

Обзор

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/7>

УДК 630\*181.36:631.31



## ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ОРУДИЙ В УСЛОВИЯХ НЕРАСКОРЧЕВАННЫХ ВЫРУБОК ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ: АНАЛИЗ ПРЕПЯТСТВИЙ В ВИДЕ ПНЕЙ И КОРНЕЙ

Сергей В. Малюков<sup>1</sup>✉, [malyukovsergey@yandex.ru](mailto:malyukovsergey@yandex.ru) 0000-0003-2098-154X

Евгений В. Поздняков<sup>1</sup>, [pozd.ev@yandex.ru](mailto:pozd.ev@yandex.ru) 0000-0003-3904-867x

Светлана И. Дегтярева<sup>1</sup>, [degtjarewa-lana@yandex.ru](mailto:degtjarewa-lana@yandex.ru) 0000-0003-3825-1158

Михаил В. Шавков<sup>2</sup>, [shavkovmv@mail.ru](mailto:shavkovmv@mail.ru) 0000-0003-3700-7508

Маргарита А. Малюкова<sup>1</sup>, [lrita@bk.ru](mailto:lrita@bk.ru) 0000-0001-8174-0358

Игорь И. Шанин<sup>1</sup>, [kingoao@mail.ru](mailto:kingoao@mail.ru) 0000-0003-4706-9868

Сергей Е. Арико<sup>3</sup>, [sergeyariko@mail.ru](mailto:sergeyariko@mail.ru) 0000-0001-6812-8842

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация

<sup>2</sup>ООО «Русгидроком», ул. Мазлумова, д. 25, г. Воронеж, 394040, Российская Федерация

<sup>3</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь

Вырубки и гари отличаются большим разнообразием почвенных и климатических условий. Поэтому выбор технологических приемов и технических средств подготовки почвы, предшествующей посадке лесных культур, зависит от множества факторов. На выбор способа обработки почвы существенное влияние оказывает и состав бывшего насаждения. Если после рубки чистых сосновых насаждений наблюдается незначительное количество поросли мягких лиственных пород, то после рубки смешанных елово-лиственных насаждений на вырубке появляется обильная поросль. Верхний горизонт почвы оказывается сильно насыщенным корнями древесно-кустарниковой растительности. На свежих нераскорчеванных вырубках частота встречи рабочих органов почвообрабатывающих орудий с пнями и корнями колеблется в довольно широких пределах, что требует изучения параметров таких препятствий. Сбор данных проводили в системах eLIBRARY и Scopus. Обработку осуществляли с помощью программ StatSoftStatistica10 и Microsoft Excel. Было установлено, что высота пней равна или превышает их диаметры и возрастает с увеличением диаметра для всех исследуемых видов деревьев. При диаметре пней до 24 см их средняя высота составляет 22...27 см, при 25...36 см – 30...40 см, при 61...72 см – 70 см. Распределение пней по ступеням высоты изучаемых видов деревьев показало, что высоту 30 см имеют 51.8 % пней берёзы, 58.8 % ели и 77.1 % осины. Остальные пни достигают высоты 50 см и более. На порослевой вырубке максимальная средняя высота пней (29.3 см) наблюдается у дуба и ясеня. Меньшая средняя высота пней (21.0 см) наблюдается у клена и липы. На вырубке каждый десятый пень достигает высоты более 40 см, каждый четвертый – более 30 см. На вырубке старовозрастных семенных дубрав самую большую среднюю высоту (40.6 см) имеют пни дуба. Несколько меньшую высоту (31.1 см) имеют пни ясеня. У клена и липы она равна 22.6 см. Высота каждого пятого пня составляет 40...70 см, каждого второго – более 30 см. Сделан вывод о том, что для всех видов деревьев свойственно горизонтальное расположение корневой системы на глубине 0-30 см. Именно в этой зоне происходит обработка почвы.

**Ключевые слова:** *почвообрабатывающие орудия, нераскорчеванные вырубки, количество пней на вырубках, средняя высота пней, корневая система сосны.*

**Финансирование:** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10010, <https://rscf.ru/project/22-79-10010>.

**Благодарности:** Авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.


**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.


**Для цитирования:** Эксплуатация почвообрабатывающих орудий в условиях нераскорчеванных вырубок европейской части России: анализ препятствий в виде пней и корней / С. В. Малюков, Е. В. Поздняков, С. И. Дегтярева, М. В. Шавков, М. А. Малюкова, И. И. Шанин, С. Е. Арико // Лесотехнический журнал. – 2022. – Т. 12. – № 4 (48). – С. 96–113. – Библиогр.: с. 106–112 (42 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/7>.

*Поступила* 20.11.2022. *Пересмотрена* 18.12.2022. *Принята* 19.12.2022. *Опубликована онлайн:* 26.12.2022


*Review*


### OPERATION OF SOIL-CULTIVATING IMPLEMENTS IN CONDITIONS OF NON-UPROOTED CLEARINGS IN THE EUROPEAN PART OF RUSSIA: ANALYSIS OF OBSTACLES IN THE FORM OF STUMPS AND ROOTS


Sergey V. Malyukov<sup>1</sup>✉, malyukovsergey@yandex.ru  0000-0003-2098-154X


Evgeny V. Pozdnyakov<sup>1</sup>, pozd.ev@yandex.ru  0000-0003-3904-867x

Svetlana I. Degtyareva<sup>1</sup>, degtjarewa-lana@yandex.ru  0000-0003-3825-1158

Michael V. Shavkov<sup>2</sup>, shavkovmv@mail.ru  0000-0003-3700-7508

Margarita A. Malyukova<sup>1</sup>, lrita@bk.ru  0000-0001-8174-0358

Igor I. Shanin<sup>1</sup>, kingoao@mail.ru  0000-0003-4706-9868

Sergey E. Ariko<sup>3</sup>, sergeyariko@mail.ru  0000-0001-6812-8842

<sup>1</sup>FSBEI HE Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva street, 8, Voronezh, 394087, Russian Federation

<sup>2</sup>LLC Rushydrocom, Mazlumova street, 25, Voronezh, 394040, Russian Federation

<sup>3</sup>Belarussian State Technological University, Sverdlova street, 13a, Minsk, 220006, Belarus

### Abstract

Felled and burnt areas are distinguished wide variety of soil and climatic conditions. Therefore, the choice of technological techniques and technical means of preparing the soil prior to planting forest crops depends on many factors. The composition of the former stand also has a significant influence on the choice of the method of tillage. If, after cutting clean point stands, there is an insignificant amount of soft-wooded deciduous species growth, then after cutting mixed spruce-deciduous stands, abundant growth appears on the cutting. The upper horizon of the soil turns out to be heavily filled with the roots of woody and shrubs vegetation. On freshly cutting site non stump grubbing, the frequency of encounter of the working bodies of tillage tools with stumps and roots varies quite widely, which requires studying the parameters of such obstacles. Data collection was carried out in the eLIBRARY and Scopus databases. Processing was carried out using the programs StatSoft Statistica 10 and Microsoft Excel. It was found that the height of the stumps is equal to or greater than their diameters and increases with increasing diameter for all tree species studied. With a diameter of stumps up to 24 cm, their average height is 22...27 cm, with 25...36 cm - 30...40 cm, with 61...72 cm - 70 cm. 51.8% birch stumps, 58.8% spruce and 77.1% aspen. The remaining stumps reach a height of 50 cm or more. On coppice felling, the maximum average height of stumps (29.3 cm) is observed in oak and ash. A smaller average height of stumps (21.0 cm) is observed in maple and linden. In the clearing, every tenth stump reaches a height of more than 40 cm, every fourth - more than 30 cm. In the clearing of old-growth seed oak forests, oak stumps have the highest average height (40.6 cm). Ash stumps have a slightly lower height (31.1 cm). For maple and linden, it is 22.6 cm. The

height of every fifth stump is 40 ... 70 cm, every second - more than 30 cm. It is concluded that for all types of trees, the root system is horizontal at a depth of 0-30 cm. It is in this zone that tillage takes place.

**Keywords:** *tillage implements, not uprooted clearings, number of stumps in clearings, average height of stumps, pine root system.*

**Funding:** this study was supported by a grant from the Russian Science Foundation № 22-79-10010, <https://rscf.ru/project/22-79-10010>.

**Acknowledgement:** the authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Malyukov S.V., Pozdnyakov E.V., Degtyareva S.I., Shavkov M.V., Malyukova M.A., Shanin I.I., ArikoS.E. (2022) Operation of soil-cultivating implements in conditions of non-uprooted clearings in the european part of Russia: analysis of obstacles in the form of stumps and roots. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 12, No. 4 (48), pp. 96-113 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/7>.

*Received* 20.11.2022. *Revised* 18.12.2022. *Accepted* 9.12.2022. *Published online* 26.12.2022.

