

Научная статья

УДК 630:632\*51:632\*954

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-3-53-67

## Биологическая и экономическая эффективность применения гербицидов способом инъекции при проведении уходов за молодняками

А.М. Постников<sup>✉</sup>, канд. с.-х. наук; ResearcherID: [G-4313-2015](https://orcid.org/0000-0002-8942-8155),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8942-8155>

А.Б. Егоров, д-р с.-х. наук; ResearcherID: [G-4300-2015](https://orcid.org/0000-0003-2624-214X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2624-214X>

А.А. Бубнов, канд. с.-х. наук; ResearcherID: [E-1666-2015](https://orcid.org/0000-0001-5716-3503),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5716-3503>

Л.Н. Павлюченкова, канд. с.-х. наук; ResearcherID: [G-4285-2015](https://orcid.org/0000-0001-8884-2496),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8884-2496>

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства, Институтский просп., д. 21, Санкт-Петербург, Россия, 194021; a.postnikov@spb-niilh.ru<sup>✉</sup>, herb.egorov@yandex.ru, a.bubnov@list.ru, pavlyuchenkova@spb-niilh.ru

---

Поступила в редакцию 03.04.25 / Одобрена после рецензирования 24.06.25 / Принята к печати 26.06.25

---

**Аннотация.** Из-за несвоевременного проведения уходов и их низкого качества значительные площади лесного фонда заняты смешанными древостоями разного происхождения. Для формирования хвойных насаждений с незначительной примесью лиственных пород требуется изменение их видового состава и густоты. Осуществление рубок ухода (прочистки и прореживания) характеризуется высокой стоимостью и трудоемкостью. Самым перспективным вариантом устранения конкуренции со стороны лиственных пород в смешанных насаждениях является инъекция гербицидов в стволы нежелательных лиственных деревьев. Эта технология сочетает высокую лесоводственную и экономическую эффективность с экологической безопасностью. Рекомендации по проведению инъекций гербицидов не обновлялись более 3 десятилетий и требуют существенной корректировки. Цель работы состояла в совершенствовании регулирования состава и густоты древостоев способом инъекции гербицидов и их смесей в стволы деревьев лиственных пород при снижении химической и токсической нагрузки на лесные экосистемы. Объектами исследования являлись отдельные деревья ольхи серой (*Alnus incana* (L.) Moench) и осины (*Populus tremula* L.) вегетативного происхождения в фазе жердняка в смешанных насаждениях. Выявлено эффективное действие препарата Торнадо и его смеси с Арбоналом в низких дозах на ольху и осину при полном подавлении их вегетативной способности. Арбонал действовал медленнее, чем Торнадо, однако демонстрировал высокую результативность в следующем после проведения обработки вегетационном сезоне. Полученные данные свидетельствуют о перспективности рекомендуемых вариантов применения гербицидов для подавления лиственных пород, распространенных в таежной зоне. Оценка экономической эффективности метода показала, что общие финансовые затраты в 16–21 раз ниже по сравнению с базовой технологией с использованием механических средств устранения нежелательной растительности.

**Ключевые слова:** гербициды, инъекция гербицидов, осина, *Populus tremula* L., ольха серая, *Alnus incana* (L.) Moench, уход за лесом, прореживание, осветление, прочистка, нежелательная лиственная растительность, угнетение лиственными породами

---

© Постников А.М., Егоров А.Б., Бубнов А.А., Павлюченкова Л.Н., 2026

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

**Благодарности:** Исследование осуществлялось за счет средств Федерального агентства лесного хозяйства по госзаданию ФБУ «СПбНИИЛХ», № 053-00006-22-00 от 23.12.2021.

**Для цитирования:** Постников А.М., Егоров А.Б., Бубнов А.А., Павлюченкова Л.Н. Биологическая и экономическая эффективность применения гербицидов способом инъекции при проведении уходов за молодняками // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 3. С. 53–67. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-3-53-67>

Original article

## Biological and Commercial Efficiency of Applying Herbicides via Injection During Young Growth Tending

**Anton M. Postnikov**✉, *Candidate of Agriculture*; ResearcherID: [G-4313-2015](https://orcid.org/0000-0002-8942-8155),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8942-8155>

**Alexander B. Egorov**, *Doctor of Agriculture*; ResearcherID: [G-4300-2015](https://orcid.org/0000-0003-2624-214X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2624-214X>

**Alexander A. Bubnov**, *Candidate of Agriculture*; ResearcherID: [E-1666-2015](https://orcid.org/0000-0001-5716-3503),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5716-3503>

**Lidiya N. Pavluchenkova**, *Candidate of Agriculture*; ResearcherID: [G-4285-2015](https://orcid.org/0000-0001-8884-2496),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8884-2496>

Saint Petersburg Forestry Research Institute, Institutskiy prosp., 21, Saint-Petersburg, Russia, 194021; [a.postnikov@spb-niilh.ru](mailto:a.postnikov@spb-niilh.ru)✉, [herb.egorov@yandex.ru](mailto:herb.egorov@yandex.ru), [a.bubnov@list.ru](mailto:a.bubnov@list.ru),

[l.pavlyuchenkova@spb-niilh.ru](mailto:l.pavlyuchenkova@spb-niilh.ru)

---

Received on April 3, 2025 / Approved after reviewing on June 24, 2025 / Accepted on June 26, 2025

---

**Abstract.** Significant areas of the forest fund are occupied by mixed stands of different origins due to unseasonable tending and its low quality. In order to form coniferous stands with a slight admixture of deciduous trees, it is necessary to change their species composition and density. Carrying out thinning (release cuttings and forest clearings) requires significant costs and labor intensity. The most promising option for eliminating competition between deciduous trees in mixed stands is the herbicide injection into the trunks of undesirable deciduous trees. This technology combines high silvicultural and commercial efficiency with environmental safety. Guidelines for herbicide injection have not been updated for more than three decades and require significant adjustments. The research aimed at the regulation improvement of the forest stands composition and density by injecting herbicides and their mixtures into the trunks of deciduous trees while reducing the chemical and toxic load on forest ecosystems. Research objects were individual trees of grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) and aspen (*Populus tremula* L.) of vegetative origin in the pole stage in mixed plantations. The studies revealed the effective action of the Tornado herbicide preparation and its mixture with the Arbonal herbicide in low doses on grey alder and aspen with complete suppression of their vegetative capacity. The Arbonal alone acted somewhat slower than the Tornado, but showed high efficiency in the vegetation season following the treatment. The data obtained indicate the prospects of the recommended options for the herbicides application to suppress deciduous species common for the taiga zone. Cost-effectiveness analysis of the proposed technology showed that the total financial costs are

16–21 times lower compared to the basic technology using mechanical means of eliminating undesirable vegetation.

