

Леса России и хозяйство в них. 2023. № 3. С. 65–73.

Forests of Russia and economy in them. 2023. № 3. P. 65–73.

Научная статья

УДК 504.054*574.24*631.53.011

DOI: 10.51318/FRET.2023.3.86.007

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА СЕМЯН СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.), СФОРМИРОВАННЫХ В УСЛОВИЯХ АЭРОПРОМВЫБРОСОВ РАЗНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

Павел Евгеньевич Мохначев¹, Светлана Георгиевна Махнева², Антон Михайлович Потапенко³, Александр Александрович Бартыш⁴, Александр Алексеевич Клеткин⁵

^{1,2} ФГБУН Ботанический сад Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия

³ ГНУ Институт леса Национальной академии наук Беларуси, Гомель, Республика Беларусь

^{4,5} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Павел Евгеньевич Мохначев,

Mohnachev74@mail.ru

Аннотация. Приведены результаты исследования основных показателей качества семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в условиях воздействия аэротехногенного загрязнения трех крупных промышленных предприятий Среднего и Южного Урала, характеризующихся разными по типу и химическому составу выбросами. Выявлено снижение массы семян в импактных зонах магнезитового (ПАО «Комбинат Магнезит») и медеплавильного производств (ПАО «СУМЗ»). В условиях импактной зоны комбината «Магнезит» происходит существенное увеличение (в 1,8–2,9 раза) индивидуальной изменчивости показателя массы 1000 семян относительно фоновых условий, а также импактных зон СУМЗа и криолитового (ПКЗ) заводов. Возможными причинами могут являться снижение охвоенности и продолжительности жизни хвои, ухудшение санитарного состояния древостоя, а также воздействие аэрополлютантов на ростовые процессы в семяпочках. В настоящее время отмечено возрастание энергии прорастания и всхожести семян сосны обыкновенной, произрастающей в условиях влияния выбросов СУМЗа и ПКЗ, что связано со снижением текущего объема аэротехногенных выбросов указанных предприятий. В условиях аэротехногенных выбросов комбината «Магнезит» данные показатели находятся, как и ранее, на высоком уровне. Таким образом, в условиях влияния современного объема выбросов всех изученных промышленных предприятий энергия прорастания и всхожесть семян сосны обыкновенной находятся на уровне условий фона и видового уровня в целом.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, посевные качества семян, аэротехногенное загрязнение

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Ботанического сада Уральского отделения Российской академии наук.

Для цитирования: Основные показатели качества семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), сформированных в условиях аэропромвыбросов разного химического состава / П. Е. Мохначев, С. Г. Махнева, А. М. Потапенко, А. А. Бартыш, А. А. Клеткин // Леса России и хозяйство в них. 2023. № 3 (86). С. 65–73. DOI: 10.51318/FRET.2023.3.86.007.

Scientific article

THE MAIN INDICATORS OF THE QUALITY OF COMMON PINE SEEDS (*PINUS SYLVESTRIS* L.) FORMED UNDER CONDITIONS OF AEROTECHNOGENIC EMISSIONS OF DIFFERENT CHEMICAL COMPOSITION

Pavel E. Mokhnachev¹, Svetlana G. Makhneva², Anton M. Potapenko³, Alexander A. Bartysh⁴, Alexander A. Kletkin⁵

^{1,2} FGBUN Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

³ SE Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Republic of Belarus

^{4,5} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

Corresponding author: Pavel E. Mokhnachev,
mohnachev74@mail.ru

Abstract. The results of the study of the main indicators of the quality of the seeds of scots pine (*Pinus sylvestris* L.), growing under the influence of aerotechnogenic pollution of three large industrial enterprises of the Middle and Southern Urals, characterized by emissions of different types and chemical composition, are presented. A decrease in seed weight was revealed in the impact zones of the magnesite (PJSC “Magnezit Combine”) and copper smelting industries (PJSC “SUMZ”). In the conditions of the impact zone of the Magnezit combine, there is a significant increase (by 1,8–2,9 times) in the individual variability of the mass index of 1000 seeds relative to background conditions, as well as the impact zones of the SUMZ and cryolite (PCP) plants. Possible reasons may be a decrease in the number of needles and the life expectancy of needles, deterioration of the sanitary condition of the stand, as well as the effect of aeropollutants on the growth processes in the ovules. At present, there has been an increase in the germination energy and germination of the seeds of scots pine, growing under the influence of emissions of SUMZ and PCP, which is associated with a decrease in the current volume of aerotechnogenic emissions of these enterprises. In the conditions of aerotechnogenic emissions of the Magnezit combine, these indicators are at a high level as before. Thus, under the influence of the current volume of emissions of all studied industrial enterprises, the germination energy and germination of the seeds of scots pine is at the level of background conditions and the species level as a whole.