### Введение

Условия работы почвообрабатывающих машин и орудий [1, 2] в лесном хозяйстве отличаются большим разнообразием [3], обуславливаемым зоной расположения лесокультурных площадей [4], которые после лесозаготовок [5], в большинстве своем, характеризуются наличием пней, порубочных остатков, а также корней [6-8].

При этом качество подготовки почвы [9] в значительной мере зависит от видов деревьев, которые были спилены. Ведь от них зависит средний диаметр, высота и характер распределения корней в обрабатываемом слое почвы, количество пней на единице площади [10-12].

Леса представляют собой настоящую преграду на пути деградации земель и являются лучшим средством борьбы с эрозией почвы [13-15]. Enescu С.М. [16] были выделены наиболее важные виды деревьев, используемые при мелиорации лесных угодий. Также были представлены аспекты, касающиеся экологических требований и результатов, полученных при использовании этих видов при лесовосстановлении деградированных земель [17].

Основным признаком завершеного лесокультурного производства считается такое состояние культур [18], когда созданное насаждение по густоте, составу и другим показателям [19] отвечает цели хозяйства, является устойчивым и защищен-

но от гибели [20, 21] в связи с возможным заглушением травянистой растительностью и малоценными листовыми видами деревьев [22].

Качество выполнения подготовительных работ при лесовосстановлении [23] определяется коэффициентом прямолинейности движения агрегата, степенью очистки корневых систем от почвы, полнотой корчевки (вычесывания корней) и т.д. [24, 25]. Отклонение этих показателей от заданных вызывает необходимость в незамедлительном выполнении регулировок всех машин и орудий [26-28], работающих на лесовосстановлении, а также в совершенствовании используемых агрегатов или их замене [29-31].

Одним из основных факторов, влияющих на технологию лесовосстановительных работ на вырубках, является их давность. Известно, что с течением времени после рубки деревьев прочность древесины пней и корней уменьшается, и они утрачивают способность оказывать большие сопротивления лесокультурным машинно-тракторным агрегатам. По возрасту вырубки подразделяют на свежие (однолетние и двухлетние) и старые (трехлетние и старше, но в пределах шести-семи летнего периода естественного возобновления).

Также степень разложения пней в значительной мере обусловлена видом дерева. Пни и корни твердых лиственных пород разлагаются зна-

чительно медленнее, чем хвойных и, особенно, мягких лиственных древесных пород.

В зависимости от возраста вырубки наименьшее снижение плотности древесины (на 10...20 %) было установлено для пней сосны. Это объясняется ее повышенной смолистостью и, соответственно, большей стойкостью к процессу гниения. Для еловых пней плотность снижается, в среднем, до 50 %, а для березы и осины – до 70 %. На восьмилетней вырубке пневая древесина березы и осины в наибольшей степени разрушается и теряет свои физико-механические свойства.

В свою очередь, естественное разрушение дубовых пней на старых вырубках происходит очень медленно и прочность древесины пней и корней дуба долгие годы остается высокой, о чем свидетельствует производственный опыт освоения вырубков в лесостепной зоне.

Для всех видов деревьев плотность древесины будет выше у пней большего диаметра. Мелкие пни (до 15 см) на старых вырубках разлагаются и теряют способность препятствия быстрее, чем средние (16...30 см) и крупные (31 см и более). Особенно это характерно для восьмилетней вырубки, где древесина пней диаметром до 36 см больше подвержена процессу гниения, и такие пни уже не являются серьезными препятствиями для лесокультурных агрегатов [27].

Еще одним важнейшим фактором, определяющим технологию лесовосстановительных работ, а также условия работы машинно-тракторных агрегатов, является количество пней на вырубках.

В европейской части России наблюдается достаточно мало вырубков с количеством пней до 400 шт./га, всего лишь (3...9 %). Вырубки с количеством пней от 401 до 600 шт./га представляют существенную часть (34...50 %). Остальные вырубки имеют более 600 пней на 1 га. Причем, 41...45 % вырубков имеют 601...800 пней на 1 га, 9...12 % – 800...1200 пней и около 1...3 % вырубков – более 1200 пней [2].

При использовании метода освоения вырубков, в первую очередь, следует руководствоваться конечным результатом деятельности: высокой приживаемостью [32, 33] сохранностью [34, 35] и интенсивным ростом культур [36, 37]. Как отмечает

Гриб В.М. [38], развитие корневой системы саженцев имеет решающее значение для успешного восстановления лесов. Такие же выводы были получены в других исследованиях [39].

Правильный выбор технологии позволяет обеспечить необходимую механическую обработку почвы, что улучшает ее структуру, обеспечивает достаточный круговорот питательных веществ [40] и подавляет злаковую и нежелательную древесно-кустарниковую растительность.

Для европейской части России наиболее распространенными видами деревьев являются: ель обыкновенная (*Picea abies* (L.) Karst), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*L.), берёза повислая (*Betula pendula* Roth.), тополь дрожащий, осина (*Populus tremula* L.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.), бук восточный (*Fagus orientalis* Lip.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.).

Цель исследования – произвести анализ параметров препятствий в виде пней и корней, которые встречаются на пути почвообрабатывающих орудий на вырубках.

### Материалы и методы

#### Предмет и объект исследований

Объектом исследования являются пни и корни видов деревьев, наиболее распространенных в европейской части России.

В качестве предмета исследований рассматривалось взаимодействие рабочих органов почвообрабатывающих машин с надземной частью пней и их корневой системой.

Ель обыкновенная (*P. abies* (L.) Karst) может достигать диаметра 1...1,5 м и высоты до 50 м. Корневая система ели в зависимости от почвенно-гидрологических факторов может быть различной. Стержневой корень ели на дренированных относительно глубоких почвах, в условиях европейского севера, проникает вглубь на 1,5...2 м, вместе с тем якорные корни достигают глубины 0,8...1 м. При этом ели обыкновенной на сильно увлажненных и тяжелых глинистых почвах свойственна поверхностная корневая система. На корни горизонтальной ориентации приходится более 99 % длины ске-

летних корней, которые залегают на глубине 0...30 см.

Сосна обыкновенная (*P. sylvestris* L.) обычно имеет высоту 30...40 метров и диаметр ствола до 1 м. Корневая система сосны развита весьма хорошо. Главный корень может достигать глубины до 5 м, боковые корни расходятся широко. Но также может располагаться на поверхности в засушливых условиях. Основная масса корней сосны, в любом случае, располагается на глубине до 60 см. Насыщенность корней возрастает ближе к поверхности почвы [38].

Берёза повислая (*B. pendula* Roth.) может достигать диаметра ствола до 80 см и высоту до 30 м. Она обычно растет в виде порослевых насаждений. У нее поверхностная корневая система [35]. Она не имеет главного стержня, при этом широко уходит вглубь. Так, исследования корневой системы берез 27-летнего возраста на средне дернованных средне оподзоленных почвах показали, что она состоит из 10...15 хорошо развитых горизонтальных корней. Их длина может достигать 8 м. Стержневые корни развиты слабо и располагаются на глубине 95...115 см.

Тополь дрожащий, осина (*P. tremula* L.) имеет диаметр ствола до 1 м и высоту до 35 м, растет очень быстро и к сорока годам может достигать своих предельных размеров. Корневая система осины сначала развивается по стержневому типу, однако вскоре главный корень перестает расти, и начинают активно разрастаться боковые отростки, которые расходятся в разные стороны от дерева на 25...30 м. В результате образуется мощная, поверхностная корневая система. Осина не растет на мерзлотных и сухих песчаных почвах, потому что ее корни не холодостойки, требовательны к аэрации и влаголюбивы. Горизонтальные корни могут срастаться между собой как у одного дерева, так и с корнями других деревьев, что в некоторых случаях приводит к образованию единой корневой системы. Осина дает обильные корневые отпрыски, особенно после проведения рубок, которые могут подниматься на расстоянии до 10 м от материнского дерева [2].

На рис. 1 представлены данные о распределении скелетных корней пней сосны, ели, березы и осины при их диаметре 28 см.

Из рис. 1 видно, что на глубине 0...15 см

находится основная масса крупных корней ели. Именно в этой зоне происходит обработки почвы. У осины толстые корни располагаются под пнем на глубине 40...60 см. На расстоянии 4...5 м в горизонтальном направлении расположены корни диаметром 2...3 см. Они густо пронизывают слой почвы на глубину 20 см. Промежуточное положение между осиной и елью занимает берёза. Ее толстые корни расположены несколько глубже, чем у ели. Корни диаметром 5...6 см располагаются в верхних гумусированных слоях почвы [2].