**Keywords:** herbicides, herbicide injection, aspen, *Populus tremula* L., grey alder, *Alnus incana* (L.) Moench, forest tending, thinning, release cuttings, forest clearings, undesirable deciduous vegetation, suppression by deciduous species

**Funding:** The research was financially supported by the Federal Agency for Forestry within the state assignment of the Saint Petersburg Forestry Research Institute approved by the Order No. 053-00006-22-00 dated December 23, 2021.

**For citation:** Postnikov A.M., Egorov A.B., Bubnov A.A., Pavluchenkova L.N. Biological and Commercial Efficiency of Applying Herbicides via Injection During Young Growth Tending. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 3, pp. 53–67. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-3-53-67>

### Введение

Недостаточная эффективность лесовосстановления в РФ преимущественно обусловлена дефицитом качественных мероприятий по уходу за лесом. Исторические данные по Европейскому Северу страны демонстрируют критическое состояние лесных культур: к 70–80-м гг. XX в. их площадь в возрасте 30 лет не превышала 4 млн/га, при этом значительная часть была угнетена лиственными породами (осиной, березой) из-за отсутствия уходов [9]. Исследования подтверждают, что недостаток ухода приводит к гибели 25 % культур к 10-летнему возрасту [6], а также к сокращению доли хвойных насаждений. Например, в Архангельской области за 1914–1988 гг. площади с преобладанием сосны снизились с 45 до 27 %, а в Вологодской области территории с преимущественным произрастанием хвойных пород уменьшились на 30 %, при этом 63 % вырубок заросли лиственными деревьями [9]. В настоящее время негативная динамика сохраняется – происходит накопление смешанных древостоев, где хвойные виды угнетены лиственными и занимают 2-й ярус, что требует регулирования состава и густоты насаждений [10, 13].

Существующие методы уходов (механическое удаление нежелательной растительности) не всегда удовлетворяют лесоводственным требованиям из-за низкой эффективности, краткосрочности действия, высокой трудоемкости и низкой избирательности. Например, механизированная очистка кулис не позволяет сохранить отдельные деревья, что усугубляет проблему сокращения биоразнообразия и продуктивности насаждений. Для более качественного ухода необходимо внедрение новых технологий, которые повысят лесоводственную и экономическую эффективность проводимых мероприятий. Среди современных методов борьбы с нежелательной древесно-кустарниковой растительностью перспективным является внутривидовое введение химических препаратов [2].

Метод доказал свою результативность в 2 аспектах: кратном росте лесоводственной эффективности и снижении финансовых затрат. Ранее было установлено, например, что при инъекциях препаратов трудозатраты ниже в 8 раз по сравнению с механическим удалением деревьев [12]. Способ технологически доступен. Кроме того, за счет применения низких доз химических веществ и введения их непосредственно в ствол дерева значительно увеличивается эко-

логическая безопасность в сопоставлении с опрыскиванием гербицидами. Исследования подтверждают, что инъекции в смешанных молодняках приводят к повышению прироста хвойных в 1,5–2 раза через 5 лет и более чем в 2 раза через 10 лет по сравнению с контролем [1, 4, 5, 12, 14].

Регулирование состава и густоты древостоев химическим способом (инъекции в стволы нежелательных древесных растений) получило широкое распространение в лесном хозяйстве многих стран, в частности, в США и Канаде, Англии, Австралии [15–22].

Безопасность метода для окружающей среды достигается также за счет замены высокотоксичных препаратов на соединения с низкой токсичностью, которые используются в минимальных дозировках [1, 3]. Современные разработки, включающие опрыскивание смесями гербицидов, способствуют снижению химического и токсического воздействия на экосистемы. Однако использование таких смесей для инъекций в стволы деревьев остается недостаточно изученным.

Изменение ассортимента гербицидов для инъекций направлено на повышение их эффективности, скорости воздействия и универсальности при одновременной минимизации расхода препаратов, которая достигается за счет снижения концентрации рабочих растворов и количества насечек. Приоритет отдается препаратам с лучшими характеристиками: малотоксичным и удобным в использовании.

Проведенные ранее исследования (2022–2023 гг.) позволили авторам определить наиболее перспективные для исследования гербициды, а также разработать предварительные регламенты применения отобранных препаратов [7, 8]. Перспективными для экспериментального изучения с целью регулирования состава и густоты древостоев можно считать 2 гербицида, зарегистрированные для применения в Российской Федерации [11]: Торнадо, водный раствор (360 г/л глифосата в виде изопропиламинной соли); Арбонал, водорастворимый концентрат (250 г/л имазапира) – а также их смеси.

Цель исследования – оценить возможность снижения доз гербицидов при инъекциях в стволы деревьев ольхи серой (*Alnus incana* (L.) Moench) и осины (*Populus tremula* L.) в фазе жердняка без потери биологической и экономической эффективности метода.

#### *Объекты и методы исследования*

Опытные объекты находились в Гатчинском лесничестве (Ленинградская область), в Балтийско-Белозерском таежном районе. Для определения эффективности воздействия гербицидов использовались 2 критерия: соотношение отмерших и оставшихся листьев у обработанных, но сохранивших признаки жизнеспособности деревьев по отношению к контрольным (необработанным) и доля полностью погибших экземпляров от общего количества обработанных деревьев. Определение этих показателей проводилось глазомерно для каждого дерева.

В 2023–2024 гг. в смешанном 2-ярусном древостое, сформировавшемся на сплошной вырубке, было выполнено 4 опыта. Состав 1-го яруса 6Ос2Б2Ол<sub>c</sub>+Ив, 2-го – 10Е. Средний диаметр осины – 9,8 см, березы – 10,6 см, ольхи – 9,6 см, ивы – 9,3 см. Наблюдалось критическое угнетение ели в усло-

виях плотного затенения, создаваемого кронами лиственных деревьев. Опыты закладывались в 2 этапа с интервалом в 1 месяц. Дозы гербицидов в ряде опытов дублировались.

