевая влажность корнеобитаемого слоя почвы в пасеках составляет от 2,3 до 52,4 % (в среднем 25,5 %) в зависимости от лесорастительных условий (см. табл. 2). Наименьшие зна-

чения влажности отмечены в лесорастительных условиях брусничного типа леса (участок № 15), где отмечается иссушение верхних горизонтов почвы в сухие летние дни. Наибольшие значения влажности отмечены в долгомошных и черничных влажных лесорастительных условиях на лесокультурных площадях № 5, 12–14, где наблюдается близкое залегание поверхностных вод, а в микропонижениях — явления застоя воды. Влажность корнеобитаемого слоя в микроповышениях составляет от 3,2 до 30,6 % (в среднем 14,1 %) и существенно ниже (на 11,4 %) по сравнению с его влажностью на пасаках, где почва не обрабатывалась ( $t = 10,0, p < 0,05$ ). Обработка почвы на микроповышениях может вызвать подсушивание в сухих местообитаниях, однако в условиях переувлажнения позволяет снизить избыточную влажность корнеобитаемого слоя почвы, что благоприятно отражается на аэрации.

Общая пористость в верхних минеральных горизонтах в пасаках изменяется в пределах от 36,1 до 58,5 % (в среднем 45,9 %) (см. табл. 2). Наименьшие значения общей пористости отмечены в долгомошных и черничных влажных лесорастительных условиях на лесокультурных площадях № 5, 12–14. Наибольшие значения общей пористости отмечены в сухих лесорастительных условиях, например на лесокультурной площади № 15 (брусничный тип леса). Общая пористость в микроповышениях на 5,9 % ниже и изменяется в пределах от 30,2 до 48,6 % (в среднем 40,0 %). Установлено достоверное различие общей пористости между микроповышениями и пасаками, где почва не обрабатывалась ( $t = 6,4, p < 0,05$ ).

В большинстве случаев общая пористость почв пасаек и микроповышений ниже оптимальных значений для роста растений (>50 %), установленных для пахотных горизонтов почв [28]. Исследования на различных вырубках в условиях средней тайги показывают, что для верхних минеральных горизонтов лесных почв характерны низкие значения общей пористости, которые обычно составляют от 40 до 55 % [29]. Причинами низких значений общей пористости в почвах микроповышений могут служить, как отмечалось выше, эффект уплотнения ковшем при обработке почвы, а также вынос в корнеобитаемый слой нижних горизонтов почвы с более тяжелым гранулометрическим составом.

Средние значения пористости аэрации почв на пасаках изменяются в пределах от 4,9 до 46,6 % (в среднем 14,6 %) (см. табл. 2). Наименьшие значения доли крупных пор, как и общей пористости, также отмечены на лесокультурных площадях № 5, 12–14 с полугидроморфными почвами. Наибольшие значения характерны на лесокультурных площадях № 4 и 15 в лесокультурных условиях

ельника кисличного и сосняка брусничного. Несмотря на повышение значений плотности сложения и снижение значений общей пористости в микроповышениях, пористость аэрации в их корнеобитаемом слое изменяется в пределах от 10,3 до 40,5 % (в среднем 20,3 %), что на 5,7 % выше, чем на пасаках. Установлено достоверное различие пористости аэрации между микроповышениями и пасаками, где почва не обрабатывалась ( $t = 4,6, p < 0,05$ ). На микроповышениях, созданных в результате экскаваторной обработки, доля крупных пор в корнеобитаемом слое за счет механической перевалки почвы становится выше, а мелких (капиллярных), способных удерживать воду, — ниже.

Считается, что оптимальные значения пористости аэрации для корнеобитаемого слоя составляют от 15 до 30 % и связаны с ее гранулометрическим составом. На нижнем пределе пористости аэрации отмечается снижение роста корней растений [30–32]. Корни деревьев, как правило, хорошо функционируют при содержании кислорода в почве более 10 % [33, 34]. Рост корней прекращается при пористости аэрации на уровне 2 % [35].

Несмотря на то, что при экскаваторной обработке почвы пористость аэрации повышается по сравнению с необработанной почвой, в некоторых случаях она достигает критических значений в переуплотненных микроповышениях на части лесокультурных площадей со среднесуглинистыми почвами (черничный тип лесорастительных условий). На почвах с легким гранулометрическим составом наблюдаются излишки пористости аэрации — более 40 %, что может привести к пересыханию корней. Этот показатель (пористость аэрации) в условиях Севера может оказаться лимитирующим, обуславливая необходимость контроля, в зависимости от типа лесорастительных условий, в отношении дополнительного технологического приема по уплотнению поверхности микроповышений ковшем.

Результаты обследования лесных культур (табл. 3) показывают, что их густота в целом соответствует нормативным показателям, заложенным в проектах искусственного лесовосстановления в соответствии с установленными требованиями.