Дуб черешчатый (*Q. robur* L.), в диаметре ствола может достигать 1...1,5 м, а очень старые деревья – нескольких метров, в высоту – до 40 м. У дуба преобладают корни вертикальной ориентации. При этом горизонтальные корни имеют слабую разветвленность. В возрасте 10-лет глубина залегания стержневых корней составляет 4 м, в 18-лет – 4,85 м.

Более поверхностная корневая система дуба формируется на деградированных черноземах. При этом наблюдается большая разветвленность горизонтальных и стержневых корней. Глубина залегания стержневого корня в почве резко сокращается. В 9-летнем возрасте она составляет 167 см, в 19-летнем – 195 см. Это более чем в 2 раза меньше глубины залегания стержневого корня на черноземах обыкновенных.

На серых лесных почвах стержневой корень в 10-летнем возрасте достигает 192 см, а в 25-летнем – 555 см. По сравнению с другими почвенными условиями, данная глубина намного больше. Также мощно развиты вертикальные ответвления, они достигают глубины 215 см к 10-летнему возрасту [39]. На дерново-подзолистых почвах глубина проникновения стержневого корня в 14-летнем возрасте достигает 160 см, на серых лесных – 220 см.

Клен остролистный (*A. platanoides* L.), может достигать диаметра ствола до 1 м и высоты до 30 м. До 20...25 лет активно растет вверх, после чего темпы роста в высоту замедляются, и дерево начинает расти вширь. После 50 лет рост замораживается, либо вообще прекращается. Корневая система клена, как правило, – поверхностная, мощная, с преобладанием горизонтальных корней, широко раскинутых в стороны на глубине до 20 см. Клен обладает

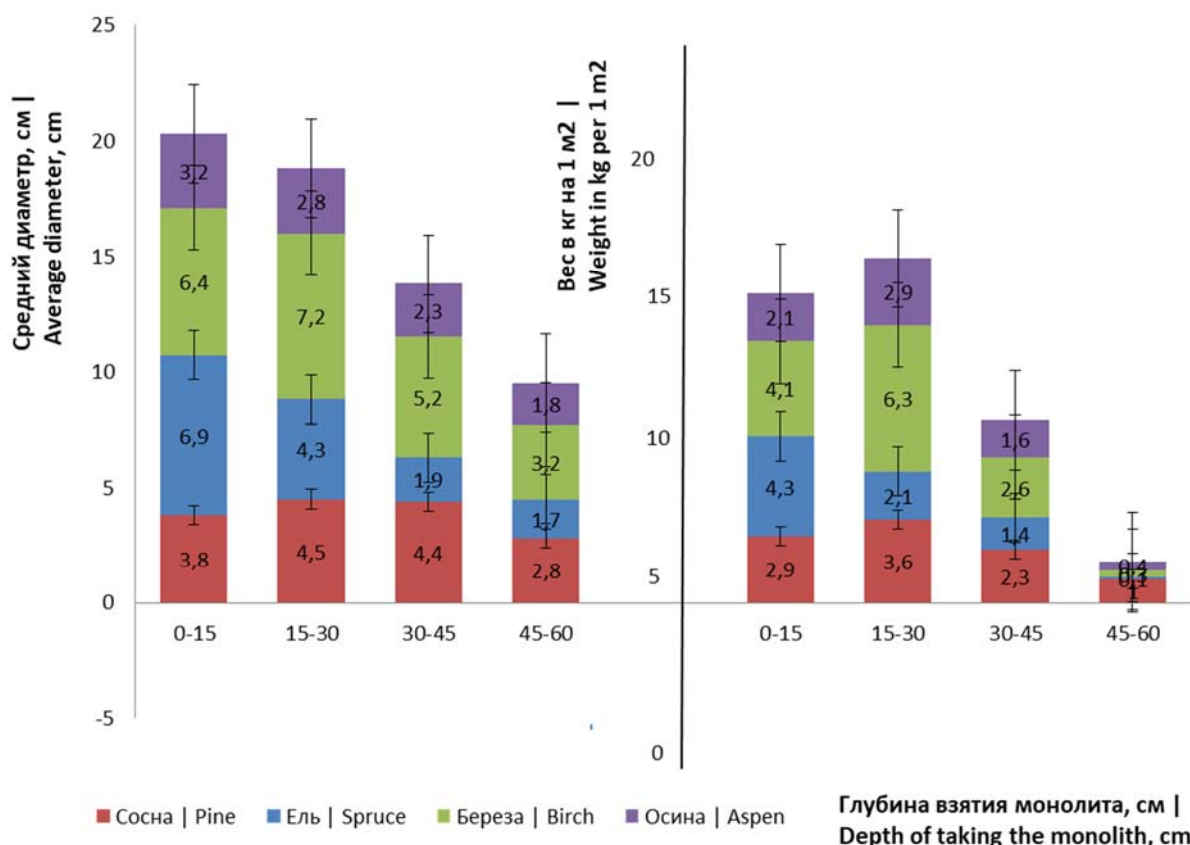


Рис. 1. Характер размещения скелетных корней основных древесных пород в различных почвенных горизонтах подзолистых среднесуглинистых почв (при диаметре пней 28 см)

Figure 1. The nature of the placement of the skeletal roots of the main tree species in various soil horizons of podzolic medium loamy soils (with a stump diameter of 28 cm)

Источник: Поздняков Е.В. (2015) [2]

Source: Pozdnyakov E.V. (2015) [2]

достаточно развитой корневой системой. Она состоит из мощных горизонтальных корней и из стержневого корня, который проникает в почву на глубину до 3 м. Клен дает обильную поросль от пня [2].

Особую сложность для работы почвообрабатывающих орудий представляют дубовые вырубki смешанных насаждений. Дубравы представлены, обычно, порослевым дубом, который имеет много стволов. Комлевая часть у порослевого дуба имеет сильное утолщение. Площадь поперечного сечения пня на уровне поверхности почвы в 1,5...1,8 раза больше, чем площадь сечения пня на уровне среза [2]. Чем ближе к земле, тем сильнее поперечное сечение пня отличается от четкой круглой формы.

Наличие корневых лап характерно для дуба и клена. Их количество варьируется от 4...6 штук. В свою очередь, корневые лапы разветвляются на отдельные корни. У дуба под пнем располагаются наклонные и якорные корни. Они имеют овальную форму в поперечном сечении. Возле пня максимальный диаметр корней достигает 40 см, минимальный – 10...15 см. Для клена также характерны крупные корни. Они располагаются в радиусе 50 см вокруг пня и достигают в диаметр 8...16 см. Корни распространяются параллельно поверхности почвы на глубине 16...45 см [2].

Ясень обыкновенный (*F.excelisior* L.) может иметь ствол диаметром до 1 м и высоту до 30 м [7]. В различных экологических условиях корневая

система ясеня неодинакова. Поверхностная (якорная) корневая система развивается при неглубоком залегании грунтовых вод. При весьма глубоком залегании грунтовых вод и нехватке влаги активно развивается стержневой корень. От него отходят множество горизонтально расположенных боковых корней [8]. Глубина проникновения корней в таких условиях может достигать 1,5 м, а у особенно крупных деревьев – 3 м. Ясень образует быстрорастущую пневую поросль.

Буквосточный (*F. orientalis* Lip.) может достигать диаметра ствола до 1,5...2 м и высоты до 50 м [17]. Корневая система – без ярко выраженного стержневого корня, с боковыми корнями, уходящими косо вглубь почвы, и большим количеством поверхностных корней. В 11...22-летнем возрасте у некоторых деревьев имеется по 3...4 вертикальных ответвления. Их глубина проникновения в почву достигает до 160 см. У возрастных деревьев часто обильно разрастаются корневые лапы, вследствие чего корни вылезают на поверхность. Бук способен давать пневую поросль [26].

Липа мелколистная (*T. cordata* Mill.) в диаметре ствола, как правило, может достигать 2 м (иногда 5 м), в высоту – 40 м. В первые годы растет медленно, однако уже с пяти лет начинается интенсивный рост, благодаря чему липа обгоняет дуб. К ста годам достигаются ее предельные размеры. В первые 7-8 лет липа имеет единственный стержневой корень. Мощная, глубокая стержневая система начинает формироваться намного позднее. У нее появляются боковые корни и огромное количество тонких поверхностных корней. Вес мелких корней составляет 36 % об общей массы корневой системы. При вырубке липа дает обильную поросль.