В опыте 1 обработка деревьев ольхи проведена 14.06.2023. Схема опыта: Торнадо 0,20 мл/дерево (вариант 1); Торнадо 0,12 мл/дерево (2); Арбонал 0,08 мл/дерево (3); Арбонал 0,04 мл/дерево (4); Торнадо 0,12 мл/дерево + Арбонал 0,08 мл/дерево (5); Торнадо 0,12 мл/дерево + Арбонал 0,04 мл/дерево (6). Учеты проводились: 1-й – 11.07.2023; 2-й – 17.08.2023; 3-й – 12.09.2023; 4-й – 10.06.2024; 5-й – 28.08.2024.

В опыте 2 обработка осин и учеты осуществлены в даты, аналогичные опыту 1. Схема введения препаратов та же.

В опыте 3 ольха обработана 11.07.2023 с применением Торнадо 0,55 мл/дерево (1); Арбонала 0,02 мл/дерево (2); Торнадо 0,20 мл/дерево + Арбонал 0,04 мл/дерево (3); Торнадо 0,12 мл/дерево + Арбонал 0,02 мл/дерево (4). Даты учетов: 1-й – 17.08.2023; 2-й – 12.09.2023; 3-й – 10.06.2024; 4-й – 28.08.2024.

В опыте 4 обработка осины проведена в ту же дату, что и в опыте 3. Схема опыта: Торнадо 0,55 мл/дерево (1); Торнадо 0,20 мл/дерево + Арбонал 0,04 мл/дерево (2); Торнадо 0,12 мл/дерево + Арбонал 0,02 мл/дерево (3). Учеты осуществлены в те же даты, что и в опыте 3.

Инъекции растворов гербицидов в деревья проводили с применением аккумуляторной дрели и инъектора или медицинского шприца (рис. 1). Гербициды вводили в предварительно сделанное с помощью дрели отверстие диаметром 10 мм и глубиной 20 мм. Диаметр стволов деревьев составлял 6–15 см, что характерно для большинства смешанных древостоев в фазе жердняка. При толщине дерева более 12 см делали 2 отверстия. При проведении инъекции в каждое отверстие вводили 1 мл рабочего раствора, препарат предварительно разбавляли водой. В каждом варианте опыта было обработано по 25 деревьев.



Рис. 1. Инъекция гербицида в ствол дерева в одном из опытов

Fig. 1. Herbicide injection into a tree trunk in one of the experiments

В «Государственном каталоге...» рекомендованные нормы применения препарата Торнадо составляют 0,55–1,10 мл/дерево, Арбонала – 0,16–0,32 мл/дерево [11]. В проведенных опытах дозы гербицидов были снижены: Торнадо – 0,12–0,20 мл/дерево, Арбонал – 0,02–0,08 мл/дерево, такие же концентрации использованы в смесях гербицидов.

Для анализа экспериментальных данных выбран непараметрический критерий Краскела–Уоллиса, т. к. предварительная проверка распределения показателей с использованием критерия Колмогорова–Смирнова выявила отклонение от нормального распределения. Оценка статистической значимости различий между вариантами по динамике отмирания листьев выполнялась отдельно для каждого учета. Во всех опытах различия между вариантами достигли статистически значимого уровня ( $p < 0,05$ ). Использован непараметрический статистический показатель  $H$ , измеряющий различие между средними рангами групп: чем выше  $H$ , тем больше различия между группами.

В опыте 1 для 1-го учета  $H = 40,41$ ; для 2-го  $H = 40,2$ ; для 3-го  $H = 49,68$ ; для 4-го  $H = 130,62$ ; для 5-го  $H = 138,69$ .

В опыте 2  $H = 45,88; 26,16; 15,49; 21,05$  и  $30,62$  соответственно для 1–5-го учетов. Во всех случаях в опытах 1 и 2  $p < 0,01$ .

В опыте 3  $H = 55,77; p < 0,01; H = 40,95; p < 0,01; H = 9,77; p < 0,02; H = 10,78; p < 0,013$  для 1-го, 2-го, 3-го и 4-го, 5-го учетов соответственно.

В опыте 4  $H = 42,14; p < 0,01; H = 44,66; p < 0,01; H = 41,09; p < 0,01; H = 42,77; p < 0,01$  для 1-го, 2-го, 3-го и 4-го, 5-го учетов соответственно.

### Результаты исследования и их обсуждение

В опыте 1 через 27 дней после обработки максимальная доля отмерших листьев у ольхи зафиксирована в варианте, где применялся Торнадо в концентрации 0,20 мл/дерево – 11 % (рис. 2). Значительно более низкая степень повреждения обработанных деревьев отмечена в варианте 2 и в вариантах с применением смесей – 1,8–3,5 %. Арбонал на данном этапе не проявил видимого эффекта: отмерших деревьев не обнаружено ни в одном из вариантов.

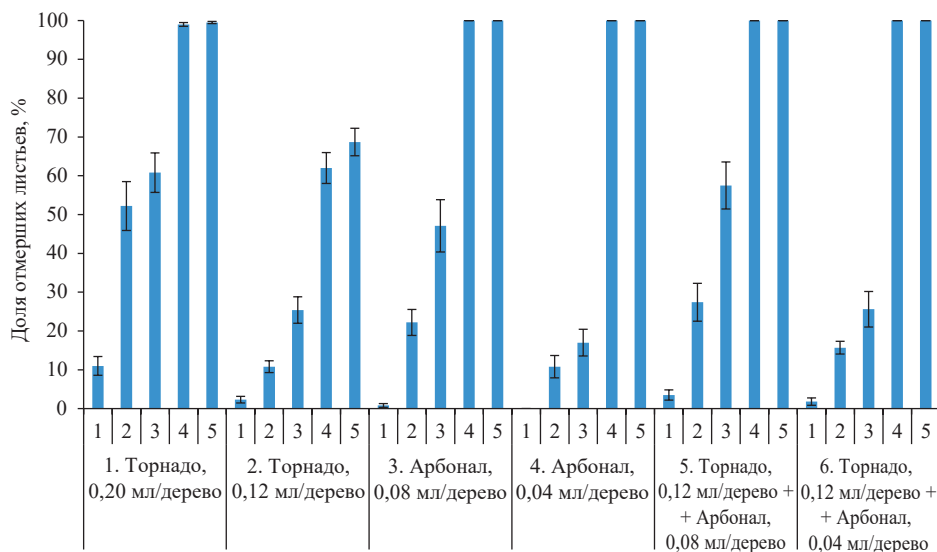


Рис. 2. Динамика отмирания листьев ольхи в опыте 1 с ошибкой (здесь и далее кроме вариантов, где погибло 100 % листьев). Здесь и на рис. 3–7, 9, 10 цифры на горизонтальной оси обозначают даты учета

Fig. 2. Dynamics of alder leaves dieback in experiment 1 with an error (here and further, except the variants where 100 % of leaves died). Here and in figures 3–7, 9, 10, the numbers on the horizontal axis indicate the measurement dates

Учет, проведенный через 64 дня после обработки, показал значительное увеличение доли отмерших листьев ольхи во всех вариантах. Наибольшая эффективность по-прежнему наблюдалась в варианте 1 – 52,2 %. В варианте 5 доля отмерших листьев повысилась более чем в 7 раз по сравнению с показателем 1-го учета и составила 27,4 %. Также более 22 % листьев погибло в варианте 3. Полностью усохшие деревья на данном этапе отмечены только в варианте 1 – 8 % (рис. 3).