Keywords: scots pine, seed sowing qualities, aerotechnogenic pollution

Funding: the work was carried out within the framework of the state assignment of the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

For citation: The main indicators of the quality of common pine seeds (*Pinus sylvestris* L.) Formed under conditions of aerotechnogenic emissions of different chemical composition / P. E. Mokhnachev, S. G. Makhneva, A. M. Potapenko, A. A. Bartysh, A. A. Kletkin // Forests of Russia and economy in them. 2023. № 3 (86). P. 65–73. DOI: 10.51318/FRET.2023.3.86.007.

Введение

Семя – особая многоклеточная структура сложного строения, служащая для размножения и расселения семенных растений. В лесоводстве семенное возобновление является более перспективным по сравнению с вегетативным. Согласно биологическим особенностям многих видов древесных растений, в том числе большинства хвойных, только

семена являются исходным материалом для возобновления. Важным условием возобновления природных лесных сообществ является качество семян, которое во многом определяется условиями произрастания материнских деревьев (Козубов, 1974). Леса Урала длительное время подвержены интенсивному действию промышленно-транспортных эмиссий, которые приняли характер постоянно

действующего экологического фактора. Аэротехногенное загрязнение способно существенно воздействовать на процессы формирования семян и их качество (Шкарлет, 1974; Аникеев и др., 2000; Носкова, Третьякова, 2006; Ангальт, Жамурина, 2014; Бажина, Скрипальщикова, 2014; Вахнина, Макаров, 2014 и др.), что во многом может определять успешность возобновления лесных территорий.

Цель, методика и объект исследования

Цель работы – проанализировать качество семян сосны обыкновенной, сформированных в условиях воздействия промышленных выбросов разного химического состава.

Исследования проведены в ценопопуляциях сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающих в условиях влияния выбросов крупных промышленных предприятий Урала: комбината «Магнезит», Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ), Полевского криолитового завода (ПКЗ). В районе каждого источника аэротехногенных выбросов заложены опытные участки (ОУ) и постоянные пробные площади (ППП), на которых научные сотрудники лаборатории экологии техногенных растительных сообществ Ботанического сада УрО РАН ведут многолетние исследования состояния растительного покрова, вегетативной и репродуктивной систем сосны, содержания токсичных элементов в снеге, почве и лесной подстилке (Махнева, 2017; Mohnachev P. et al., 2018; Zavyalov et al., 2018; Makhniova et al., 2019).

Комбинат «Магнезит» основан в 1901 г., расположен в районе города Сатка (Южный Урал). Основу его аэротехногенных выбросов составляет магнезитовая пыль, которая представлена $MgO(K,NaO)2SO_4$ (твердый раствор), $Na_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2MgSO_4$, MgF_2 , Mg_2SO_4 , Mg_2CO_3 . Пыль имеет сильнощелочную реакцию – $pH > 10$. Исследования были проведены в импактной (ОУ-2) и буферной зонах (ОУ-5 – средний уровень загрязнения, ОУ-4 – слабый уровень загрязнения) и в фоновых условиях (ОУ-К). На момент исследования возраст древостоев составил 35 лет.

СУМЗ действует с 1940 г., расположен вблизи города Ревда (Средний Урал). Основу его

газообразных выбросов составляет двуокись серы (SO_2), в составе твердых выбросов доминируют тяжелые металлы (Cu, Zn, Pb, Hg и др.). Исследования были проведены в импактной зоне (ППП 5) и в фоновых условиях (ППП 7). Возраст древостоев на момент исследования составил 55 лет.

ПКЗ действует с 1907 г. (закрыт в 2018 г.), расположен около города Полевской (Средний Урал). В составе выбросов преобладают соединения фтора, двуокись серы и диоксид азота. Исследования проведены в импактной зоне (ППП 1) и в фоновых условиях (ППП К). На момент исследования возраст древостоя составил 55 лет.