### Сбор данных

Искали опубликованные статьи в двух базах данных с помощью поиска по ключевым словам. В первой, eLIBRARY, использовали запросы «качество подготовки почвы» ИЛИ «почвообрабатывающие орудия» И «корневые системы» для поиска статей, опубликованных между 2012-2022 годами. При этом широкие термины использовали намеренно, потому что нам нужно было найти опубликованные данные о биомассе корней и побегов, а также о работе почвообрабатывающих агрегатов

даже в тех случаях, когда в статье они явно не обсуждались. Второй использованной базой данных была Scopus. В ней вводили запросы «mechanical site preparation for forest restoration» OR «forest restoration site» OR «plant roots»

### Анализ данных

Из систематического поиска были отобраны наиболее распространенные виды деревьев европейской части России и проведен статистический анализ степени их сходства и различия по следующим параметрам: средний диаметр корней на глубине до 30 см; вес корней в кг на 1 м<sup>2</sup>; средняя высота пней; средний диаметр пней; среднее количество пней, штук на 1 га. Иерархическую диаграмму сходства применили в качестве визуализирующего средства. Она позволила оценить удаленность признаков от центра группы на основании меры квадрата Евклидова расстояния. Использовали пакет прикладных программ StatSoftStatistica10 и Microsoft Excel.

### Результаты и их обсуждение

Почвообрабатывающие орудия должны совершать криволинейные зигзагообразные движения, для того чтобы объехать корни, пни, камни и другие крупные препятствия. Рабочие органы лесных почвообрабатывающих машин, несмотря на криволинейное движение, все равно наезжают на препятствия. На свежих нераскорчеванных вырубках частота встречи рабочих органов с пнями и корнями колеблется в довольно широких пределах и зависит от многих факторов. К таким факторам можно отнести: габариты и тип почвообрабатывающего орудия, количество пней на гектаре и их геометрические размеры. Например, число столкновений почвообрабатывающих орудий при количестве пней от 600 до 1200 шт./га может достигать от 15 до 200 раз. При этом, примерно, в 2...3 раза рабочие органы чаще наезжают на крупные корни, чем сталкиваются с пнями.

Рабочие органы, а также иные части агрегата при встрече с различными препятствиями испытывают интенсивные ударные нагрузки. Они могут в 10...20 раз превышать рабочее сопротивление агрегата. Данные динамические нагрузки могут приводить к скручиванию и изгибу деталей, отколам,



образованию трещин, обломам, разрушению сварных соединений и т.д. [41].

На основе изученного многолетнего производственного опыта можно сделать вывод, что во многих случаях на свежих вырубках, хорошо очищенных от порубочных остатков, с количеством пней до 600 шт./га можно обеспечить частичную подготовку почвы современными лесными почвообрабатывающими орудиями с достаточно высоким качеством, а в ряде случаев – даже посадку культур без обработки почвы. Но однозначно согласиться с таким утверждением нельзя, так как качественная работа лесокультурных агрегатов на вырубках зависит не только от количества, но и от размеров пней [42].

Основными положениями по проведению рубок установлено, что высота пней, влияющая на силу удара рабочих органов почвообрабатывающих агрегатов, не должна превышать 1/3 диаметра среза при рубке деревьев толщиной 30 см и более, а при рубке более тонких деревьев – 10 см. Однако фактическая высота пней на вырубках значительно превышает допустимую, а отдельные пни имеют высоту 50...70 см.

Эти данные также подтверждаются исследованиями [2], в которых говорится, что на высоту пней существенное влияние оказывают качественные характеристики древесины. Деревья осины и

сосны спиливаются на меньшей высоте от поверхности почвы, по сравнению с березой, елью и дубом, за счет значительно меньшей комлеватости нижней части ствола.

Исследованиями по зависимости диаметров пней от их средней высоты занимались ряд ученых [27]. Результаты их работы совпадают с данными других авторов. Распределение пней по высоте на елово-лиственных вырубках приведено на рис. 2, 3.

Из рис. 2 видно, что высота пней равна или превышает их диаметры и возрастает с увеличением диаметра для всех исследуемых видов деревьев. Так, если при диаметре пней до 24 см их средняя высота составляет 22...27 см, то при диаметрах 25...36 см – 30...40 см, а при диаметрах 61...72 см – достигает 70 см. Таким образом, не более 5 % всех учтенных пней имеют высоту в соответствии с основными положениями по проведению рубок.

Распределение пней по ступеням высоты изучаемых видов деревьев показало, что высоту 30 см имеют 51,8 % пней березы, 58,8 % ели и 77,1 % осины (рис. 3). Остальные пни достигают высоты 50 см и более.

В условиях дубрав лесостепи размеры пней на дубово-ясеневых вырубках зависят от возраста рубки и их принадлежности до рубки к порослевым или семенным (табл. 1) [27].

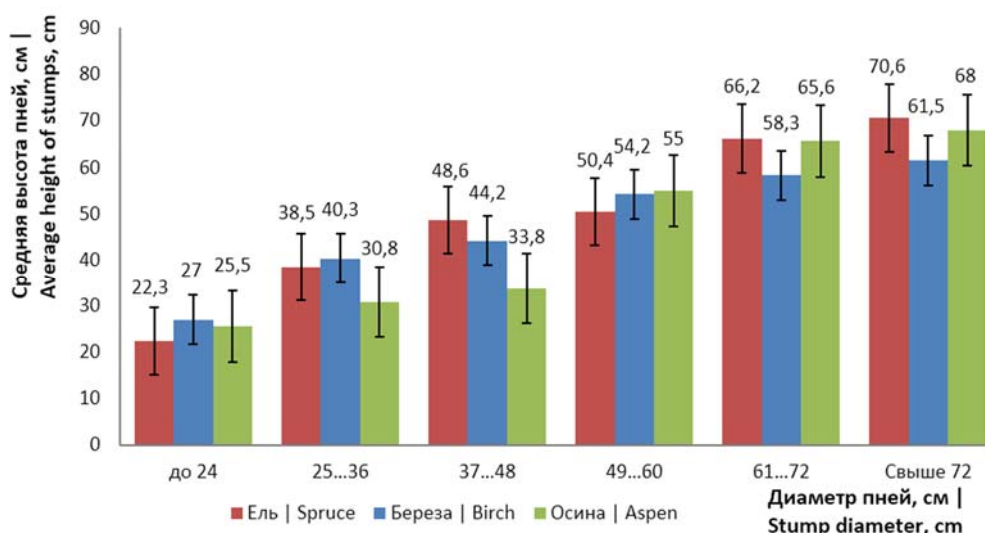


Рис. 2. Зависимость диаметров пней от их средней высоты с использованием стандартных ошибок

Figure 2. Dependence of stump diameters on their average height using standard errors

Источник: Бартенев И. М., Драпалюк М. В., Казаков В. И. (2013). [27]

Source: Bartenev I. M., Drapalyuk M. V., Kazakov V. I. (2013) [27]



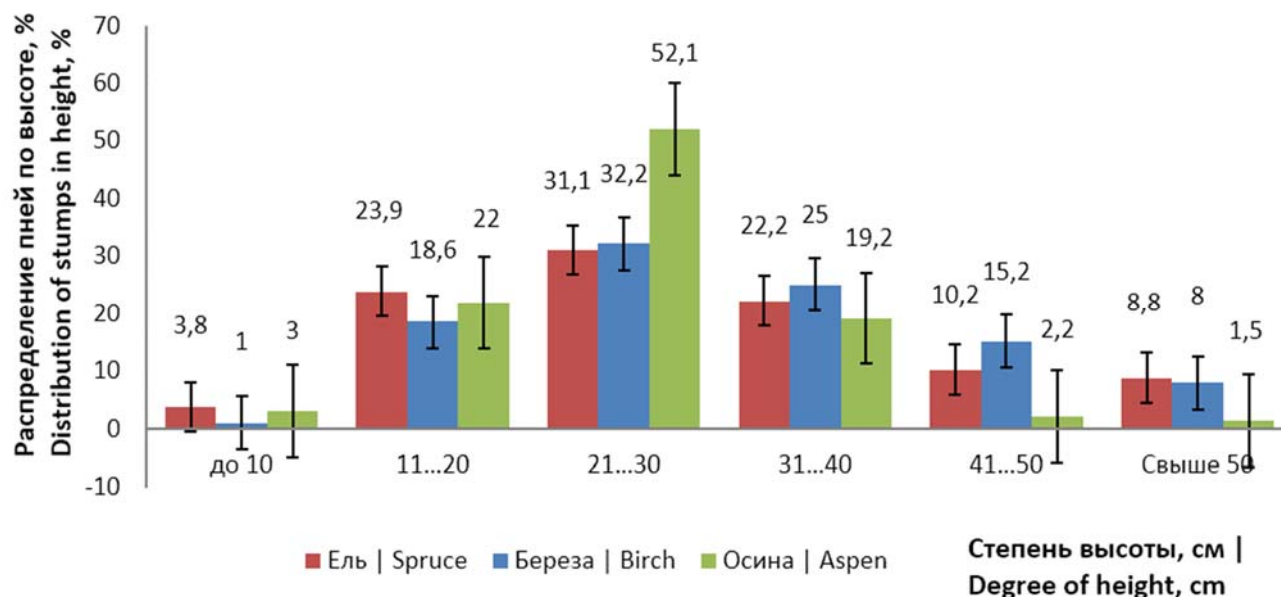


Рис. 3. Распределение пней по высоте на елово-лиственных вырубках с использованием стандартных ошибок