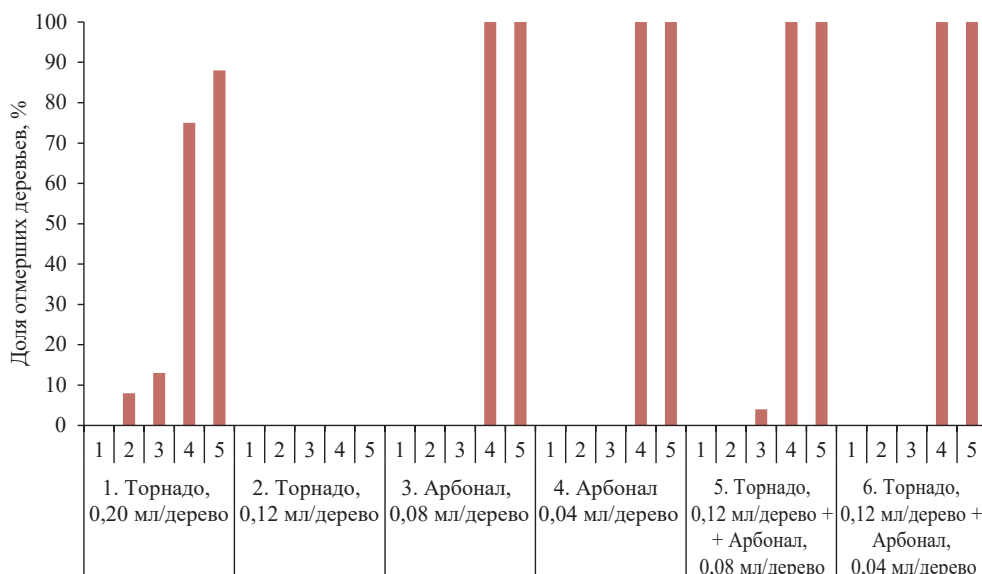


Рис. 3. Динамика отмирания деревьев ольхи в опыте 1

Fig. 3. Dynamics of alder trees dieback in experiment 1

Через 3 месяца после обработки наибольшая эффективность отмечена в варианте 1, где отмерло более 60 % листьев и 12 % деревьев ольхи. Также относительно высокая степень подавления наблюдалась в вариантах 3 и 5, где погибло 47,1 и 57,5 % листьев соответственно.

На следующий год после обработки во всех вариантах опыта отмечено существенное усиление эффективности действия гербицидов. В варианте 1 степень отмирания листьев достигала 99,5 %, погибло 75–88 % деревьев. В варианте 2 усыхания деревьев не зафиксировано, при этом доля отмерших листьев увеличилась до 62–68,7 %. В остальных вариантах опыта к этому сроку учета как листья, так и деревья усохли на 100 %.

В опыте 2 наиболее эффективным через 27 дней после обработки оказался вариант Торнадо 0,20 мл/дерево, в котором отмерло 46,5 % листьев и 8 % деревьев осины. Самая низкая эффективность в этот срок зафиксирована в вариантах с применением Арбонала (2,3–4,3 %).

Через 64 дня после обработки эффективность подавления осины выросла во всех вариантах (рис. 4). Наибольшая доля отмерших листьев (около 80 %) отмечена в вариантах 1 и 6, при этом в варианте 1 полностью погибло 70 % деревьев, а в варианте 6 – 30 %. В варианте 3 доля отмерших листьев выросла в 15 раз по сравнению с 1-м учетом при полной гибели 29 % деревьев (рис. 5).

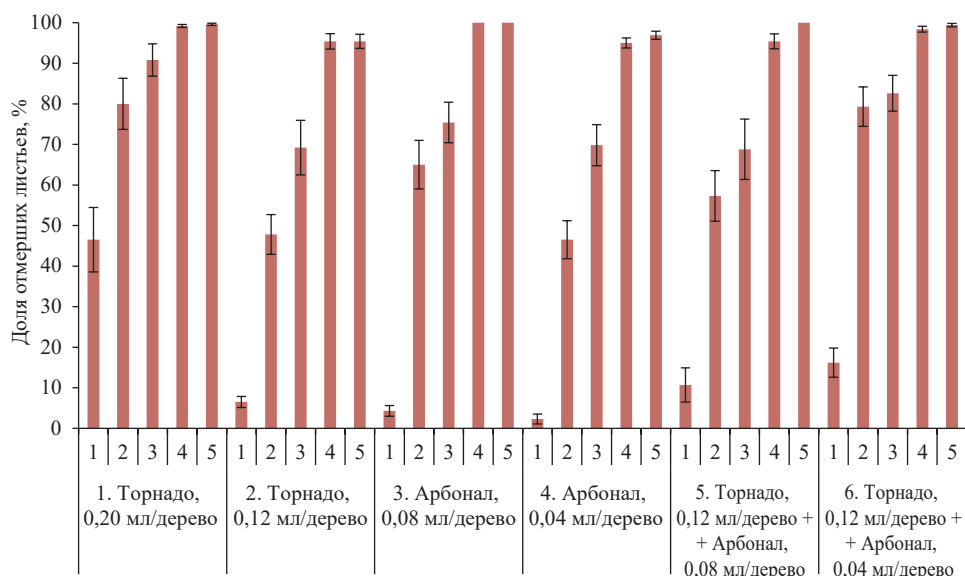


Рис. 4. Динамика отмирания листьев осины в опыте 2 с ошибкой (кроме вариантов, где погибло 100 % листьев)

Fig. 4. Dynamics of aspen leaves dieback in experiment 2 with an error (except the variants where 100 % of leaves died)