Отбор шишек сосны обыкновенной для исследований проводили весной (март) после прохождения семенами естественной стратификации. Образцы шишек собирали в верхней и средней части кроны модельных деревьев. Каждый участок включает не менее 25–30 модельных деревьев, с каждого из которых отбирали не менее 40 шишек. В лабораторных условиях шишки высушивали, механическим способом разбирали на чешуи, извлекали все семена индивидуально для каждого модельного дерева. Посевные качества семян (абсолютная всхожесть и энергия прорастания) определяли в трехкратной повторности методом проращивания в чашках Петри на влажной фильтровальной бумаге (ГОСТ 13056.6–97, 1998) с использованием климатической камеры Sanyo MLR-351H. Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием пакета программ Statistica.

Результаты исследований

Согласно литературным данным, у сосны обыкновенной, произрастающей в условиях аэротехногенного загрязнения, возможно как снижение (Шкарлет, 1974), так и увеличение массы семян (Аникеев и др., 2000; Носкова, Третьякова, 2006; Махнева, Менщиков, 2012; Бажина, Скрипальщикова, 2014), а также отсутствие различий с фоновыми условиями (Казанцева, 2005; Махнева, Менщиков, 2012). Таким образом, направление изменения показателя массы 1000 семян и его степень определяются уровнем отклонения условий от оптимальных для вида.

В результате наших исследований выявлено, что в древостоях сосны, произрастающих в импактных зонах комбината «Магнезит» и СУМЗа, формируются семена достоверно меньшей массы (при $p < 0,05$) относительно фонового уровня. В условиях зоны сильного загрязнения ПКЗ, напротив, масса 1000 семян незначительно увеличивается относительно фонового уровня (таблица).

Снижение массы семян в импактных зонах комбината «Магнезит» и СУМЗа было отмечено нами ранее (Мохначев и др., 2013; Махнева, Меншиков, 2012). Мы предполагаем, что возможными причинами данного явления могут быть снижение продолжительности жизни хвои и охвоенности, ухудшение санитарного состояния древостоя, наблюдаемые нами в зонах загрязнения указанных объектов (Меншиков, Ившин, 2006; Мохначев и др., 2015), а также замедление ростовых процес-

сов в семяпочках (Шкарлет, 1974), обусловленные воздействием аэрополлютантов.

В импактной зоне ПКЗ увеличение массы семян, вероятно, связано со значительным (>47 % по сравнению с фоновыми условиями) снижением выхода семян из шишек за счет генетических повреждений (Аникеев и др., 2000).

Известно, что масса семян сосны является стабильным популяционным признаком, отражающим наследственный, эволюционно-приспособительный характер вида, и в многолетнем цикле ее индивидуальная (внутрипопуляционная) изменчивость имеет низкий уровень (Мамаев, 1973; Макаров, Милютин, 2015). В условиях импактной зоны комбината «Магнезит» происходит существенное увеличение (в 1,8–2,9 раза) индивидуальной изменчивости показателя массы 1000 семян относительно фоновых условий, а также импактных зон

Характеристика посевных качеств семян сосны обыкновенной
Characteristics of sowing qualities of common pine seeds