Figure 3. Height distribution of stumps in spruce-deciduous clearings using standard errors

Источник: Бартенев И. М., Драпалюк М. В., Казаков В. И. (2013) [27]

Source: Bartenev I. M., Drapalyuk M. V., Kazakov V. I. (2013) [27]

Таблица 1

Распределение пней по ступеням высоты на дубово-ясеневых вырубках

Table 1

Distribution of stumps by types of trees and height steps in oak and ash clearings

Древесная порода   Tree species	Количество пней (штук на 1 га / %) по ступеням высоты, см   The number of stumps (pieces per 1 ha / %) by height steps, cm						Средняя высота, см   Average height, cm
	11...20	21...30	31...40	41...50	51 и более   51 and over	Всего   Total	
Впорослевыхнасаждениях   In undergrowth plantations							
Дуб, ясень   Oak, ash	74/19	152/38	117/30	52/13	–	395/100	29,3
Клен, липа   Maple, linden	232/52	178/40	31/7	6/1	–	447/100	21,0
Итого   Total	306/36	330/39	148/18	58/7	–	842/100	24,9
В семенных насаждениях   In seed plantations							
Дуб   Oak	4/3	14/10	60/42	42/29	24/16	144/100	40,6
Ясень   Ash	4/9	12/27	18/41	6/14	4/9	44/100	34,1
Клен, липа   Maple, linden	98/42	110/47	20/9	2/1	2/1	232/100	22,6
Итого   Total	106/26	136/32	98/23	50/12	30/7	420/100	30,0

Источник: Бартенев И. М., Драпалюк М. В., Казаков В. И. (2013). [27]

Source: Bartenev I. M., Drapalyuk M. V., Kazakov V. I. (2013).[27]

На порослевой вырубке максимальная средняя высота пней (29,3 см) наблюдается у дуба и ясеня. Причем 19 % из них имеют высоту 11...20 см, 38 % – 21...30 см и 43 % – 31...50 см. Меньшая

средняя высота пней (21,0 см) наблюдается у клена и липы. Кроме того, в целом по вырубке каждый десятый пень достигает высоты более 40 см, каж-

дый четвертый – более 30 см, высота 39 % пней равна 21...30 см, а 36 % – 11...20 см.

На вырубке старовозрастных семенных дубрав распределение пней по видам деревьев и ступеням высоты происходит аналогично порослевым насаждениям. Самую большую среднюю высоту (40,6 см) имеют пни дуба. Несколько меньшую высоту (31,1 см) имеют пни ясеня. У клена и липы она равна 22,6 см. Высота каждого пятого пня составляет 40...70 см, примерно каждого второго – более 30 см, 32 % пней имеют высоту 21...30 см, а 26 % – 11...20 см [42].

Результаты сравнительного анализа препятствий в виде пней и корней, встречающихся на нераскорчеванных вырубках, приведены в табл. 2, а также на рис. 4.

Таблица 2

Сравнительный анализ параметров препятствий в виде пней и корней

Table 2

Comparative analysis of obstacles in the stumps and roots parameters

Древесная порода   Tree species	Средний диаметр корня на глубине до 30 см   Average root diameter at a depth of up to 30 cm	Вес корней в кг на 1 м <sup>2</sup>   Root weight in kg per 1 m <sup>2</sup>	Средняя высота пней, см   Average height of stumps, cm	Средний диаметр пней, см   Average stump diameter, cm	Среднее количество пней (штук на 1 га)   Average number of stumps (pieces per 1 ha)
Сосна   Pine	4,15	3,25	47,6	33,7	325
Ель   Spruce	5,6	3,2	49,4	32	120
Береза   Birch	6,8	5,2	42,2	44,3	440
Осина   Aspen	3	2,5	46,4	37	274
Дуб   Oak	18	8,8	42	55,2	192
Клен   Maple	12	6,3	19	24,7	174
Ясень   Ash	5,2	3,1	32	37,8	72
Липа   Linden	2,8	1,3	20	34,1	58

Источник: Бартенев И. М., Драпалюк М. В., Казаков В. И. (2013). [27]

Source: Bartenev I. M., Drapalyuk M. V., Kazakov V. I. (2013). [27]

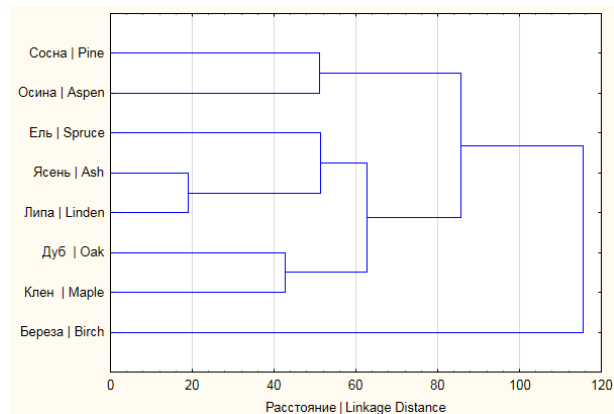


Рис. 4. Иерархическая диаграмма сходства и различия препятствий в виде пней и корней  
Figure 4. Hierarchical diagram of similarities and differences of obstacles in the stumps and roots parameters

Источник: Собственные вычисления авторов  
Source: Authors' own calculations

Проводя анализ диаграммы (рис. 4), можно сказать, что она разбита на пять кластеров. В первый кластер входят пни и корни двух древесных пород (сосны и осины), во второй кластер – одной (ели), в третий – двух древесных пород (ясеня и липы), в четвертый – также двух (дуба и клена), в пятый – одной (березы). В первый кластер вошли пни и корни древесных пород, у которых все значения схожи. При этом, два параметра (диаметр и вес корней) имеют низкие значения по сравнению с пнями и корнями других древесных пород, один параметр (диаметр пней) – среднее значение, два параметра (высота и число пней) – высокие. Во второй кластер вошли пни и корни древесных пород, имеющих один низкий параметр (вес корней), три средних параметра (диаметр корней, диаметр и число пней), один высокий параметр (высота пней). В третий кластер вошли пни и корни древесных пород, у которых имеется два сходных значения (диаметр и число пней), два значения имеют существенные различия (диаметр и вес корней) и одно значение имеет незначительное отличие (высота пней). В четвертом кластере собраны пни и корни древесных пород, имеющие три сходных значения (диаметр и вес корней, число пней) и два значения с существенными различиями (высота и диаметр пней). Пни и корни древесных пород, входящие в

пятый кластер, имеют два средних параметра (диаметр и вес корней) и три высоких параметра (высота, диаметр и число пней). Эти данные хорошо согласуются с исследованиями авторов [8, 27, 38].

### Заключение

Эксплуатация почвообрабатывающих орудий в условиях нераскорчеванных вырубок, особенно при высоте пней, равной или превышающей дорожный просвет применяемых вместе с ними тракторов, и при большом количестве пней на одном гектаре вырубки, становится мало эффективной и экономически невыгодной.

На глубине 0...15 см находится основная масса крупных корней ели. Именно в этой зоне происходит обработка почвы. У тополя дрожащего, осины (*P. tremula* L.) толстые корни располагаются под пнем на глубине 40...60 см. На расстоянии 4...5 м в горизонтальном направлении расположены корни диаметром 2...3 см. Они густо пронизывают слой почвы на глубину 20 см. Промежуточное положение между осиной и елью обыкновенной занимает берёза повислая (*B. pendula* Roth.). Ее толстые корни расположены несколько глубже, чем у ели. Корни диаметром 5...6 см располагаются в верхних гумусированных слоях почвы. Особую сложность для работы почвообрабатывающих орудий представляют дубовые вырубки смешанных

насаждений. Площадь поперечного сечения пня дуба черешчатого (*Q. robur* L.) на уровне поверхности почвы в 1,5...1,8 раза больше, чем площадь сечения пня на уровне среза.

У сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) боковые корни расходятся широко. Основная масса корней сосны располагается на глубине до 60 см. Насыщенность корней возрастает ближе к поверхности почвы. У дуба черешчатого (*Q. robur* L.) преобладают корни вертикальной ориентации. При этом горизонтальные корни имеют слабую разветвленность. Более поверхностная корневая система дуба черешчатого (*Q. robur* L.) формируется на деградированных черноземах. Корневая система клена поверхностная, мощная, с преобладанием горизонтальных корней, широко раскинутых в стороны на глубине до 20 см. В различных экологических условиях корневая система ясеня (*F. excelsior* L.) неодинакова. Поверхностная (якорная) корневая система развивается при неглубоком залегании грунтовых вод. У липы мелколистной (*T. cordata* Mill.) имеются боковые корни и огромное количество тонких поверхностных корней.