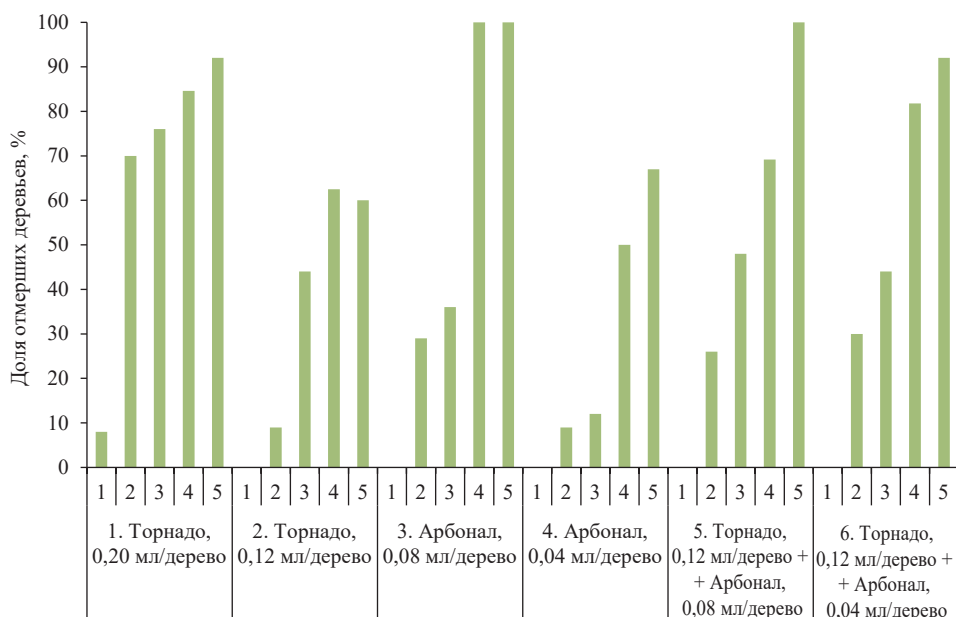


Рис. 5. Динамика отмирания осины в опыте 2

Fig. 5. Dynamics of aspen trees dieback in experiment 2

По результатам заключительного учета 2023 г. наибольшая эффективность подавления осины зафиксирована в варианте 1, отмерло более 90 % листьев и 76 % деревьев. Также высокая доля усохших листьев осины отмечена в варианте 6 – 82,6 %, однако доля отмерших деревьев в 1,7 раз меньше, чем в варианте 1. В остальных вариантах опыта на данном этапе была зафиксирована схожая степень подавления листьев.

На следующий после обработки год эффективность действия гербицидов во всех вариантах опыта значительно возросла. Максимальная степень отмирания листьев и деревьев (100 %) была достигнута в варианте 3 (рис. 6). Незначительно уступали показатели в варианте 5. Практически на одном уровне была эффективность в вариантах 1 и 6. В вариантах 2 и 4, несмотря на высокие показатели отмирания листьев (95–97 %), степень усыхания деревьев не превышала 67 %, что недостаточно для достижения нужного лесоводственного эффекта.



Рис. 6. Эффективность подавления осины в опыте 2.  
Слева и справа – необработанные деревья

Fig. 6. Effectiveness of aspen suppression in experiment 2.  
Untreated trees are on both sides

В опыте 3 через 35 дней после обработки арборицидное действие проявилось во всех вариантах. Наибольшая доля отмерших листьев ольхи (43,8 %) отмечена в варианте 1 (рис. 7). В вариантах с применением низкой дозы Арбонала и смеси Торнадо и Арбонала в небольших концентрациях отмечены самые малые на данном этапе показатели эффективности – 3 и 4,6 % соответственно.

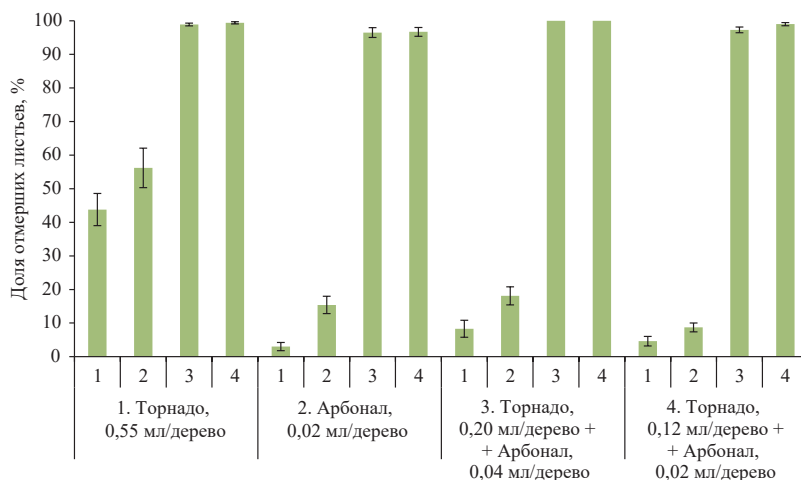


Рис. 7. Динамика отмирания листьев ольхи в опыте 3 с ошибкой  
Fig. 7. Dynamics of alder leaves dieback in experiment 3 with an error

Через 2 месяца после обработки значительно большая эффективность относительно остальных вариантов также наблюдалась в варианте 1: отмерло 56,2 % листьев. В варианте 2 доля усохших листьев повысилась более чем в 5 раз по сравнению с показателем 1-го учета. Полностью погибших деревьев на данном этапе не зафиксировано ни в одном из вариантов.

На следующий год после обработки во всех вариантах опыта отмечено существенное усиление эффективности влияния гербицидов. Наиболее действенной была смесь Торнадо в концентрации 0,20 мл/дерево с Арбоналом 0,04 мл/дерево – степень отмирания листьев и деревьев составила 100 % (рис. 8).