ОУ (ППП) / расстояние до источника выбросов, км PS (PTA) / distance to the source of emissions, km	Показатели (в числителе – $X \pm m$, в знаменателе – Cv , %) Indicators (in the numerator – $X \pm m$, in the denominator – Cv , %)		
	Масса 1000 семян, г Weight of 1000 seeds, g	Энергия прорастания, % Germination energy, %	Всхожесть, % Germination, %
Комбинат «Магнезит» Magnezit Plant			
ОУ-2/1	$\frac{5,04 \pm 0,32}{27,98}$	$\frac{90,95 \pm 1,55}{7,44}$	$\frac{93,92 \pm 1,4}{6,50}$
ОУ-5/3	$\frac{6,88 \pm 0,24^*}{15,29}$	$\frac{92,93 \pm 1,71}{8,03}$	$\frac{94,52 \pm 1,11}{5,10}$
ОУ-4/10	$\frac{7,23 \pm 0,31^*}{9,74}$	$\frac{91,13 \pm 2,44}{5,98}$	$\frac{95,20 \pm 3,08}{7,23}$
ОУ-К/20	$\frac{6,31 \pm 0,20^*}{13,99}$	$\frac{85,50 \pm 2,68}{14,04}$	$\frac{90,67 \pm 1,67}{8,23}$
Среднеуральский медеплавильный завод Sredneuralsky Copper Smelter			
ППП-5/3,5	$\frac{5,43 \pm 0,18}{9,63}$	$\frac{66,88 \pm 9,15}{38,68}$	$\frac{81,53 \pm 8,88}{31,89}$
ППП-7/20	$\frac{6,52 \pm 0,35^*}{15,18}$	$\frac{67,19 \pm 5,10}{21,46}$	$\frac{88,75 \pm 2,92}{9,64}$
Полевской криолитовый завод Polevskoy Cryolite Plant			
ППП-1/2	$\frac{6,43 \pm 0,29}{13,18}$	$\frac{76,88 \pm 8,08}{29,74}$	$\frac{95,00 \pm 2,17}{6,45}$
ППП-К/40	$\frac{5,73 \pm 0,25}{12,13}$	$\frac{70,31 \pm 8,13}{32,72}$	$\frac{95,31 \pm 2,29}{6,79}$

* Различия с импактной зоной достоверны при $p < 0,05$.
* Differences with the impact zone are significant at $p < 0.05$.

СУМЗа и ПКЗ (см. таблицу). Возрастание коэффициента вариации показателя массы семян в импактной зоне комбината «Магнезит» обусловлено расширением диапазона индивидуальной изменчивости за счет участия в семеношении деревьев, формирующих семена как с экстремально низкими значениями массы 1000 шт. семян – менее 4,5 г (минимальное – 2,38 г, их доля составляет 42 %), так и с высокими значениями показателя – более 7,0 г (их доля составляет 16 %).

Семена сосны, сформированные в условиях воздействия аэротехногенных выбросов на всех изученных объектах, имеют высокие значения энергии прорастания и всхожести, сопоставимые с таковыми семян из фоновых условий и видовым уровнем в целом (см. таблицу). Следует отметить, что энергия прорастания и всхожесть семян сосны, сформированных ранее в разные годы в условиях магнетитового загрязнения, также были высокими (Менщиков, 1985; Мохначев и др., 2013). Для древостоев, произрастающих в условиях загрязнения выбросами СУМЗа и ПКЗ, такая закономерность нехарактерна. Так, ранее для семян, сформировавшихся в условиях сильного загрязнения СУМЗ, отмечено снижение всхожести при оптимальной температуре проращивания на 10–18 % по сравнению с таковой на контроле, а при температуре 30 °С – на 30–50 % (Шкарлет, 1974). Для семян из зоны сильного загрязнения ПКЗ указана всхожесть 32,50 %, а для семян из фоновых условий – 86,86 % (Аникеев и др., 2000). Выявленное нами возрастание основных показателей качества семян сосны в импактных зонах СУМЗ и ПКЗ до уровня значений семян из фоновых условий мы связываем с элиминацией неустойчивых генотипов, а также

со снижением выбросов указанных предприятий в настоящее время (Государственный доклад..., 2016, 2021).

Следует тем не менее отметить существенно более высокие (в 3,3–6,3 раза) значения коэффициента вариации показателя всхожести семян сосны из зоны действия аэрополлютантов СУМЗ по сравнению с таковыми других древостоев, которые обусловлены наличием деревьев, формирующих семена с низкими значениями всхожести (37,5–44,7 %). Мы рассматриваем данный факт как результат действия текущего аэротехногенного загрязнения, а также накопленного в компонентах экосистем в предыдущие десятилетия.

Выводы

1. В условиях сильного уровня воздействия выбросов магнетитового и медеплавильного производств снижается масса семян сосны обыкновенной.
2. В современных условиях снижения объема выбросов СУМЗа и отсутствия выбросов ПКЗ увеличились энергия прорастания и всхожесть семян сосны.
3. Показатели энергии прорастания и всхожести семян сосны слабо подвержены влиянию магнетитового типа загрязнения и в многолетнем цикле остаются высокими вне зависимости от уровня загрязнения.
4. В настоящее время основные показатели качества семян (энергия прорастания и всхожесть) сосны обыкновенной, произрастающей в условиях техногенного воздействия комбината «Магнезит», СУМЗа и ПКЗ, имеют высокие значения и сопоставимы с видовым уровнем.

Список источников

- Ангальт Е. М., Жамурина Н. А. Биологический анализ хвои, шишек и семян сосны обыкновенной в условиях городской среды // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 3. С. 156–158.
- Аникеев Д. Р., Бабушкина Л. Г., Зуева Г. В. Состояние репродуктивной системы сосны обыкновенной при аэротехногенном загрязнении. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. акад., 2000. 81 с.
- Бажина Е. В., Скрипальщикова Л. Н. Особенности семенной продуктивности сосны обыкновенной в нарушенных лесных экосистемах Красноярской лесостепи // Лесные биогеоценозы Бореальной зоны: география, структура, функции, динамика : матер. Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ.

- 70-летию создания Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2014. С. 309–310.
- Вахнина И. Л., Макаров В. П.* Морфобиологическая характеристика генеративных органов сосны в природно-техногенных условиях (Восточное Забайкалье) // Вестник Московского государственного университета леса. – Лесной вестник. 2014. № 5. С. 20–25.
- ГОСТ 13056.6–97. Семена деревьев и кустарников. Методы определения всхожести. Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1998. 27 с.
- Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2015. Екатеринбург, 2016. 312 с.
- Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2020. Екатеринбург, 2021. 365 с.
- Казанцева М. Н.* Особенности репродукции сосны обыкновенной в насаждениях города Тюмени и его зеленой зоне // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2005. № 5. С. 76–79.
- Козубов Г. М.* Биология плодоношения хвойных на Севере. Л. : Наука, 1974. 136 с.
- Макаров В. П., Милютин Л. И.* Многолетняя динамика посевных качеств сосны обыкновенной в сухостепной зоне Забайкальского края // Успехи современного естествознания. 2015. № 4. С. 129–133.
- Мамаев С. А.* Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М. : Наука, 1973. 284 с.
- Махнева С. Г.* Показатели пыльцы сосны обыкновенной в биомониторинге техногенного загрязнения среды (на примере двух промышленных центров Урала) // Биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функционирования : сб. ст. V Всерос. науч.-практ. конф. 2017. С. 230–237.
- Махнева С. Г., Менищиков С. Л.* Качество семян и семенного потомства сосны обыкновенной из зон техногенного загрязнения среды // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. Т. 5. № 37-1. С. 236–240.
- Менищиков С. Л.* Исследование экологических особенностей роста и обоснование агротехники создания культур хвойных пород в условиях магнетитовых запылений : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.03.01 / Менищиков Сергей Леонидович. Свердловск, 1985. 210 с.
- Менищиков С. Л., Ившин А. П.* Закономерности трансформации предтундровых и таежных лесов в условиях аэротехногенного загрязнения. Екатеринбург : УрО РАН, 2006. 295 с.
- Менищиков С. Л., Кузьмина Н. А., Мохначев П. Е.* Воздействие атмосферных выбросов магнетитового производства на почвы и снеговой покров // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 5 (37). С. 221–223.
- Менищиков С. Л., Кузьмина Н. А., Мохначев П. Е.* Аккумуляция металлов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), в почве и снеговой воде в условиях техногенного загрязнения // Лесной вестник. 2020. Т. 24. № 3. С. 94–102.
- Мохначев П. Е., Махнева С. Г., Менищиков С. Л.* Особенности репродукции сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) в условиях загрязнения магнетитовой пылью // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 3 (41). С. 8–9.
- Мохначев П. Е., Потапенко А. М., Корчагин И. Е.* Сосна обыкновенная как биоиндикатор аэротехногенного загрязнения среды // Физиологические, психофизиологические, педагогические и экологические проблемы здоровья и здорового образа жизни : сб. ст. VIII Всерос. науч.-практ. конф. студ., молодых ученых и специалистов 27 апреля 2015 г., г. Екатеринбург / под общ. ред. С. Г. Махневой, Е. А. Юговой. Екатеринбург, 2015. С. 126–131.
- Носкова Н. Е., Третьякова И. Н.* Влияние стресса на репродуктивные способности сосны обыкновенной // Хвойные бореальной зоны. 2006. № 3. С. 54–63.

- Шкарлет О. Д.* Влияние дымовых газов на формирование репродуктивных органов сосны обыкновенной (на примере одного из медеплавильных предприятий на Урале) : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Шкарлет О. Д. Свердловск : ИЭРиЖ УНЦ АН СССР, 1974. 27 с.
- Makhneva S. G., Mokhnachev P. E., Ayan S.* Germination of seeds and growth of seedlings of scots pine on technogenically polluted soils as a container medium // *Monitoring and assessment of the environment*. 2019. Vol. 191. № 2. P. 113.
- Mokhnachev P. E., Menshikov S. L., Makhneva S. G., Zavyalov K. E., Kuzmina N. A., Potapenko A. M., Ayan S., Laaribya S.* Regeneration of scots pine under conditions of magnesite pollution in the Southern Urals, Russia // *Forestry of South-Eastern Europe*. 2018. № 9. № 1. P. 55–60.
- Zavyalov K. E., Menshikov S. L., Mokhnachev P. E., Kuzmina N. A., Potapenko A. M., Ayan S.* Reaction of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Sukachev larch (*Larix sukaczewii* Dylis) and silver birch (*Betula pendularoth*) to magnesite dust in the Satka industrial hub // *Ideas of Forestry*. 2018. Vol. 1. 24, № 1 (55). P. 23–36.

References

- Anhalt E. M., Zhamurina N. A.* Biological analysis of needles, cones and seeds of scots pine in urban environment // *Izvestiya Oren-burg State Agrarian University*. 2014. № 3. P. 156–158. (In Russ.)
- Anikeev D. R., Babushkina L. G., Zueva G. V.* The state of the reproductive system of scots pine under aerotechnogenic pollution. Esa-Edinburgh : Ural. state Forestry akad., 2000. 81 p.
- Bazhina E. V., Skripalshchikova L. N.* Features of seed production of scots pine in disturbed forest ecosystems of the Krasno-Yarskaya forest-steppe // *Materials of the All-Russian scientific conference with international participation dedicated to the 70th anniversary of the creation of the V. N. Sukachev Institute of Forest SBRAS: "Forest biogeocenoses of the Boreal zone: geography, structure, functions, dynamics"*, Krasnoyarsk, 2014. Novosibirsk : Publishing House of SB RAS, 2014. P. 309–310. (In Russ.)
- GOST 13056.6–97. Seeds of trees and shrubs. Methods of determining germination. Minsk : Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification, 1998. 27 p. (In Russ.)
- Kazantseva M. N.* Features of reproduction of scots pine in the plantings of the city of Tyumen and its green zone // *Bulletin of Ecology, Forestry and Landscape Studies*, 2005. № 5. P. 76–79. (In Russ.)
- Kozubov G. M.* Biology of coniferous fruiting in the North. L. : Science, 1974. 136 p.
- Makarov V. P., Milyutin L. I.* Long-term dynamics of sowing qualities of scots pine in the dry-steppe zone of the Trans-Baikal Territory // *Us-pehi of modern natural science*. 2015. № 4. P. 129–133. (In Russ.)
- Makhneva S. G.* Indicators of pine pollen in the biomonitoring of technogenic environmental pollution (on the example of two industrial centers of the Urals) in the collection: biological systems: stability, principles and mechanisms of functioning. collection of articles of the v All-Russian scientific and practical conference. 2017. P. 230–237. (In Russ.)
- Makhneva S. G., Menshchikov S. L.* The quality of seeds and seed progeny of scots pine from the zones of technogenic pollution of the environment // *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2012. Vol. 5. № 37-1. P. 236–240. (In Russ.)
- Makhneva S. G., Mokhnachev P. E., Ayan S.* Germination of seeds and growth of seedlings of scots pine on technogenically polluted soils as a container medium // *Monitoring and assessment of the environment*. 2019. Vol. 191. № 2. P. 113.
- Mamaev S. A.* Forms of intraspecific variability of woody plants. Moscow : Nauka, 1973. 284 p.
- Menshchikov S. L.* Study of ecological features of growth and justification of agrotechnics for the creation of coniferous crops in the conditions of magnesite dustings : dissertation ... Candidate of Agricultural Sciences: 06.03.01 / Menshchikov Sergey Leonidovich. Sverdlovsk, 1985. 210 p.

- Menshchikov S. L., Ivshin A. P.* Regularities of transformation of pre-tundra and taiga forests in conditions of aerotechnogenic pollution. Yekaterinburg : Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2006. 295 p.
- Menshchikov S. L., Kuzmina N. A., Mokhnachev P. E.* Accumulation of metals in pine needles (*Pinus sylvestris* L.), in soil and snow water under conditions of technogenic pollution // *Lesnoy vestnik. Forestry bulletin*. 2020. Vol. 24. № 3. P. 94–102. (In Russ.)
- Menshchikov S. L., Kuzmina N. A., Mokhnachev P. E.* The impact of atmospheric emissions of magnesite production on soils and snow cover // *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*. 2012. № 5 (37). P. 221–223. (In Russ.)
- Mokhnachev P. E., Makhneva S. G., Menshchikov S. L.* Features of the reproduction of scots pine (*Pinus silvestris* L.) in the conditions of contamination with magnesite dust // *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*. № 3 (41). 2013. P. 8–9. (In Russ.)
- Mokhnachev P. E., Potapenko A. M., Korchagin I. E.* Common pine as a bioindicator of aerotechnogenic environmental pollution // *Physiological, psychophysiological, pedagogical and environmental problems of health and healthy lifestyle: Collection of articles of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, Young scientists and specialists April 27, 2015, Yekaterinburg / FGAOU VPO “Russian State Prof.-ped. un-t”*; under the general editorship of S. G. Makhneva, E. A. Yugova. Yekaterinburg, 2015. P. 126–131. (In Russ.)
- Mokhnachev P. E., Menshchikov S. L., Makhneva S. G., Zavyalov K. E., Kuzmina N. A., Potapenko A. M., Ayan S., Laaribya S.* Regeneration of scots pine under conditions of magnesite pollution in the Southern Urals, Russia // *Forestry of South-Eastern Europe*. 2018. № 9. № 1. P. 55–60.
- Noskova N. E., Tretyakova I. N.* The influence of stress on the reproductive abilities of scots pine // *Coniferous boreal zone*. 2006. № 3. P. 54–63. (In Russ.)
- Shkarlet O. D.* The influence of flue gases on the formation of the reproductive organs of scots pine (on the example of one of the copper smelting enterprises in the Urals) : abstract. dis. ... cand. biol. sciences / Shkarlet O. D. Sverdlovsk : IERIZH UNC of the USSR Academy of Sciences, 1974. 27 p.
- State report on the state and environmental protection of the Sverdlovsk region in 2015. Yekaterinburg, 2016. 312 p. (In Russ.)
- State report on the state and environmental protection of the Sverdlovsk region in 2020. Yekaterinburg, 2021. 365 p. (In Russ.)
- Vakhnina I. L., Makarov V. P.* Morphobiological characteristics of pine generative organs in natural and man-made conditions (Eastern Transbaikalia) // *Bulletin of the Moscow State University of the Forest – Forest Bulletin*. 2014. № 5. P. 20–25. (In Russ.)

Информация об авторах

- П. Е. Мохначев* – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, mokhnachev74@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2651-9196>;
- С. Г. Махнева* – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, makhniovasg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0068-3695>;
- А. М. Потапенко* – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, anto_ha86@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2763-6610>;
- А. А. Бартыши* – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, bartyshaa@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2971-1389>;
- А. А. Клеткин* – студент 2 курса магистратуры, alek.kletkin@yandex.ru.

Information about the authors

*P. E. Mokhnachev – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher,
mokhnachev74@mail.ru , <https://orcid.org/0000-0003-2651-9196>;*

*S. G. Makhneva – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher,
makhniovasg@mail.ru , <https://orcid.org/0000-0002-0068-3695>;*

*A. M. Potapenko – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher,
anto_ha86@mail.ru , <https://orcid.org/0000-0002-2763-6610>;*

*A. A. Bartysh – Candidate of Agricultural Sciences sciences, associate professor,
bartyshaa@m.usfeu.ru , <http://orcid.org/0000-0002-2971-1389>;*

*A. A. Kletkin – 2nd year master's student,
alek.kletkin@yandex.ru.*

Статья поступила в редакцию 03.04.2022; принята к публикации 20.05.2022.

The article was submitted 03.04.2022; accepted for publication 20.05.2022.