Наличие на поверхности и в пахотном горизонте почвы механических препятствий в виде пней и корней приводят к тому, что проходимость почвообрабатывающих агрегатов снижается.

### Список литературы

1. Skirkus R., Jankauskas V., Gaidys R. Estimating stresses and movement work of a soil-cultivator tip using the finite-element method. *Journal of friction and wear*. 2016; 37(5):489-493. DOI: 10.3103/S1068366616050172
2. Поздняков Е.В. Обоснование параметров и режима работы площадкоделателя вокруг пней : дисс дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Воронеж, 2015. 178 с.
3. Luoranen J., Saksa T., Lappi J. Seedling, planting site and weather factors affecting the success of autumn plantings in Norway spruce and Scots pine seedlings. *For Ecol Manage.* 2018;419:79–90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.03.040>
4. Fidej G., Rozman A., Diaci J. Drivers of regeneration dynamics following salvage logging and different silvicultural treatments in windthrow areas in Slovenia. *Forest Ecology and Management.* 2018;409:378-389. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.11.046
5. Achat D.L., Deleuze C., Landmann G., Pousse N., Ranger J., Augusto L. Quantifying Consequences of Removing Harvesting Residues on Forest Soils and Tree Growth – A Meta-Analysis. *Forest Ecology and Management.* 2015;348:124–141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.03.042>
6. Pathak, G.C., Joshi, H., Singh, R.D. et al. Vertical root distribution in Himalayan trees: about half of roots occur below 30 cm, the generally sampled depth. *Trop Ecol.* 2021;62:479–491. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42965-021-00159-0>

7. Прокопьев А.П., Сахнов В.В. Рост и развитие лесных культур ясеня обыкновенного на границе его ареала. Научные труды Чебоксарского филиала Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН. 2021;17:94-97. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48675232>
8. Дручинин Д.Ю., Драпалюк М.В. Зависимость размеров рабочего органа выкопчного орудия от морфометрических особенностей корневых систем выкапываемых растений. Resources and Technology. 2015;12(2):109-119. DOI: 10.15393/j2.art.2015.3141
9. Латышева М. А. Исследование влияния регулировочных параметров стандартных навесных устройств тракторов на заглубляющую способность дисковых рабочих органов лесных безопорных орудий. Актуальные проблемы лесного комплекса. 2015;41:173-181. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23366084>
10. Neaves III C. M., Aust W. M., Bolding M. C., Barrett S. M., Trettin C. C., Vance E. Soil properties in site prepared loblolly pine (*Pinus taeda* L.) stands 25 years after wet weather harvesting in the lower Atlantic coastal plain. Forest Ecology and Management. 2017;344. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.08.015
11. Zhang C., Chen L., Jiang J. Vertical root distribution and root cohesion of typical tree species on the Loess Plateau, China. J. Arid Land. 2014;6:601-611. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40333-014-0004-x>
12. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И., Куницкая О.А. Обоснование методики оценки экологической эффективности лесопользования. Вестник КрасГАУ. 2012;6(69):72-77. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17806094>.
13. Sungurova N.R., Popkova I.A. Productivity of pine plantations during reclamation of sand quarries. Russian Forestry Journal. 2022;2(386):50-58. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-2-50-58.
14. Evans D.M., Zipper C.E., Burger J.A., Strahm B.D., Villamagna A.M. Reforestation Practice for Enhancement of Ecosystem Services on a Compacted Surface Mine: Path toward Ecosystem Recovery. Ecological Engineering. 2013;51:16-23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.065>
15. Macdonald S.E., Landhäusser S.M., Skousen J., Franklin J., Frouz J., Hall S., Jacobs D.F., Quideau S. Forest Restoration Following Surface Mining Disturbance: Challenges and Solutions. New Forests. 2015;46(5):703-732. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9506-4>
16. Enescu C.M. Shrub and tree species used for improvement by afforestation of degraded lands in Romania. Forestry ideas. 2015; 1(49): 3-15. URL: [https://www.researchgate.net/publication/329962495\\_Shrub\\_and\\_tree\\_species\\_used\\_for\\_improvement\\_by\\_afforestation\\_of\\_degraded\\_lands\\_in\\_Romania](https://www.researchgate.net/publication/329962495_Shrub_and_tree_species_used_for_improvement_by_afforestation_of_degraded_lands_in_Romania)
17. Денисова Т.Р., Шайхиев И.Г. Использование компонентов лиственных деревьев средней полосы России в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из водных сред. Вестник Технологического университета. 2017;20(24):145-158. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32281802>
18. Grossnickle S.C. Seedling establishment on a forest restoration site - An ecophysiological perspective. Reforesta. 2018;6:110-139. DOI: <https://doi.org/10.21750/REFOR.6.09.62>
19. Toca A., Moler E., Nelson A., Jacobs D.F. Environmental conditions in the nursery regulate root system development and architecture of forest tree seedlings: a systematic review. New For. 2022;53:1113-1143. DOI: 10.1007/s11056-022-09944-8.
20. Erkan N., Aydin A.C. Long term survival and growth performance of selected seedling types in cedar (*Cedrus libani*) afforestation in Turkey. J Environ Biol. 2017;38:1391-1396. DOI: <https://doi.org/10.22438/jeb/38/6/MRN-424>
21. Kul R., Ekinci M., Turan M., Ors S., Yildirim E. How abiotic stress conditions affects plant roots. In Plant Roots. Intech Open. 2020. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.95286>
22. Aubrey D.P. Grass(stage)root movement to ensure future resilience of longleaf pine ecosystems. NewFor. 2022;53:971-982. DOI: 10.1007/s11056-021-09870-1.
23. Григорьев И. В., Куницкая О. А., Рудов С. Е., Давтян А.Б. Пути повышения эффективности работы лесных машин. Энергия: экономика, техника, экология. 2020;1:55-63. DOI: 10.7868/S0233361920010085
24. Кулик К.Н., Бартенев И.М. Инновационная технология реконструкции и восстановления полезности-

ных лесных полос. Тракторыисельхозмашины. 2018;5:3-8. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-66369>

25. Cleary M. R., Arhipova N., Morrison D. J. Thomsen I. M. Stump removal to control root disease in Canada and Scandinavia: A synthesis of results from longterm trials. *Forest Ecology and Management*. 2013;290:5-14. DOI: [10.1016/j.foreco.2012.05.040](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.05.040)

26. Lozanova L., Zhiyanski M., Vanguelova E., Doncheva S., Marinov M.P., Lazarova S. Dynamics and vertical distribution of roots in European Beech forests and Douglas Fir plantations in Bulgaria. *Forests*. 2019;10:1123. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10121123>

27. Бартенев И. М., Драпалюк М. В., Казаков В. И. Совершенствование технологий и средств механизации лесовосстановления : монография. М. : ФЛИНТА : Наука, 2013. 208 с.

28. Поздняков Е.В. Повышение качества лесовосстановительных операций. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014;3-2(8-2):159-163. DOI: [10.12737/3946](https://doi.org/10.12737/3946)

29. Aleksandrowicz-Trzcńska M., Drozdowski S., Wolczyk Z., Bielak K., Żybura H. Effects of Reforestation and Site Preparation Methods on Early Growth and Survival of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in South-Eastern Poland Forests. 2017;8(11):1-17. DOI: [10.3390/f8110421](https://doi.org/10.3390/f8110421)

30. Labelle E.R., Jaeger D. Management Implications of Using Brush Mats for Soil Protection on Machine Operating Trails during Mechanized Cut-to-Length Forest Operations. *Forests*. 2019;10(1):19. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10010019>

31. Lang A.J., Cristan R., Aust W.M., Bolding M.C., Strahm B.D., Vance E.D., Roberts Jr. E.T. Long-Term Effects of Wet and Dry Site Harvesting on Soil Physical Properties Mitigated by Mechanical Site Preparation in Coastal Plain Loblolly Pine (*Pinus taeda*) Plantations. *Forest Ecology and Management*. 2016;359:162-173. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.034>

32. Ковылина О.П., Сухенко Н.В. Влияние технологии обработки почв на эффективность приживаемости лесных культур. В сборнике: Машиностроение: новые концепции и технологии. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2019: 354-357. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41493313&ysclid=lbr0c5je4n964279712>

33. Grossnickle S.C., Ivetic V. Root system development and field establishment: effect of seedling quality. *New Forests*. 2022;53:1021-1067. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-022-09916-y>

34. Moler E.R. V, Toca A., Jacobs D.F., Nelson A.S. Root system adaptations represent untapped opportunities for forest tree seedling improvement. *New For*. 2022;53:1069-1091. DOI: [10.1007/s11056-022-09917-x](https://doi.org/10.1007/s11056-022-09917-x).