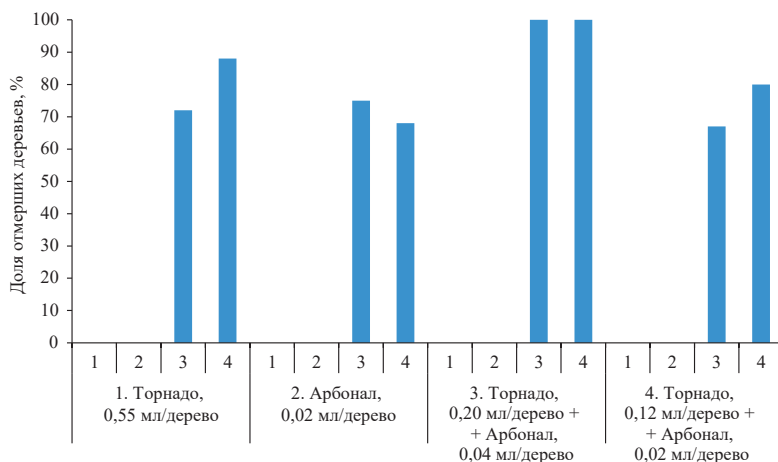


Рис. 8. Динамика отмирания ольхи в опыте 3

Fig. 8. Dynamics of alder trees dieback in experiment 3

Первый учет в опыте 4 выявил активное подавление осины во всех вариантах (рис. 9). Через месяц в варианте 1 почти все деревья погибли. Наименьшая эффективность (менее 30 % отмерших листьев) отмечена в варианте 3.

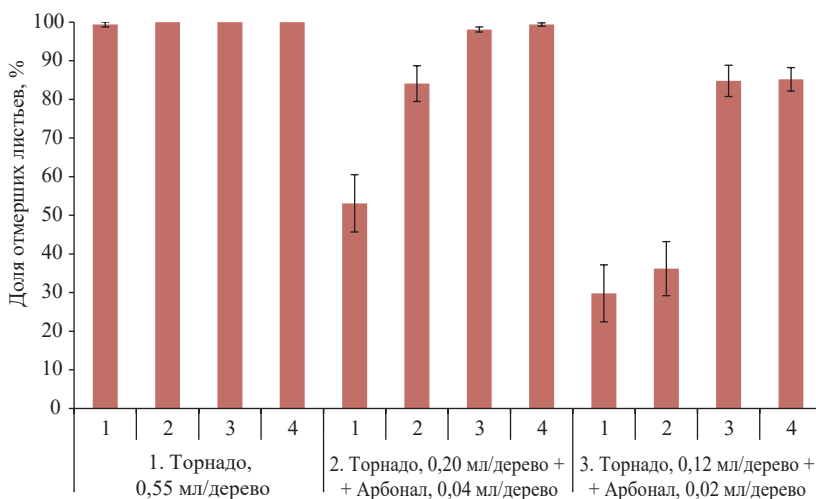


Рис. 9. Динамика отмирания листьев осины в опыте 4 с ошибкой (кроме вариантов, где погибло 100 % листьев)

Fig. 9. Dynamics of aspen leaves dieback in experiment 4 with an error (except the variants where 100 % of leaves died)

Через 2 месяца в варианте 1 зафиксирована 100%-ная гибель деревьев, в варианте 2 – 60 %, а в варианте 3 – лишь 12 %. При этом смесь Торнадо 0,12 мл + Арбонал 0,02 мл показала низкую эффективность: 36,2 % отмерших листьев и 12 % погибших деревьев.

В течение следующего вегетационного сезона эффективность действия гербицидов в вариантах 2 и 3 увеличилась. В варианте 2 степень отмирания листьев составила 98,1–99,4 %, а гибель деревьев достигла 74,1–93,0 %.

В варианте 3, несмотря на рост доли отмерших листьев до 85,2 %, количество погибших деревьев осталась низким – менее 30 % (рис. 10). Наиболее перспективными для подавления осины оказались Торнадо в дозе 0,55 мл/дерево, Арбонал 0,08 мл/дерево и их смесь Торнадо 0,12 мл + Арбонал 0,08 мл/дерево. Менее эффективны Торнадо 0,20 мл/дерево, а также смеси Торнадо 0,20 мл/дерево + Арбонал 0,04 мл/дерево и Торнадо 0,12 мл/дерево + Арбонал 0,04 мл/дерево. Применение низких доз Торнадо (0,12 мл/дерево), Арбонала (0,04 мл/дерево) и их смеси (Торнадо 0,12 мл/дерево + Арбонал 0,02 мл/дерево) признано малоперспективным из-за низкой доли отмерших деревьев.

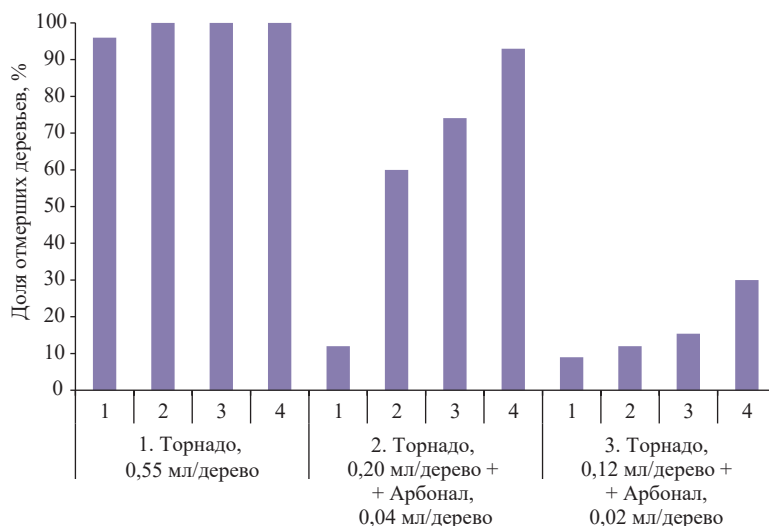


Рис. 10. Динамика отмирания деревьев осины в опыте 4

Fig. 10. Dynamics of aspen trees dieback in experiment 4

При расчетах экономической эффективности были использованы фактические трудозатраты на проведение инъекции гербицидов в 2 полевых производственных опытах 2024 г. Проверены варианты применения гербицидов, признанные наиболее перспективными по результатам многочисленных мелкоделяночных опытов подавления основных лиственных древесных пород: Торнадо 0,20 мл/дерево, Арбонал 0,08 мл/дерево и смесь Торнадо 0,25 мл/дерево + Арбонал 0,06 мл/дерево.

Средняя стоимость гербицидов в 2024 г. составляла: Торнадо – 1100 р за 1 л; Арбонал – 3100 р за 1 л. Таким образом, стоимость гербицидов в варианте с Торнадо составила 242 р., в варианте с Арбоналом – 298 р., в варианте со смесью Торнадо и Арбонала – 460 р. Трудозатраты на проведение инъекций для устранения 100 скл. м<sup>3</sup> нежелательных лиственных пород с 1 га насаждения составляют 0,33 человека/день (см. таблицу).