На лесокультурной площади № 9 в первый год посадки отмечено 2152 шт. семян сосны с ЗКС, что на 8 % выше нормативной густоты. На двухлетних лесокультурных площадях № 11–14, где посадка проводилась елью с ОКС, отмечено от 2555 до 2996 шт. семян. На этих участках при создании лесных культур сеянцами с ОКС была увеличена нормативная густота посадки культур на 10...15 % с учетом ожидаемого отпада. Это могло быть связано с качеством используемого

## Характеристика лесных культур на момент обследования (2022 г.)

## Characteristics of forest crops at the time of the survey (2022)

№ площади	Возраст культур, лет	Порода	Густота культур, шт./га		Приживаемость, %	
			среднее значение	основная ошибка	среднее значение	основная ошибка
1	3	Сосна	1816	202	83	6
2	3		1866	149	87	4
3	5		1560	66	76	3
4	6		1628	113	80	6
5	3	Ель	1792	69	87	3
6	6	Сосна	1680	107	82	5
7	3		1840	48	91	2
8	3		1856	24	92	1
9	1		2152	40	100	0
10	3	Ель	2992	172	82	4
11	2		2955	64	82	2
12	2		2996	132	82	3
13	2		2760	110	74	5
14	2		2555	208	72	7
15	2	Сосна	2036	32	94	1
16	3	Ель	1896	65	93	4
17	3	Сосна	2044	20	96	2



а



б

**Рис. 2.** Сеянцы сосны с ЗКС на лесокультурной площади № 9 (а) и сеянцы ели с ОКС на лесокультурной площади № 12 (б)

**Fig. 2.** Pine forest crops created with ball-rooted tree seedlings in the planting area No. 9 (a) and Spruce seedlings with bare roots in the planting area No. 12 (b)

посадочного материала, а также с ограниченным сроком его покупки и посадки, требующим бережных хранения и транспортирования, быстрой высадки. Посадочный материал с ЗКС характеризуется более широкими сроками посадки и высокой приживаемостью [36]. Исследования [37] показали успешность использования в лесной зоне обоих видов посадочного материала.

Приживаемость лесных культур на участках исследования изменяется в пределах от 72 % до 100 % (см. табл. 3). Самая высокая приживаемость отмечается в первый год создания лес-

ных культур сеянцами с ЗКС на лесокультурной площади № 9 (рис. 2, а). На участках двух- и трехлетних культур приживаемость составляет 72...87 % (например, лесокультурные площади № 1, 2, 10–14). Низкая приживаемость отмечена при посадке сеянцев ели с ОКС (рис. 2, б).

Оценка качества лесных культур по приживаемости показывает, что в целом они удовлетворяют допустимой приживаемости — 85 %, которая установлена в действующих правилах лесовосстановления [20]. Более низкие критерии приводятся в специальной литературе, где отме-



а



б

**Рис. 3.** Общий вид лесных культур сосны с ЗКС (а) и искривление стволика сосны (б) на лесокультурной площади № 4

**Fig. 3.** General view of the forest crops created with ball-rooted tree seedlings and the curvature of the pine stem (a) in the regeneration area No. 4 (b)

чено, что приживаемость для двухлетней сосны должна быть выше 80 %, а для ели — 75 % [38]. На лесокультурных площадях № 13 и 14, где проведена посадка ели с ОКС, отмечена приживаемость ниже рекомендуемых предельных значений.

К шестилетнему возрасту культур приживаемость сосны с ЗКС составляет примерно 80 %. Несмотря на то что в напочвенном покрове доминируют такие стресс-толеранты и рудералы, как вейник тростниковидный, иван-чай узколистный, сныть обыкновенная, звездчатка жестколистная, сеянцы с ЗКС хорошо адаптировались к таким условиям (рис. 3, а). На части лесокультурных площадей наблюдается искривление стволиков сосны, которая была неудачно посажена в бок микроповышения (рис. 3, б). Сосна, произрастающая на таких участках, развивает одностороннюю корневую систему и становится неустойчивой против ветра.

В зависимости от первоначальной густоты посадки культур количество высаживаемых сеянцев с ЗКС и ОКС в одно микроповышение в среднем составляет от 2 до 5 шт. Количество создаваемых микроповышений на обследуемых лесокультурных площадях изменяется в широком диапазоне — от 653 до 1080 шт./га. Это обеспечивает заданную нормативную густоту посадки лесных культур.

Наличие порубочных остатков, пней, оставляемых деревьев может повлиять на количество/качество и расположение микроповышений на лесокультурной площади. При небольшом количестве подготовленных микроповышений количество высаженного посадочного материала с ОКС может составлять от 4 до 6 экз. на одно микроповышение (рис. 4).



**Рис. 4.** Лесные культуры ели с ОКС, высаженные в микроповышения на лесокультурной площади № 10

**Fig. 4.** Spruce forest crops with bare roots planted in spot mounding in the regeneration area no. 10

Большое количество высаженных сеянцев на одно микроповышение может отрицательно повлиять на дальнейшую приживаемость (сохранность) лесных культур, а также на последующие рост и развитие.

Проведенный корреляционный анализ (в целом по 17 лесокультурным площадям) не показал достоверную взаимосвязь между физическими свойствами корнеобитаемого слоя почвы в микроповышениях и приживаемостью лесных культур ( $r = -0,182-0,176$ ,  $p = 0,5-0,9$ ). Это объясняется прежде всего использованием разного посадочного материала (с ОКС или с ЗКС), сеянцы которого по-разному адаптируются при посадке на лесокультурную площадь.

На 12 площадях лесные культуры были созданы сеянцами с ЗКС, которые в первые 1–2 года после посадки не зависят от физических свойств исходной почвы, а в большей степени используют

питательные вещества кома, кроме того, корни сеянцев испытывавшие стресс, не выходят за пределы кома [39]. Вследствие этого физические свойства почвы в микроповышениях, созданных экскаваторами, не влияют на приживаемость культур с ЗКС ( $\rho = -0,063-0,245$ ,  $p = 0,4-0,8$ ).

При проверке связи между физическими свойствами почвы и приживаемостью сеянцев с ОКС (по пяти площадям) была установлена высокая прямая связь между приживаемостью лесных культур ели и плотностью сложения почвы в пределах  $1,33...1,42$  г/см<sup>3</sup> ( $\rho = 0,783$ ). Однако коэффициент значимости находится на верхнем уровне статистической тенденции ( $p = 0,1$ ), т. е. в 79 % случаев с увеличением плотности сложения почвы в микроповышениях (по крайней мере при значениях до  $1,42$  г/см<sup>3</sup>) приживаемость сеянцев увеличивается. Возможно, это связано с повышением плотности почвы до определенных значений, при которых возможен успешный рост корней сеянцев, ассимилирующихся в лесной почве.

Большое влияние на приживаемость лесных культур ели с ОКС оказывает влажность корнеобитаемого слоя почвы в пределах  $16,9...23,1$  %. Установлена обратная высокая связь между исследуемыми переменными ( $\rho = -0,894$ ,  $p = 0,04$ ). В 92 % случаях со снижением влажности в этих пределах увеличивается приживаемость культур. Фактор увлажнения является определяющим при адаптации сеянцев [36], его влияние может быть выше, чем наличие питательных веществ [40]. В то же время в условиях переувлажнения снижение избыточной влажности является важным условием для создания благоприятных почвенных условий посадочных (посевных) мест. Это необходимо для почв, где отмечается стояние близких к поверхности почвенных вод — верховодка. В осенний и весенний, а иногда и летний, периоды на Севере почвы характеризуются плохим дренажом и нарушенным водно-воздушным режимом, что часто связано с близким расположением тяжелых почвообразующих пород. Такие особенности наблюдаются в различных типах леса, в том числе в черничном, где и созданы изучаемые культуры. Поэтому на вырубках данного типа с периодическим переувлажнением требуется обработка почвы с обязательным отводом поверхностных вод (удаление излишней влаги в весенний и осенний периоды). Создаваемые экскаватором микроповышения могут быть аналогами такой обработки и обеспечивать положительный эффект.

Такие показатели физических свойств почвы в микроповышениях, как общая пористость и пористость аэрации не показали достоверной связи с приживаемостью сеянцев ели с ОКС на лесокультурных площадях ( $\rho = -0,447$ ,  $p = 0,5$ ;  $\rho = 0,447$ ,  $p = 0,5$ ).

## Выводы

Опыт современной практики искусственного лесовосстановления на территории Двинско-Вычегодского лесного района показывает, что при обработке холодных и бедных почв на вырубках в условиях Севера важно наиболее рационально использовать почвенные ресурсы (водно-воздушный и тепловой режим) для повышения приживаемости лесных культур.

Обработка почвы с помощью экскаваторной техники изменяет свойства почвы в создаваемых микроповышениях, которые могут оказывать как положительный, так и отрицательный эффект для роста сеянцев. Это зависит прежде всего от типа лесорастительных условий и позволяет ориентировать исследования на разработку рекомендательных мер по совершенствованию технологических приемов их подготовки.

Оценка качества лесных культур показала, что лесные культуры сосны и ели, созданные с использованием сеянцев с ОКС и ЗКС, в большинстве случаев имеют удовлетворительное состояние и достаточно высокую приживаемость.

В дальнейшем целесообразно направить исследования на расширение набора вариантов, связанных с породой и типами лесорастительных условий, и обратить внимание на параметры адаптации сеянцев с ОКС к почвенным свойствам на лесокультурных площадях в условиях микроповышений.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований (№ 122020100319-9).*

## Список литературы

- [1] Simonsen R., Rosvall O., Gong P., Wibe S. Profitability of measures to increase forest growth // *Forest Policy and Economics*, 2010, v. 12, no. 6, pp. 473–482.
- [2] Sikström U., Hjelm K., Hanssen K.H., Saksa T., Wallertz K. Influence of mechanical site preparation on regeneration success of planted conifers in clearcuts Fennoscandia – a review // *Silva Fennica*, 2020, v. 54, no. 2, pp. 1–35. <https://doi.org/10.14214/sf.10172>
- [3] Jansson G., Hansen J.K., Haapanen M., Kvaalen H., Steffenrem A. The genetic and economic gains from forest tree breeding programmes in Scandinavia and Finland // *Scandinavian J. of Forest Research*, 2017, v. 32, no. 4, pp. 273–286.
- [4] Häggström B., Domevsicik M., Öhlund J., Nordin A. Survival and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings in north Sweden: effects of planting position and arginine phosphate addition // *Scandinavian J. of Forest Research*, 2021, v. 36, no. 6, pp. 423–433. <https://doi.org/10.1080/02827581.2021.1957999>
- [5] Luoranen J., Laine T., Saksa T. Field performance of sand-coated (Conniflex®) Norway spruce seedlings planted in mounds made by continuously advancing moulder and in

- undisturbed soil // *Forest Ecology and Management*, 2022, v. 517, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120259>
- [6] Ramantswana M., Guerra S.P.S., Ersson B.T. Advances in the mechanization of regenerating plantation forests: a review // *Curr. For. Rep.*, 2020, v. 6, no. 2, pp. 143–158. <https://doi.org/10.1007/s40725-020-00114-7>
- [7] Örlander G., Gemmel P., Hunt J. Site preparation: A Swedish overview (No. 105). BC Ministry of Forests, 1990, 62 p.
- [8] Burton P., Bedford L., Goldstein M., Osberg M. Effects of disk trench orientation and planting spot position on the ten-year performance of lodgepole pine // *New For.*, 2000, v. 20, no. 1, pp. 23–44
- [9] Langvall O., Nilsson U., Örlander G. Frost damage to planted Norway spruce seedlings — influence of site preparation and seedling type // *Forest Ecology and Management*, 2001, v. 141, no. 3, pp. 223–235.
- [10] Örlander G., Hallsby G., Gemmel P., Wilhelmsson C. Inverting improves establishment of *Pinus contorta* and *Picea abies* — 10-year results from a site preparation trial in Northern Sweden // *Scandinavian J. of Forest Research*, 1998, v. 13, no. 1–4, pp. 160–168.
- [11] de Chantal M., Leinonen K., Ilvesniemi H., Westman C.J. Combined effects of site preparation, soil properties, and sowing date on the establishment of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* from seeds // *Canadian J. of Forest Research*, 2003, v. 33, no. 5, pp. 931–945.
- [12] Варфоломеев Л.А., Сунгуров Р.В. Почвенная экология лесных культур на Севере. Архангельск: Изд-во Северного научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2007. 291 с.
- [13] Sutton R.F. Mounding site preparation: a review of European and north American experience // *New For.*, 1993, v. 7, no. 2, pp. 151–192.
- [14] Grossnickle S.C. Importance of root growth in overcoming planting stress // *New For.*, 2005, v. 30, no. 2–3, pp. 273–294.
- [15] Мочалов Б.А. Подготовка почвы и выбор посадочного места при создании лесных культур сосны из семян с закрытыми корнями // *ИзВУЗ Лесной журнал*, 2014. № 4. С. 9–18.
- [16] Бабич Н.А., Набатов Н.М. Лесные культуры. Архангельск: Изд-во Северного (Арктического) федерального университета, 2010. 166 с.
- [17] Малаховец П.М. Лесные культуры. Архангельск: Изд-во ИПЦ САФУ, 2012. 223 с.
- [18] Hall P. Mechanical site preparation using excavators // *New Zealand Journal of Forestry*, 1995, pp. 31–35.
- [19] Морозов А.Е., Батурич С.В. Эффективность лесовосстановления на сплошных вырубках после применения комплексов многооперационных лесозаготовительных машин в условиях Бисерского лесничества Пермского края // *Леса России и хозяйство в них*, 2020. № 2 (73). С. 50–57.
- [20] Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления: Приказ Минприроды России от 29.12.2021 № 1024. URL: <https://docs.cntd.ru/document/728111110> (дата обращения 01.10.2022).
- [21] Наквасина Е.Н., Серый В.С., Семенов Б.А. Полевой практикум по почвоведению. Архангельск: Изд-во Архангельского ГТУ, 2007. 127 с.
- [22] Наквасина Е.Н., Любова С.В. Почвоведение. Архангельск: Изд-во САФУ, 2016. 146 с.
- [23] Скларов Г.А., Шарова А.С. Почвы лесов Европейского Севера. М.: Наука, 1970. 271 с.
- [24] Бондарев А.Г. Физические свойства почв как теоретическая основа прогноза их уплотнения // *Влияние сельскохозяйственной техники на почву*. М.: Наука, 1981. С. 80–85.
- [25] Серый В.С., Аникеева В.А., Вялых Н.И., Кубрак Н.И. Изменение лесорастительных условий вырубках при современных лесозаготовках // *Экологические исследования в лесах Европейского Севера*. Архангельск, 1991. С. 3–15.
- [26] Соколовская Н.А., Ревут К.Б., Маркова И.А., Шевляков И.Р. Роль плотности почв при лесовосстановлении // *Лесоведение*, 1977. № 2. С. 44–55.
- [27] Серый В.С., Вялых Н.И., Крюкова М.М., Гулая З.И. Лесоводственная оценка использования валочно-трелевочных машин ЛП-49 // *Материалы отчетной сессии по итогам научно-исследовательских работ за 1989 год*. Архангельск, 1990. С. 35–37.
- [28] Шейн Е.В. Курс физики почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.
- [29] Ilintsev A., Bogdanov A., Nakvasina E., Amosova I., Koptev S., Tretyakov S. The natural recovery of disturbed soil, plant cover and trees after clear-cutting in the Boreal Forests, Russia // *iForest*, 2020, v. 13, pp. 531–540. <https://doi.org/10.3832/for3371-013>
- [30] Richards D., Cockroft B. Soil physical properties and root concentrations in an irrigated apple orchard // *Australian J. of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 1974, v. 14, pp. 103–107.
- [31] Page-Dumroese D.S., Harvey A.E., Jurgensen M.F., Amaranthus M.P. Impacts of soil compaction and tree stump removal on soil properties and outplanted seedlings in northern Idaho, USA // *Canadian J. of Forest Research*, 1998, v. 28, pp. 29–34. <https://doi.org/10.4141/S97-022>
- [32] Карпечко А.Ю. Изменение плотности и коренасыщенности почв под влиянием лесозаготовительной техники в еловых лесах южной Карелии // *Лесоведение*, 2008. № 5. С. 66–70.
- [33] Grable A.R., Siemer E.G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials, and elongation of corn roots // *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1968, v. 32, pp. 180–186.
- [34] Kozłowski T.T. Soil aeration, flooding and tree growth // *J. of Arboriculture*, 1985, v. 11, pp. 85–96.
- [35] Osman K.T. *Forest Soils: Properties and Management*. Switzerland: Springer Science & Business Media, 2013, 217 p. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-02541-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-02541-4_2)
- [36] Бартевев И.М. К вопросу создания лесных культур посадкой ПЗМК // *Лесотехнический журнал*, 2013. № 2. С. 123–130.
- [37] Мочалов Б.А., Сеньков А.О. Рост семян сосны с закрытыми и открытыми корнями в культурах таежной зоны // *ИзВУЗ Лесной журнал*, 2007. № 4. С. 145–147.
- [38] Львов П.Н., Ипатов Л.Ф., Клинов Р.Н., Наквасина Е.Н. Планирование и организация работ по естественному и искусственному лесовосстановлению в зоне тайги: технические указания. Архангельск: РИО АЛТИ, 1986. 36 с.
- [39] Гладинов А.Н., Коновалова Е.В., Сдобоева С.С. Сравнительные результаты использования семян сосны обыкновенной с открытой и закрытой корневой системой при искусственном лесовосстановлении в условиях Западного Забайкалья // *Успехи современного естествознания*, 2021. № 11. С. 7–12.
- [40] Nzokou P., Cregg B.M. Morphology and foliar chemistry of containerized *Abies fraseri* (Pursh) Poir. seedlings as affected by water availability and nutrition // *Annals of Forest Science*, 2010, v. 67, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1051/forest/2010015>

## Сведения об авторах

**Ильинцев Алексей Сергеевич**✉ — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр., ФБУ «СевНИИЛХ», доцент кафедры лесоводства и лесоустройства, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», a.ilintsev@narfu.ru

**Наквасина Елена Николаевна** — д-р. с.-х. наук, проф., ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»; вед. науч. сотр., ФБУ «СевНИИЛХ», nakvasina@yandex.ru

**Богданов Александр Петрович** — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр., ФБУ «СевНИИЛХ», доцент кафедры лесоводства и лесоустройства, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», aleksandr\_bogd@mail.ru

**Парамонов Андрей Алексеевич** — канд. с.-х. наук, науч. сотр., ФБУ «СевНИИЛХ», a.paramonov@sevniih-arh.ru

Поступила в редакцию 30.03.2023.

Одобрено после рецензирования 08.11.2023.

Принята к публикации 06.02.2024.

## FOREST CROPS AT SPOT MOUNDS AFTER EXCAVATOR SOIL CULTIVATION

A.S. Ilintsev<sup>1, 2✉</sup>, E.N. Nakvasina<sup>1, 2</sup>, A.P. Bogdanov<sup>1, 2</sup>, A.A. Paramonov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Northern Research Institute of Forestry, 13, Nikitova st., 163062, Arkhangelsk, Russia.

<sup>2</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia

a.ilintsev@narfu.ru

The article presents the study materials of forest crops created at spot mounds in the climate conditions of the Dvinsk-Vyhegodsk taiga region. We conducted a field survey of 17 forest-cultivated areas, where we laid quadrats for assessing the quality of forest crops and site preparation. We studied the water-physical properties in the rooting depth at spot mounds and cutting strips where there was no soil cultivation. It has been established that the density of forest crops generally corresponds to the regulatory limits designed in artificial reforestation projects. We have determined the survival rate of forest crops created by planting material with a root-balled and bare root tree system, which varies from 72 to 100 %. The plantations showed the highest survival rate during the first year especially pine crops with a root-balled system, in areas of two- and three-year-old crops, the survival rate is slightly lower, especially when planting bare root spruce seedlings. The results of a correlation analysis are presented, which showed that soil moisture had the greatest effect on the survival of bare root seedlings ( $\rho = -0,894$ ,  $p = 0,04$ ). We have analyzed the relationship between the survival rate of seedlings and the physical properties of the soil in the planting spots. We have compared the properties of the soil in the rooting depth at spot mounds and cutting strips, where no soil cultivation was carried out. It was revealed that the soil bulk density at spot mounds was 8 % higher, and humidity was 11,4 % lower. We have found that this leads to a decrease in the total porosity and an increase in the porosity of aeration in the rooting depth of the soil at spot mounds. It is shown that soil cultivation by creating spot mounds by excavators in the conditions of the North provides sufficiently favorable water-air properties of planting sites for the creation of forest crops with pine and spruce planting material with both ball-root and bare root system.

**Keyword:** clear cuts, excavator tillage, physical soil properties, forest crops, density, survival rate

**Suggested citation:** Ilintsev A.S., Nakvasina E.N., Bogdanov A.P., Paramonov A.A. *Опыт создания лесных культур на микроповышениях при экскаваторной обработке почвы* [Forest crops at spot mounds after excavator soil cultivation]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 2, pp. 5–16.

DOI: 10.18698/2542-1468-2024-2-5-16

## References

- [1] Simonsen R., Rosvall O., Gong P., Wibe S. Profitability of measures to increase forest growth. *Forest Policy and Economics*, 2010, v. 12, no. 6, pp. 473–482.
- [2] Sikström U., Hjelm K., Hanssen K.H., Saksa T., Wallertz K. Influence of mechanical site preparation on regeneration success of planted conifers in clearcuts Fennoscandia — a review. *Silva Fennica*, 2020, v. 54, no. 2, pp. 1–35. <https://doi.org/10.14214/sf.10172>
- [3] Jansson G., Hansen J.K., Haapanen M., Kvaalen H., Steffenrem A. The genetic and economic gains from forest tree breeding programmes in Scandinavia and Finland. *Scandinavian J. of Forest Research*, 2017, v. 32, no. 4, pp. 273–286.

- [4] Häggström B., Domevcik M., Öhlund J., Nordin A. Survival and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings in north Sweden: effects of planting position and arginine phosphate addition. *Scandinavian J. of Forest Research*, 2021, v. 36, no. 6, pp. 423–433. <https://doi.org/10.1080/02827581.2021.1957999>
- [5] Luoranen J., Laine T., Saksä T. Field performance of sand-coated (Conniflex®) Norway spruce seedlings planted in mounds made by continuously advancing moulder and in undisturbed soil. *Forest Ecology and Management*, 2022, v. 517, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120259>
- [6] Ramantswana M., Guerra S.P.S., Ersson B.T. Advances in the mechanization of regenerating plantation forests: a review. *Curr. For. Rep.*, 2020, v. 6, no. 2, pp. 143–158. <https://doi.org/10.1007/s40725-020-00114-7>
- [7] Örlander G., Gemmel P., Hunt J. Site preparation: A Swedish overview (no. 105). BC Ministry of Forests, 1990, 62 p.
- [8] Burton P., Bedford L., Goldstein M., Osberg M. Effects of disk trench orientation and planting spot position on the ten-year performance of lodgepole pine. *New For.*, 2000, v. 20, no. 1, pp. 23–44
- [9] Langvall O., Nilsson U., Örlander G. Frost damage to planted Norway spruce seedlings — influence of site preparation and seedling type. *Forest Ecology and Management*, 2001, v. 141, no. 3, pp. 223–235.
- [10] Örlander G., Hallsby G., Gemmel P., Wilhelmsson C. Inverting improves establishment of *Pinus contorta* and *Picea abies* — 10-year results from a site preparation trial in Northern Sweden. *Scandinavian J. of Forest Research*, 1998, v. 13, no. 1–4, pp. 160–168.
- [11] de Chantal M., Leinonen K., Ilvesniemi H., Westman C.J. Combined effects of site preparation, soil properties, and sowing date on the establishment of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* from seeds. *Canadian J. of Forest Research*, 2003, v. 33, no. 5, pp. 931–945.
- [12] Varfolomeev L.A., Sungurov R.V. *Pochvennaya ekologiya lesnykh kul'tur na Severe* [Soil ecology of forest crops in the North]. Arkhangel'sk: Severnyy nauchno-issledovatel'skiy institut lesnogo khozyaystva, 2007, 291 p.
- [13] Sutton R.F. Mounding site preparation: a review of European and north American experience. *New For.*, 1993, v. 7, no. 2, pp. 151–192.
- [14] Grossnickle S.C. Importance of root growth in overcoming planting stress. *New For.*, 2005, v. 30, no. 2–3, pp. 273–294.
- [15] Mochalov B.A. *Podgotovka pochvy i vybor posadochnogo mesta pri sozdanii lesnykh kul'tur sosny iz seyancev s zakrytymi korniyami* [Soil cultivation and selection planting site attached to pine artificial stands creation from containerized seedlings]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2014, no. 4, pp. 9–18.
- [16] Babich N.A., Nabatov N.M. *Lesnye kul'tury* [Forest crops]. Arkhangel'sk: Northern (Arctic) Federal University, 2010, 166 p.
- [17] Malahov P.M. *Lesnye kul'tury* [Forest crops]. Arkhangel'sk: CPI SAFU, 2012, 223 p.
- [18] Hall P. Mechanical site preparation using excavators. *New Zealand Journal of Forestry*, 1995, pp. 31–35.
- [19] Morozov A.E., Baturin S.V. *Effektivnost' lesovosstanovleniya na sploshnykh vyrubkakh posle primeneniya kompleksov mnogooperatsionnykh lesozagotovitel'nykh mashin v usloviyakh Biserskogo lesnichestva Permskogo kraya* [The effectiveness of reforestation in clear cuts after the use of multi-operational logging machines in the conditions of the Bisersky forestry of the Perm Region]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh*, 2020, no. 2 (73), pp. 50–57.
- [20] *Ob utverzhdenii Pravil lesovosstanovleniya, formy, sostava, poryadka soglasovaniya proekta lesovosstanovleniya, osnovaniy dlya otkaza v ego soglasovanii, a takzhe trebovaniy k formatu v elektronnoy forme proekta lesovosstanovleniya: Prikaz Minprirody Rossii ot 29.12.2021 N 1024* [On approval of the Rules of reforestation, form, composition, procedure for approving the reforestation project, grounds for refusal to approve it, as well as requirements for the format in electronic form of the reforestation project: Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 29.12.2021 N 1024]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/728111110> (accessed 01.10.2022).
- [21] Nakvasina E.N., Seryy V.S., Semenov B.A. *Polevoy praktikum po pochvovedeniyu* [Field workshop on soil science]. Arkhangel'sk: Arkhangel'skiy GTU [Arkhangel. State Technical University], 2007, 127 p.
- [22] Nakvasina E.N., Lyubova S.V. *Pochvovedenie* [Soil science]. Arkhangel'sk: SAFU, 2016, 146 p.
- [23] Sklyarov G.A., Sharova A.S. *Pochvy lesov Evropeyskogo Severa* [Forest soils of the European North]. Moscow: Nauka, 1970, 271 p.
- [24] Bondarev A.G. *Fizicheskie svoystva pochv kak teoreticheskaya osnova prognoza ikh uplotneniya* [Physical properties of soils as a theoretical basis for the forecast of their compaction]. *Vliyaniye sel'skokhozyaystvennoy tekhniki na pochvu* [The influence of agricultural machinery on the soil]. Moscow: Nauka, 1981, pp. 80–85.
- [25] Seryy V.S., Anikeeva V.A., Vyalykh N.I., Kubrak N.I. *Izmeneniye lesorastitel'nykh usloviy vyrubok pri sovremennykh lesozagotovkakh* [Changing Forest Site of Cuttings in Modern Logging]. *Ekologicheskie issledovaniya v lesakh Evropeyskogo Severa* [Proceedings of Environmental Studies in the Forests of the European North]. Arkhangel'sk: AILiLKh, 1991, pp. 3–15.
- [26] Sokolovskaya N.A., Revut K.B., Markova I.A., Shevlyakov I.R. *Rol' plotnosti pochv pri lesovosstanovlenii* [The role of soil bulk density in reforestation]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1977, no. 2, pp. 44–55.
- [27] Seryy V.S., Vyalykh N.I., Kryukova M.M., Gulaya Z.I. *Lesovodstvennaya otsenka ispol'zovaniya valochno-trelevochnykh mashin LP-49* [Forestry assessment of the use of felling and skidding machines LP-49]. *Materialy otchetnoy sessii po itogam nauchno-issledovatel'skikh rabot za 1989 god* [Materials of the reporting session on the results of research works for 1989]. Arkhangel'sk, 1990, pp. 35–37.
- [28] Shein E.V. *Kurs fiziki pochv* [Course of soil physics]. Moscow: MSU, 2005, 432 p.
- [29] Ilintsev A., Bogdanov A., Nakvasina E., Amosova I., Koptev S., Tretyakov S. The natural recovery of disturbed soil, plant cover and trees after clear-cutting in the Boreal Forests, Russia. *iForest*, 2020, v. 13, pp. 531–540. <https://doi.org/10.3832/IFOR3371-013>
- [30] Richards D., Cockroft B. Soil physical properties and root concentrations in an irrigated apple orchard. *Australian J. of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 1974, v. 14, pp. 103–107.
- [31] Page-Dumroese D.S., Harvey A.E., Jurgensen M.F., Amaranthus M.P. Impacts of soil compaction and tree stump removal on soil properties and outplanted seedlings in northern Idaho, USA. *Canadian J. of Forest Research*, 1998, v. 78, pp. 29–34. <https://doi.org/10.4141/S97-022>
- [32] Karpechko A.Yu. *Izmeneniye plotnosti i kornenasyshchennosti pochv pod vliyaniem lesozagotovitel'noy tekhniki v elovykh lesakh yuzhnoy Karelii* [Changes in density and root mass in soils under the influence of harvesting machines in spruce forests of Southern Karelia]. *Lesovedenie* [Russian J. of Forest Science], 2008, no. 5, pp. 66–70.

- [33] Grable A.R., Siemer E.G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials, and elongation of corn roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1968, v. 32, pp. 180–186.
- [34] Kozłowski T.T. Soil aeration, flooding and tree growth. *J. of Arboriculture*, 1985, v. 11, pp. 85–96.
- [35] Osman K.T. *Forest Soils: Properties and Management*. Switzerland: Springer Science & Business Media, 2013, 217 p. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-02541-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-02541-4_2)
- [36] Bartenev I.M. *K voprosu sozdaniya lesnykh kul'tur posadkoy PZMK* [On the issue of creating forest crops by planting PZMC]. *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 2013, no. 2, pp. 123–130.
- [37] Mochalov B.A., Sen'kov A.O. *Rost seyantsev sosny s zakrytymi i otkrytymi kornyami v kul'turakh taezhnoy zony* [Growth of bare-root and containerized pine seedlings in cultures of taiga zone]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2007, no. 4, pp. 145–147.
- [38] L'vov P.N., Ipatov L.F., Klinov R.N., Nakvasina E.N. *Planirovanie i organizatsiya rabot po estestvennomu i iskusstvennomu lesovosstanovleniyu v zone taygi: tekhnicheskie ukazaniya* [Planning and organization of works on natural and artificial reforestation in the taiga zone: technical instructions]. Arkhangelsk: RIO ALTI, 1986, 36 p.
- [39] Gladinov A.N., Konovalova E.V., Sodboeva S.Ch. *Sravnitel'nye rezul'taty ispol'zovaniya seyantsev sosny obyknovennoy s otkrytoy i zakrytoy kornevoy sistemoy pri iskusstvennom lesovosstanovlenii v usloviyakh Zapadnogo Zabaykal'ya* [Results of a comparative analysis of the use of scottal pine seedlings with open and closed root system under artificial forest recovery in the conditions of western transbaikalie]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2021, no. 11, pp. 7–12.
- [40] Nzokou P., Cregg B.M. Morphology and foliar chemistry of containerized *Abies fraseri* (Pursh) Poir. seedlings as affected by water availability and nutrition. *Annals of Forest Science*, 2010, v. 67, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1051/forest/2010015>

*The work was carried out within the framework of the state assignment of FBU «SevNIILKh» for conducting applied scientific research (№ 122020100319-9).*

## Authors' information

**Ilintsev Aleksey Sergeevich**  — Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the Northern Research Institute of Forestry; Associate Professor of the Department of Forestry and Forest Management of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, [a.ilintsev@narfu.ru](mailto:a.ilintsev@narfu.ru)

**Nakvasina Elena Nikolaevna** — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Department of Forestry and Forest Management of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov; Leading Researcher of the Northern Research Institute of Forestry, [nakvasina@yandex.ru](mailto:nakvasina@yandex.ru)

**Bogdanov Aleksandr Petrovich** — Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the Northern Research Institute of Forestry; Associate Professor of the Department of Forestry and Forest Management of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, [aleksandr\\_bogd@mail.ru](mailto:aleksandr_bogd@mail.ru)

**Paramonov Andrey Alekseevich** — Cand. Sci. (Agriculture), Researcher of the Northern Research Institute of Forestry, [a.paramonov@sevniilh-arh.ru](mailto:a.paramonov@sevniilh-arh.ru)

Received 30.03.2023.

Approved after review 08.11.2023.

Accepted for publication 06.02.2024.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article  
The authors declare that there is no conflict of interest