35. Кухар И.В. К выбору селекции березы повислой (*Betula pendula*). В сборнике: Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства. Сборник статей всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2021: 175-180. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46589430&ysclid=lbr0dg4yy94166415>

36. Grossnickle S.C., MacDonald J.E. Seedling quality: history, application, and plant attributes. *For*. 2018a;9:283. DOI: <https://doi.org/10.3390/f9050283>

37. 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 – Biogeosciences and Forestry*. 2020;13(6):531-540. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifer3371-013>

38. Гриб В.М. Особенности строения корневых систем сосны обыкновенной и их влияние на качество лесовосстановления. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2015;2(344):37-49. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23408399>

39. Прутской А.В. Взаимовлияние корневых систем сосны обыкновенной и дуба черешчатого в условиях сложной субори на серой лесной почве. Успехи современного естествознания. 2018;6:43-48. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35311928&ysclid=lbr0ec5eu5841312083>

40. De La Fuente L.M., Ovalle J.F., Arellano E.C., Ginocchio R. Does woody species with contrasting root architecture require different container size in nursery? *MaderayBosques*. 2018;24:2421419. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2421419>

41. Поздняков Е.В. Повышение качества лесовосстановительных операций. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014;2(8-2):159-163. DOI: 10.12737/3946

42. Бартенев И. М., Поздняков Е. В. Эффективные и экологически безопасные технологии удаления пней на вырубках // Лесотехнический журнал. 2013;4(12):146-151. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21104506>

### References

1. Skirkus R., Jankauskas V., Gaidys R. Estimating stresses and movement work of a soil-cultivator tip using the finite-element method. *Journal of friction and wear*. 2016; 37(5):489-493. DOI: 10.3103/S1068366616050172

2. Pozdnyakov E.V. Obosnovanie parametrov i rezhima raboty ploshhadkodelatelja vokrug pnej [Substantiation of the parameters and mode of operation of the site maker around the stumps]: dissertatsiya ... kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.21.01 = Candidate Dissertation in Engineering Sciences: 05.21.01. Voronezh, 2015. 178 p. (In Russ.).

3. Luoranen J., Saksa T., Lappi J. Seedling, planting site and weather factors affecting the success of autumn plantings in Norway spruce and Scots pine seedlings. *For Ecol Manage*, 2018, no. 419 pp. 79–90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.03.040>

4. Fidej G., Rozman A., Diaci J. Drivers of regeneration dynamics following salvage logging and different silvicultural treatments in windthrow areas in Slovenia. *Forest Ecology and Management*. 2018;409:378-389. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.11.046

5. Achat D.L., Deleuze C., Landmann G., Pousse N., Ranger J., Augusto L. Quantifying Consequences of Removing Harvesting Residues on Forest Soils and Tree Growth – A Meta-Analysis. *Forest Ecology and Management*. 2015;348:124–141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.03.042>

6. Pathak, G.C., Joshi, H., Singh, R.D. et al. Vertical root distribution in Himalayan trees: about half of roots occur below 30 cm, the generally sampled depth. *Trop Ecol*. 2021;62:479–491. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42965-021-00159-0>

7. Prokopiev A.P., Sakhnov V.V. Rost i razvitie lesnyh kul'tur jasenja obyknovennogo na granice ego areala [Growth and development of forest cultures of common ash on the border of its range]. *Nauchnye trudy Cheboksarskogo filiala Glavnogo botanicheskogo sada im. N.V. Cicina RAN = Scientific works of the Cheboksary branch of the Main Botanical Garden.N.V.Tsitsina RAS*.2021;17:94-97. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48675232>

8. Druchinin D.Yu., Drapalyuk M.V. Zavisimost' razmerov rabocheho organa vykopnochnogo orudija ot morfometricheskikh osobennostej kornevyh sistem vykapyvaemyh rastenij [Dependence of the dimensions of the working body of the excavation tool on the morphometric features of the root systems of the excavated plants]. *Resources and Technology*.2015;12(2):109-119. (In Russ.). DOI: 10.15393/j2.art.2015.3141

9. Latysheva M. A. Issledovanie vlijanija regulirovochnyh parametrov standartnyh navesnyh ustrojstv traktorov na zaglubl'jajushhuju sposobnost' diskovyh rabochih organov lesnyh bezopornyh orudij [Investigation of the influence of adjusting parameters of standard tractor attachments on the deepening ability of disk working bodies of forest unsupported tools]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa = Actual problems of the forest complex*.2015;41:173-181. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23366084>

10. Neaves III C. M., Aust W. M., Bolding M. C., Barrett S. M., Trettin C. C., Vance E. Soil properties in site prepared loblolly pine (*Pinus taeda* L.) stands 25 years after wet weather harvesting in the lower Atlantic coastal plain. *Forest Ecology and Management*, 2017, 344 p. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.08.015

11. Zhang C., Chen L., Jiang J. Vertical root distribution and root cohesion of typical tree species on the Loess Plateau, China. *J. Arid Land*. 2014;6:601-611. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40333-014-0004-x>

12. Grigoriev I. V., Grigorieva O. I., Nikiforova A. I., Kunitskaya O. A. Obosnovanie metodiki ocenki

jekologicheskoj jeffektivnosti lesopol'zovanija [Substantiation of the methodology for assessing the environmental efficiency of forest management]. Vestnik KrasGAU = Bulletin of KrasGAU.2012;6(69):72-77. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17806094>

13. Sungurova N.R., Popkova I.A. Productivity of pine plantations during reclamation of sand quarries. Russian Forestry Journal. 2022;2(386):50-58. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-2-50-58.

14. Evans D.M., Zipper C.E., Burger J.A., Strahm B.D., Villamagna A.M. Reforestation Practice for Enhancement of Ecosystem Services on a Compacted Surface Mine: Path toward Ecosystem Recovery. Ecological Engineering. 2013;51:16-23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.065>

15. Macdonald S.E., Landhäusser S.M., Skousen J., Franklin J., Frouz J., Hall S., Jacobs D.F., Quideau S. Forest Restoration Following Surface Mining Disturbance: Challenges and Solutions. New Forests. 2015;46(5):703-732. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9506-4>

16. Enescu C.M. Shrub and tree species used for improvement by afforestation of degraded lands in Romania. Forestry ideas. 2015;1(49):3-15. URL: [https://www.researchgate.net/publication/329962495\\_Shrub\\_and\\_tree\\_species\\_used\\_for\\_improvement\\_by\\_afforestation\\_of\\_degraded\\_lands\\_in\\_Romania](https://www.researchgate.net/publication/329962495_Shrub_and_tree_species_used_for_improvement_by_afforestation_of_degraded_lands_in_Romania)

18. Denisova T.R., Shaikhev I.G. Ispol'zovanie komponentov listvennyh derev'ev srednej polosy Rossii v kachestve sorbcionnyh materialov dlja udaleniya polljutantov iz vodnyh sred [Use of components of deciduous trees of central Russia as sorption materials for the removal of pollutants from aquatic environments]. Vestnik Tehnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Technological University. 2017;24:145-158.(In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32281802>

18. Grossnickle S.C. Seedling establishment on a forest restoration site - An ecophysiological perspective. Reforesta. 2018;6:110-139. DOI: <https://doi.org/10.21750/REFOR.6.09.62>

19. Toca A., Moler E., Nelson A., Jacobs D.F. Environmental conditions in the nursery regulate root system development and architecture of forest tree seedlings: a systematic review. New For. 2022;53:1113-1143. DOI: 10.1007/s11056-022-09944-8.

20. Erkan N., Aydin A.C. Long term survival and growth performance of selected seedling types in cedar (*Cedrus libani*) afforestation in Turkey. J Environ Biol. 2017;38:1391-1396. DOI: <https://doi.org/10.22438/jeb/38/6/MRN-424>

21. Kul R., Ekinci M., Turan M., Ors S., Yildirim E. How abiotic stress conditions affects plant roots. In Plant Roots. Intech Open. 2020. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.95286>

22. Aubrey D.P. Grass(stage)root movement to ensure future resilience of longleaf pine ecosystems. New For. 2022;53:971-982. DOI: 10.1007/s11056-021-09870-1.

23. Grigoriev I. V., Kunitskaya O. A., Rudov S. E., Davtyan A. B. Puti povysheniya jeffektivnosti raboty lesnyh mashin [Ways to improve the efficiency of forest machines]. Jenergija: jekonomika, tehnika, jekologija = Energy: economics, technology, ecology.2020;1:55-63. (In Russ.). DOI: 10.7868/S0233361920010085

24. Kulik K.N., Bartenev I.M. Innovacionnaja tehnologija rekonstrukcii i vosstanovlenija polezashhitnyh lesnyh polos [Innovative technology for the reconstruction and restoration of field-protective forest belts]. Traktory i sel'hoz-mashiny = Tractors and agricultural machines.2018;5:3-8. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-66369>

25. Cleary M. R., Arhipova N., Morrison D. J. Thomsen I. M. Stump removal to control root disease in Canada and Scandinavia: A synthesis of results from longterm trials. Forest Ecology and Management. 2013;290:5-14. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.05.040

26. Lozanova L., Zhiyanski M., Vanguelova E., Doncheva S., Marinov M.P., Lazarova S. Dynamics and vertical distribution of roots in European Beech forests and Douglas Fir plantations in Bulgaria. Forests. 2019;10:1123. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10121123>

27. Bartenev I. M., Drapalyuk M. V., Kazakov V. I. Sovershenstvovanie tehnologij i sredstv mehanizacii lesovosstanovlenija : monografija [Improvement of technologies and means of reforestation mechanization: monograph].Moscow : FLINTA : Nauka, 2013. 208 p. (In Russ.).



28. Pozdnyakov E.V. Povyshenie kachestva lesovosstanovitel'nyh operacij. [Improving the quality of reforestation operations]. Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika = Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. 2014;3-2(8-2):159-163. (In Russ.). DOI: 10.12737/3946
29. Aleksandrowicz-Trzcińska M., Drozdowski S., Wolczyk Z., Bielak K., Żybura H. Effects of Reforestation and Site Preparation Methods on Early Growth and Survival of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in South-Eastern Poland Forests. 2017;8(11):1-17. DOI: 10.3390/f8110421
30. Labelle E.R., Jaeger D. Management Implications of Using Brush Mats for Soil Protection on Machine Operating Trails during Mechanized Cut-to-Length Forest Operations. Forests. 2019;10(1):19. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10010019>
31. Lang A.J., Cristan R., Aust W.M., Bolding M.C., Strahm B.D., Vance E.D., Roberts Jr. E.T. Long-Term Effects of Wet and Dry Site Harvesting on Soil Physical Properties Mitigated by Mechanical Site Preparation in Coastal Plain Loblolly Pine (*Pinus taeda*) Plantations. Forest Ecology and Management. 2016;359:162-173. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.034>
32. Kovylyna O.P., Sukhenko N.V. Vlijanie tehnologii obrabotki pochv na jeffektivnost' prizhivaemosti lesnyh kul'tur [Influence of soil cultivation technology on the efficiency of survival of forest crops]. V sbornike: MASHI-NOSTROENIE: NOVYE KONCEPCII I TEHNOLOGII. Sbornik statej Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh = In the collection: ENGINEERING: NEW CONCEPTS AND TECHNOLOGIES. Collection of articles of the All-Russian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists. 2019: 354-357. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41493313&ysclid=lbr0c5je4n964279712>
33. Grossnickle S.C., Ivetić V. Root system development and field establishment: effect of seedling quality. New Forests. 2022;53:1021-1067. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-022-09916-y>
34. Moler E.R. V, Toca A., Jacobs D.F., Nelson A.S. Root system adaptations represent untapped opportunities for forest tree seedling improvement. New For. 2022;53:1069-1091. DOI: 10.1007/s11056-022-09917-x.
35. Kukhar I.V. K vyboru selekcii berezy povisloj (*Betula pendula*) [To the choice of selection of drooping birch (*Betula pendula*)] V sbornike: Tehnologii i oborudovanie sadovo-parkovogo i landshaftnogo stroitel'stva. Sbornik statej vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii = In the collection: Technologies and equipment for landscape gardening and landscape construction. Collection of articles of the All-Russian scientific-practical conference. 2021:175-180. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46589430&ysclid=lbr0dg4yy94166415>
36. Grossnickle S.C., MacDonald J.E. Seedling quality: history, application, and plant attributes. For. 2018a;9:283. DOI: <https://doi.org/10.3390/f9050283>
37. 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 – Biogeosciences and Forestry. 2020;13(6):531-540. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifor3371-013>
38. Grib V.M. Osobennosti stroenija kornevyh sistem sosny obyknovennoj i ih vlijanie na kachestvo lesovosstanovlenija [Features of the structure of the root systems of Scots pine and their influence on the quality of reforestation]. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal = News of higher educational institutions. Forest magazine. 2015;2(344):37-49. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23408399>.
39. Prutskoy A.V. Vzaimovlijanie kornevyh sistem sosny obyknovennoj i duba chereschatogo v uslovijah slozhnoj subori na seroj lesnoj pochve [Mutual influence of the root systems of Scots pine and English oak in conditions of complex subori on gray forest soil]. Uspehi sovremennogo estestvoznaniya = Successes of modern natural science. 2018;6:43-48. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35311928&ysclid=lbr0ec5eu5841312083>.
40. De La Fuente L.M., Ovalle J.F., Arellano E.C., Ginocchio R. Does woody species with contrasting root architecture require different container size in nursery? Madera y Bosques. 2018;24:2421419. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2421419>.
41. Pozdnyakov E.V. Povyshenie kachestva lesovosstanovitel'nyh operacij [Improving the quality of reforesta-

tion operations]. Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika = Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice.2014;2(8-2):159-163. (In Russ.). DOI: 10.12737/3946.

42. Bartenev I. M., Pozdnyakov E. V. Jeffektivnye i jekologicheski bezopasnye tehnologii udaleniya pnej na vyrubkah [Efficient and environmentally safe technologies for removing stumps in clearings]. Lesotekhnicheskii zhurnal = Forest Engineering Journal.2013;4(12):146-151.(In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21104506>.

### Сведения об авторах

✉ *Малюков Сергей Владимирович* – кандидат технических наук, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2098-154X>, e-mail: [malyukovsergey@yandex.ru](mailto:malyukovsergey@yandex.ru).

*Поздняков Евгений Владиславович* – кандидат технических наук, научный сотрудник патентного сектора научно-исследовательского отдела ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3904-867x>, e-mail: [pozd.ev@yandex.ru](mailto:pozd.ev@yandex.ru)

*Дегтярева Светлана Ивановна* – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры ботаники и физиологии растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3825-1158>, e-mail: [degtjarewa-lana@yandex.ru](mailto:degtjarewa-lana@yandex.ru).

*Шавков Михаил Викторович* – кандидат технических наук, специалист по снабжению ООО «Русгидроком», ул. Мазлумова, д. 25, г. Воронеж, Российская Федерация, 394040, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3700-7508>, e-mail: [shavkovmv@mail.ru](mailto:shavkovmv@mail.ru)

*Малюкова Маргарита Александровна* – кандидат технических наук, доцент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8174-0358>, e-mail: [lrita@bk.ru](mailto:lrita@bk.ru).

*Шанин Игорь Игоревич* – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и финансов ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4706-9868>, e-mail: [kingoao@mail.ru](mailto:kingoao@mail.ru)

*Арико Сергей Евгеньевич* – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства, УО «Белорусский государственный технологический университет», ул. Свердлова, 13а, г. Минск, Республика Беларусь, 220006, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6812-8842>, e-mail: [sergeyariko@mail.ru](mailto:sergeyariko@mail.ru).

### Information about authors

✉ *Malyukov Sergey Vladimirovich* – Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation; 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2098-154X>, e-mail: [malyukovsergey@yandex.ru](mailto:malyukovsergey@yandex.ru)

*Pozdnyakov Evgeny Vladislavovich* – Cand. Sci. (Tech.), Research Fellow of the Patent Sector of the Research Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3904-867x>, e-mail: [pozd.ev@yandex.ru](mailto:pozd.ev@yandex.ru);

*Degtjareva Svetlana Ivanovna* – Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Botany and Plant Physiology, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3825-1158>, e-mail: [degtjarewalana@yandex.ru](mailto:degtjarewalana@yandex.ru).

*Shavkov Mikhail Viktorovich* – Cand. Sci. (Tech.), Procurement Specialist RusHydrocom LLC, Mazlumova str., 25, Voronezh, Russian Federation, 394040, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3700-7508>, e-mail: [shavkovmv@mail.ru](mailto:shavkovmv@mail.ru)

*Malyukova Margarita Alexandrovna* – Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of Production, Repair and Maintenance of Machinery Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation; 394087, ORCID: [orcid.org/0000-0001-8174-0358](https://orcid.org/0000-0001-8174-0358), e-mail: [lrita@bk.ru](mailto:lrita@bk.ru).

*Shanin Igor Igorevich* – Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor of the Department of Economics and Finance, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation; 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4706-9868>, e-mail: [kingoao@mail.ru](mailto:kingoao@mail.ru).

*Ariko Sergey Evgenievich* – Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forest Machines, Roads and Technologies of Timber Industry, Belarussian State Technological University, Sverdlova str., 13a, Minsk, Belarus; 220006, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6812-8842>, e-mail: [sergeyariko@mail.ru](mailto:sergeyariko@mail.ru).

✉ – Для контактов/Corresponding author