**Экономическая эффективность технологии инъекции гербицидов  
по сравнению с базовой технологией для 100 скл. м<sup>3</sup> деревьев  
Cost effectiveness of herbicide injection technology compared  
to the basic technology for 100 stacked m<sup>3</sup> of trees**

Вид работ	Оборудование	Норма выработки, скл. м <sup>3</sup>	Требуемое количество в смену		Затраты, р.
			человек	машин	
Спиливание деревьев	Кусторез, бензопила Stihl	38,7	2,58	2,58	21 400
Инъекция гербицидов	Дрель, инъектор	300,0	0,33	–	1000–1300

Оценка экономической эффективности технологии проводилась из расчета частичного устранения листовых пород по аналогии с базовой технологией. Базовая технология предусматривала 1 механический уход с применением кустореза Stihl с изъятием 100 скл. м<sup>3</sup> деревьев нежелательных листовых пород с 1 га насаждения.

Установлено, что применение инъекции гербицидов в стволы деревьев листовых пород обеспечивает снижение трудозатрат в 7,8 раза по сравнению с традиционными (базовыми) технологиями уходов. Общие затраты на устранение 100 скл. м<sup>3</sup> деревьев нежелательных листовых пород с 1 га насаждения с применением технологии инъекции гербицидов в зависимости от варианта в 16–21 раз ниже по сравнению с базовой технологией.

#### *Выводы*

1. Показана высокая биологическая и экономическая эффективность применения гербицидов Торнадо и Арбонала (а также их смесей) способом инъекции в стволы ольхи серой и осины при регулировании состава и густоты смешанных молодняков.

2. Торнадо в дозах 0,20–0,55 мл/дерево и смесь Торнадо и Арбонала (0,12–0,20 + 0,04–0,08 мл/дерево) значительно быстрее Арбонала в отдельности подавляют ольху и осину. Арбонал эффективно устраняет листовые породы через 1 год после обработки.

3. Ольху наиболее эффективно подавляют Арбонал в дозах 0,04–0,08 мл/дерево и смесь Торнадо 0,12 мл/дерево + Арбонал 0,04–0,08 мл/дерево. В этих вариантах полностью отмерли все обработанные деревья. Несколько более низкая результативность зафиксирована в вариантах с применением Торнадо в дозах 0,20–0,55 мл/дерево.

4. Осина оказалась наиболее чувствительной к Торнадо в дозе 0,55 мл/дерево, Арбоналу 0,08 мл/дерево и смесям Торнадо 0,12–0,20 мл/дерево + Арбонал 0,04–0,08 мл/дерево. Также хорошая эффективность отмечена для варианта Торнадо 0,2 мл/дерево.

5. Подтверждена возможность снижения доз гербицидов без ущерба для эффективности подавления листовых древесных пород. Оптимизация количества препарата позволяет сократить токсическое воздействие на экосистемы и повысить экономическую привлекательность метода внутривидовых инъекций в фазе жердняка. Если диаметр дерева не более 12 см, для его успешного подавления достаточно 1 насечки, при диаметре 12–15 см необходимо сделать 2 насечки. Единичные деревья большего диаметра целесообразно устранить путем добавления еще 1–2 дополнительных насечек.

6. Применение инъекции гербицидов на стадии жердняка дает возможностькратно сократить по сравнению с традиционными технологиями ухода расход как трудовых, так и финансовых ресурсов с одновременным повышением лесоводственной эффективности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бубнов А.А., Егоров А.Б., Павлюченкова Л.Н., Постников А.М. Экологическая оценка гербицидов, используемых при лесовыращивании // Тр. СПбНИИЛХ. 2022. № 4. С. 58–75.

Bubnov A.A., Egorov A.B., Pavluchenkova L.N., Postnikov A.M. Ecological Evaluation of Herbicide Application in Forest Cultivation. *Proceedings of the Saint Petersburg Research Institute of Forestry*, 2022, no. 4, pp. 58–75. (In Russ.).

<https://doi.org/10.21178/2079-6080.2022.4.58>

2. Бубнов А.А., Постников А.М., Егоров А.Б., Павлюченкова Л.Н., Партолина А.Н. Регулирование состава насаждений способом инъекции гербицидов в стволы деревьев нежелательных древесных пород: история и перспективы // Тр. СПбНИИЛХ. 2023. № 2. С. 4–17.

Bubnov A.A., Postnikov A.M., Egorov A.B., Pavluchenkova L.N., Partolina A.N. Regulation of the Composition of Plantations by the Method of Injection of Herbicides into Unwanted Tree Species: History and Perspectives. *Proceedings of the Saint Petersburg Research Institute of Forestry*, 2023, no. 2, pp. 4–17. (In Russ.).

<https://doi.org/10.21178/2079-6080.2023.2.4>

3. Долженко В.И., Петунова А.А., Маханькова Т.А. Биолого-токсикологические требования к совершенствованию ассортимента гербицидов на рубеже XXI века // Состояние и развитие гербологии на пороге XXI столетия: материалы второго Всерос. науч.-производств. совещ. Голицыно, 2000. С. 122–126.

Dolzenko V.I., Petunova A.A., Makhan'kova T.A. Biological and Toxicological Requirements for Improving the Range of Herbicides at the Turn of the 21st Century. *The State and Development of Herbology on the Threshold of the 21st Century: Materials of the 2nd All-Russian Scientific and Production Meeting*. Golitsino, 2000, pp. 122–126. (In Russ.).

4. Егоров А.Б. Восстановление хвойных лесов регулированием состава и строения фитоценозов химическим способом: современное состояние и перспективы развития // Современные проблемы и эффективность регулирования фитоценозов в лесном хозяйстве. Тр. СПбНИИЛХ, 1999. С. 9–23.

Egorov A.B. Restoration of Coniferous Forests by Chemical Regulation of the Composition and Structure of Phytocenoses: Current Status and Development Prospects. Current Issues and Effectiveness of Phytocenoses Regulation in Forestry. *Proceedings of the Saint Petersburg Research Institute of Forestry*, 1999, pp. 9–23. (In Russ.).

5. Ильин В.П., Подшиваев Е.Е. Реконструкция двухъярусного осиново-елового древостоя посредством химической подсушки осины // Актуал. проблемы лесн. комплекса. 2014. № 38. С. 82–85.

Ilyin V.P., Podshivaev E.E. Reconstruction of a Two-Tiered Aspen-Spruce Stand Using Chemical Drying of Aspen. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*, 2014, no. 38, pp. 82–85. (In Russ.).

6. Калиниченко Н.П., Писаренко А.И., Смирнов Н.А. Лесовосстановление на вырубках. М.: Экология, 1991. 384 с.

Kalinichenko N.P., Pisarenko A.I., Smirnov N.A. *Reforestation in Clearings*. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 384 p. (In Russ.).

7. Постников А.М., Егоров А.Б., Бубнов А.А., Павлюченкова Л.Н. Биологическая эффективность способа инъекции гербицидов и их смесей в стволы деревьев нежелательных пород // Изв. С.-Петербург. лесотехн. акад. 2024. № 248. С. 57–74.

Postnikov A.M., Egorov A.B., Bubnov A.A., Pavlyuchenkova L.N. Biological Efficiency of the Method of Injecting Herbicides and Their Mixtures into Tree Trunks of Unwanted Species. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2024, iss. 248, pp. 57–74. (In Russ.). <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2024.248.57-74>

8. Постников А.М., Егоров А.Б., Бубнов А.А., Павлюченкова Л.Н., Партолина А.Н. Ассортимент гербицидов для применения в лесном хозяйстве способом инъекции в стволы деревьев // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы VIII Всерос. науч.-техн. конф. СПб.: СПбГЛТУ, 2023. С. 335–337.

Postnikov A.M., Egorov A.B., Bubnov A.A., Pavlyuchenkova L.N., Partolina A.N. Range of Herbicides for Application in Forestry by Injection into Tree Trunks. Forests of Russia: Policy, Industry, Science, and Education. *Proceedings of the 8th All-Russian Scientific and Technical Conference, May 24–26, 2023*. Saint Petersburg, SPSFTU Publ., 2023, pp. 335–337. (In Russ.).

9. Редько Г.И., Бабич Н.А. Лесовосстановление на европейском севере России. Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1994. 188 с.

Redko G.I., Babich N.A. *Reforestation in the European North of Russia*. Arkhangelsk, North-West Book Publishing House, 1994. 188 p. (In Russ.).

10. Соколов А.И. Лесовосстановление на вырубках северо-запада России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 215 с.

Sokolov A.I. *Reforestation in Forest Cuttings of the North-West of Russia*. Petrozavodsk, KSC RAS Publ., 2006. 215 p. (In Russ.).

11. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. 2021 г.: приложение к журналу «Защита и карантин растений». № 4. М.: Колос, 2021. 815 с.

*List of Pesticides and Agrochemicals Permitted for Use in the Russian Federation*. 2021: Supplement to the Journal “Plant Protection and Quarantine”. No. 4. Moscow, Kolos Publ., 2021. 815 p. (In Russ.).

12. Трофимов Л.Н. Экономическая оценка химического ухода за молодняками в производственных условиях (на примере Ленинградской области) // Тр. СПбНИИЛХ. 2004. Вып. 1(11). С. 114–118.

Trofimov L.N. Economic Assessment of Young Growth Chemical Tending in Production Environment (Case Study of the Leningrad Region). *Proceedings of the Saint Petersburg Research Institute of Forestry*, 2004, no. 1(11), pp. 114–118. (In Russ.).

13. Федорчук В.Н., Нешатаев В.Ю., Кузнецова М.Л. Лесные экосистемы северо-западных районов России: типология, динамика, хозяйственные особенности. СПб.: СПбНИИЛХ, 2005. 382 с.

Fedorchuk V.N., Neshataev V.Yu., Kuznetsova M.L. *Forest Ecosystems of the Northwestern Regions of Russia: Typology, Dynamics, Economic Characteristics*. Saint Petersburg, SPbNIILH Publ., 2005. 382 p. (In Russ.).

14. Чижов Б.Е., Штоль В.А., Герасимова М.В., Глухарева М.В. Совершенствование химического метода подсушки нежелательных деревьев при уходе за лесом // Лесохоз. информ. 2015. № 1. С. 42–49.

Chizhov B.E., Shtol V.A., Gerasimova M.V., Glukhareva M.V. Improvement of Undesirable Tree Pre-Drying Chemical Procedure in Thinnings. *Forestry information*, 2015, no. 1, pp. 42–49. (In Russ.).

15. Archer L., Crane G.H., Albrecht U. Trunk Injection as a Tool to Deliver Plant Protection Materials – An Overview of Basic Principles and Practical Considerations. *Horticulturae*, 2022, vol. 8, iss. 6, art. 552.

<https://doi.org/10.3390/horticulturae8060552>

16. Badalamenti E., La Mantia T. Stem-Injection of Herbicide for Control of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle: A Practical Source of Power for Drilling Holes in Stems. *iForest*, 2013, vol. 6, pp. 123–126. <https://doi.org/10.3832/ifor0693-006>

17. DiTomaso J.M., Kyser G.B. Control of *Ailanthus altissima* Using Stem Herbicide Application Techniques. *Arboriculture & Urban Forestry*, 2007, vol. 33, no. 1, pp. 55–63. <https://doi.org/10.48044/jauf.2007.007>

18. Ford S. Cut and Inject Herbicide Control of Japanese Knotweed *Fallopia japonica* at Rocky Valley, Cornwall, England. *Conservation Evidence*, 2004, no. 1, pp. 1–2.

19. Kochenderfer J.D., Miller G.W., Kochenderfer J.N. *A Comparison of Two Stem Injection Treatments Applied to American Beech in Central West Virginia*. Research Paper NRS-21. Newtown Square, PA, USDA, Northern Research Station. 2012. 10 p. <https://doi.org/10.2737/NRS-RP-21>

20. Lewis K., McCarthy B. Nontarget Tree Mortality After Tree-of-Heaven (*Ailanthus altissima*) Injection with Imazapyr. *Northern Journal of Applied Forestry*, 2008, vol. 25, iss. 2, pp. 66–72. <https://doi.org/10.1093/njaf/25.2.66>

21. McKenzie J., Brazier D., Owen A., Vitelli J., Mayer B. Stem Injection: A Control Technique Often Overlooked for Exotic Woody Weeds. *Proceedings of 17th Australasian Weeds Conference “New Frontiers in New Zealand: Together We Can Beat the Weeds”, September 26-30, 2010*. Christchurch, New Zealand, Christchurch Convention Centre, 2010, pp. 459–461.

22. O’Brien C.J., Mellor V., Galea V.J. Controlling Woody Weed Chinese Elm (*Celtis sinensis* Pers.) with Stem-Implanted Herbicide Capsules. *Plants*, 2022, vol. 11, iss. 3, art. 444. <https://doi.org/10.3390/plants11030444>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest