

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.1/11>

УДК 630.181



Влияние хронического радиоактивного загрязнения в условиях Южного Нечерноземья на семенную продуктивность *Pinus sylvestris* L.

Анна В. Скок¹ ✉, s.anna.v@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0003-1128-8102>

Андрей А. Скок¹, andreyskok5@mail.ru,  <https://orcid.org/0009-0008-9035-107X>

Владимир Н. Сорокопудов², sorokopud2301@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-0133-6919>

¹ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», проспект Станке Димитрова, 3, г. Брянск, 241037, Российская Федерация

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений», ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация

В условиях ионизирующего облучения растений воздействие на лесовосстановление проявляется по семенной продуктивности. Важна масса и всхожесть семян. Пробные площади располагаются на территории Южного Нечерноземья России в массивах Красногорского участкового лесничества Брянской области и Учебно-опытного лесхоза ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет». Исследования проводили на 6 пробных площадях, одна из которых являлась контролем. На каждой пробной площади произрастают по 20 модельных деревьев. В период 2021 и 2022 года проведено исследование. Измерения мощности экспозиционной дозы (МЭД) проводили дозиметром ДРГ - 01Т на высоте 1 м от поверхности земли и на почве. Проращивание семян проводили на растильном аппарате. Вычислялись основные статистические показатели: средняя арифметическая величина с ошибкой, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации, точность опыта. Хроническое радиационное излучение вызывает увеличение длины, ширины, массы шишек сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). С увеличением уровня ионизирующего облучения снижается масса семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.). Среди непроросших семян преобладают нежизнеспособные, имеющие эндосперм и зародыш. Закономерно возрастает общее количество пустых и беззародышевых семян с увеличением уровня ионизирующего излучения. Прямая зависимость количества проростков с аномалиями развития от уровня ионизирующего излучения не зафиксирована. Мутационные процессы связаны с изменением генетического материала. Семена сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) из насаждений с хроническим ионизирующим излучением имеют высокую всхожесть (более 65%), семена кондиционные.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, *Pinus sylvestris* L., ионизирующее излучение, семена, шишки.

Финансирование: данное исследование не получало внешнего финансирования.

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Скок А.В. Влияние хронического радиоактивного загрязнения в условиях Южного Нечерноземья на семенную продуктивность *Pinus sylvestris* L. / А.В. Скок, А.А. Скок, В.Н. Сорокопудов // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15. – № 1 (57). – С. 167-187. – Библиогр.: с. 183-186 (21 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.1/11>.

Поступила 08.12.2024. Пересмотрена 11.02.2025. Принята 05.03.2025. Опубликована онлайн 24.03.2025.

Article

Influence of chronic radioactive pollution in the conditions of the Southern Non-black earth region on the *Pinus sylvestris* L. seed productivity

Anna V. Skok¹ ✉, s.anna.v@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0003-1128-8102>

Andrey A. Skok¹, andreyskok5@mail.ru,  <https://orcid.org/0009-0008-9035-107X>

Vladimir N. Sorokopudov², sorokopud2301@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-0133-6919>

¹FGBOU VO "Bryansk State University of Engineering and Technology", 3 Stanke Dimitrov Avenue, Bryansk, 241037, Russian Federation

²FGBNU "All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants", 7 Grina str., Moscow, 117216, Russian Federation

Abstract

In conditions of radioactive contamination, one of the criteria for the state of the female reproductive sphere of woody plants is their ability to form seeds, the biological qualities of which are assessed by germination and weight. The research was carried out on the territory of the Southern Non-Black Earth Region of Russia in the plantings of the Krasnogorsk district forestry of the Bryansk region and the Educational and Experimental Forestry Enterprise of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "BGITU". The exposure dose rate was measured at a height of 1 m from the ground surface and on the soil with a DRG - 01T dose meter with an accuracy of 1.0 $\mu\text{R/h}$, annually at constant reference points (at least 5 on each sample area) in a five-fold repetition. Seed germination was carried out on a growing apparatus. When processing experimental data, the main statistical indicators for each variation series were calculated: the arithmetic mean with error, the mean square deviation, the coefficient of variation, and the accuracy of the experiment. Chronic ionizing radiation causes an increase in the length, width, and weight of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) cones. As the level of ionizing radiation increases, the seed weight of Scots pine (*P. sylvestris* L.) decreases. The germination rate of Scots pine (*P. sylvestris* L.) seeds from plantations with chronic ionizing radiation is quite high (more than 65%). Among ungerminated seeds, nonviable seeds with endosperm and embryo predominate. With an increase in the level of ionizing radiation, the total number of empty and embryoless seeds naturally increases.

Keywords: *Pinus sylvestris* L., ionizing radiation, seeds, cones.

Funding: this research received no external funding.

Acknowledgments: authors thanks the reviewers for their contribution to the peer review.

Conflict of interest: the authors declares no conflict of interest.

For citation: Skok A.V., Skok A.A., Sorokopudov V.N. (2025). Influence of chronic radioactive pollution in the conditions of the Southern Non-black earth region on the *Pinus sylvestris* L. seed productivity. Forestry Engineering journal, Vol. 15, No. 1 (57), pp. 167-187 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.1/11>.

Received 08.12.2024. **Revised** 11.02.2025. **Accepted** 05.03.2025. **Published online** 24.03.2025.

Введение

С увеличением мощности экспозиционной дозы (МЭД) наблюдается накопительный эффект хронического облучения и эффект снижения всхожести семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.). Сосна обыкновенная (*P. sylvestris* L.) – основной лесобразующий вид растений. Семеношение сосны имеет существенное значение для лесовозобновления. Семена облученных растений требуют исследования на предмет отсутствия мутационных процессов.

А.П. Дегтярова (2022) [3], С.Н. Тарханов и др. (2021) [16] отмечают, что условия региона исследования влияют на генеративную сферу сосны обыкновенной, что проявляется в показателях семенной продуктивности.

С.В. Битаршвили и др. (2022) [1] считает, что реакция на хроническое облучение сосны обыкновенной могут быть связаны как с присутствующими им видовыми различиями, так и с тем, что у молодых деревьев гормональные процессы протекают гораздо более активно, чем у более старших деревьев.

В.Т. Ярмишко и О. В. Игнатъева (2021) [19], Т.П. Новикова и др. (2022) [12] отмечают, что аэротехногенное загрязнение с примесью тяжелых металлов является основной причиной повреждения, ослабления и разрушения сосновых лесов. Под воздействием поллютантов заметно ухудшается виталитетная структура средневозрастных сосняков.

А.И. Смирнов и др. (2020) [15] утверждает о том, что при обработке семян низкочастотным электромагнитным полем, всхожесть возрастает. Электромагнитное поле стимулирует прорастание семян.

В.Н. Дрожжина (2023) [5], Besschetnova N.N. и др. (2023) [22] утверждает, что в условиях

загрязнения окружающей среды выбросами техногенного происхождения различного генеза наблюдается изменение параметров генеративных органов у *Pinus sylvestris* L. Эти изменения зависят от уровня загрязнения и могут быть использованы в качестве диагностических признаков для мониторинга состояния территорий, подверженных воздействию поллютантов.

А.П. Сердюкова (2020) [14] отмечает, что антропогенный фактор влияет на степень деградации участка, что приводит к увеличению количества пустых семян в шишках сосны обыкновенной.

Е.Н. Наквасина и др. (2023) [11], Yelkenova B.Z. и др. (2020) [21] считают, что сосна обыкновенная является биоиндикатором экологической обстановки и реагирует на изменение климатических показателей. Факторы абиотические вызывают изменения размеров шишек сосны обыкновенной и количества семян. У растений изменяются морфологические параметры и репродуктивные показатели в ответ на факторы климата.

Н. Ф. Кузнецова (2023) [9] отмечает, что при неустойчивом воздействии абиотических факторов уровень полнозернистости популяций и число семян сосны обыкновенной снижается соответственно, уровень смертности семян повышается.

Г.А. Кистерный (2022) [6] считает, что морфологические признаки шишек сосны обыкновенной в меньшей степени реагируют на изменения внешних факторов воздействия. Количество полнозернистых семян в большей степени зависит от воздействия абиотических факторов. У сосны обыкновенной генеративные органы более чувствительны к изменяющимся условиям произрастания. При заражении сосны обыкновенной грибными заболеваниями уменьшаются размеры шишек.

Н.Ф.Кузнецова и Е.С.Клушевская (2020) [7], А.В. Чупров и др. (2021) [18], А.П. Сердюкова (2019) [13] утверждают, что растения могут адаптироваться к техногенному воздействию. В процессе адаптации к стрессу растения снижают объем семеношения и качества семян.

А.П. Дегтярова (2021) [2], (2023) [4] установила, что здоровые растения, имеющие высокий балл общего жизненного состояния, имеют большее число семян в шишках и высокий процент полнозерности.

Н. Ф. Кузнецова (2022) [8], М.И. Михайлова и др. (2023) [10] отмечают, что зависимость генеративной сферы сосны обыкновенной от абиотических факторов приводит к формированию разных генотипов. Для растений характерна высокая внутривидовая изменчивость деревьев по числу семян в шишках.

Объект и предмет исследований

Объекты постоянной лесосеменной базы сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.), как главной лесообразующей породы региона, до настоящего времени подвергаются хроническому воздействию ионизирующих излучений. Женская репродуктивная сфера хвойных видов растений испытывает влияние радиационного фона и это влияет на урожайность шишек и семян.

На территории Южного Нечерноземья России располагаются пробные площади (ПП).

В регионе умеренно-континентальный климат.

Каждая пробная площадь отличается степенью ионизирующего облучения.

В зоне отчуждения (плотность загрязнения почвы свыше 80 Ки/км²) Красногорского участкового лесничества Брянской области, кв.4, МЭД=629,1 мкР/ч) находится ПП№1. Состав насаждения - 10С+Е,Б, тип леса сосняк – бруснично-черничный, тип условий произрастания - А₂ - В₂, возраст - 64 года. ПП№2 располагается в зоне отчуждения (плотность загрязнения почвы – 40 - 80 Ки/км²) Красногорского участкового лесничества Брянской области, кв.21, МЭД=224,4 мкР/ч. Состав насаждения - 10С, тип леса сосняк – бруснично-черничный, тип условий произрастания - А₂ - В₂, возраст – 68 лет. ПП №3 располагается в зоне

проживания с правом на отселение (плотность загрязнения почвы - 5,1 - 15 Ки/км²) Красногорского участкового лесничества Брянской области, кв.16, МЭД=195,5 мкР/ч. Состав насаждения - 10С+Б, тип леса - сосняк - бруснично-черничный, тип условий произрастания - А₂ - В₂, возраст - 68 лет. ПП №4 располагается в зоне проживания с правом на отселение (плотность загрязнения почвы - 5,1 - 15 Ки/км²) Красногорского участкового лесничества Брянской области, кв.16, МЭД=151,3 мкР/ч. Состав насаждения - 10С+Б, тип леса - сосняк - бруснично-черничный, тип условий произрастания - А₂ - В₂, возраст - 68 лет. ПП №5 располагается в Красногорском участковом лесничестве Брянской области, кв.14, МЭД=35,3 мкР/ч. Состав насаждения - 10С+Б, тип леса - сосняк - бруснично-черничный, тип условий произрастания - А₂ - В₂, возраст - 61 год. ПП№6 находится в относительно чистой зоне (плотность загрязнения менее 1 Ки/км²) в Учебно-опытном лесхозе ФГБОУ ВО «БГИТУ», Опытное лесничество, кв.75, МЭД=10,0 мкР/ч (контроль). Состав насаждения - 10С+Б, тип леса - сосняк – бруснично-черничный, 66 лет, условия произрастания А₂ - В₂.

Сбор данных

Измерения МЭД проводили на высоте 1 м от поверхности земли и на почве дозиметром ДРГ - 01Т с точностью до 1,0 мкР/ч, ежегодно на постоянных реперных точках (не менее 5 на каждой пробной площади (ПП)) в пятикратной повторности.

С модельных деревьев в течении 2 лет (2021, 2022 гг.) собирали по 30 - 50 шишек в средней части кроны с южной стороны. Длину и ширину шишек измеряли при помощи штангенциркуля с точностью до 0,1 мм. Определяли массу одной шишки и массу 1000 семян с точностью до 0,01 г. Для анализа семенной продуктивности с каждого модельного дерева получали семена, которые сортировались на полнозерные и пустые.

Вычислялись средние биометрические показатели шишек и семян для каждого модельного дерева. Определялась средняя масса полнозерных семян в шишке. Выход полнозерных семян также вычислялся для каждого модельного дерева (отношение массы полнозерных семян в

шишке к массе шишки, %). Затем вычисляли средние показатели для ПП.

Семена с модельных деревьев хранили в сухом неотопляемом помещении, в стеклянных пузырьках с притертой пробкой при $t=0...+5^{\circ}\text{C}$.

Проращивание семян проводили по ГОСТ 13056.6-75 на растительном аппарате при t около $+26^{\circ}\text{C}$. От каждого модельного дерева бралось по 200 семян (в 2 повторностях по 100 семян). Учет всхожести велся ежедневно в течение 15 дней. Определяли энергию прорастания за 7 дней, техническую и абсолютную всхожесть за 15 дней проращивания. Непроросшие семена после взрезывания разделены на пустые, нежизнеспособные, беззародышевые, ненормально проросшие, загнившие и поврежденные. Абсолютная всхожесть (%) определялась как отношение количества проросших семян к количеству семян, имеющих зародыш. Класс качества семян устанавливали по ГОСТ 14161-86.

Анализ данных

При обработке экспериментальных данных по каждому признаку определяли среднеарифметическую величину (M), среднее квадратическое отклонение (σ), коэффициент изменчивости (C , %), основную ошибку средней величины (m) и точность опыта (P , %) [17]:

Средняя арифметическая величина (M):

$$M = \sum p * \frac{K}{N}, \text{ где}$$

p - варианта (ступень), входящая в состав данной совокупности;

N - общее число наблюдений или объемы выборочной совокупности;

K - численность, вариант или частота повторяемости признака.

Среднее квадратическое отклонение (σ):

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum * K * \alpha^2}{N}}, \text{ где}$$

K - частота повторяемости признаков;

α - отклонение средней величины;

N - количество наблюдений.

Коэффициент изменчивости (C):

$$C = 100 * \frac{\sigma}{M}, \text{ где}$$

σ - среднее квадратическое отклонение;

M - средняя величина признака.

Ошибка средней величины (m):

$$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{N}}, \text{ где}$$

σ - среднее квадратическое отклонение;

N - количество наблюдений.

Показатель точности опыта (P):

$$P = \pm \frac{m * 100}{M};$$

Определение степени изменчивости признаков проводили по шкале С.А. Мамаева.

Результаты

При анализе размеров шишек сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) в 2021 году (табл. 1) длина растет при увеличении радиационного загрязнения. В относительно чистом районе прорастания растений (контроль) длина и ширина шишек меньше, чем в районах с хроническим ионизирующим облучением.

Достоверно уменьшена длина шишек с ПП № 1 ($39,93 \pm 1,892$) (при МЭД = $629,1 \pm 3,7$ мкР/ч в сравнении с ПП № 4 ($45,67 \pm 1,376$) (МЭД = $151,3 \pm 2,3$ мкР/ч, $P = 95\%$) и ПП № 5 ($44,70 \pm 1,789$) (при МЭД = $35,3 \pm 1,1$ мкР/ч, $P = 99,9\%$).

Таблица 1

Вариабельность шишек и семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) в 2021г.

Table 1

Variability of cones and seeds *Pinus sylvestris* L. in 2021 year

№ ПП № ТА	МЭД мкР/ч MD md/hr	Размеры шишек, мм The size of the cones, mm		Масса одной шишки, г The weight of one lump, g	Масса 1000 семян, г Weight of 1000 seeds, g
		длина length	ширина width		
1	$629,1 \pm 3,7$	$39,93 \pm 1,892$	$20,73 \pm 0,883$	$6,74 \pm 0,615$	$6,03 \pm 0,323$
2	$224,4 \pm 2,8$	$41,02 \pm 0,902$	$22,13 \pm 0,323$	$7,13 \pm 0,421$	$6,13 \pm 0,226$
3	$195,5 \pm 1,2$	$43,11 \pm 1,434$	$21,67 \pm 0,751$	$8,36 \pm 0,481$	$6,98 \pm 0,211$

Природопользование

4	151,3±2,3	45,67± 1,376	20,65± 0,376	7,36± 0,623	7,16± 0,200
5	35,3±1,1	44,70± 1,789	23,80± 0,740	9,78± 0,705	7,29± 0,293
6	10,0±0,9	36,99± 1,041	19,07± 0,449	5,15± 0,482	7,36± 0,278

Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculations

На ПП №5 (МЭД = 35,3±1,1) ширина шишек 23,80± 0,740 (наибольшая), в контроле 19,07± 0,449 - наименьшая ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ при $P=99,9\%$).

Масса шишек увеличивается с ростом уровня ионизирующего излучения.

На ПП №5 (9,78± 0,705) (при МЭД = 35,3±1,1) и ПП №3 (8,36±0,481) (при МЭД=195,5±1,2 мкР/ч) установлено увеличение массы по сравнению с контролем: $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ при $P=99,0\%$.

Вес семян под влиянием ионизирующего облучения понижается.

Вес семян снижен значимо на ПП № 2 (6,13±0,226) (при МЭД=224,4±2,8 мкР/ч) и ПП № 1 (6,03± 0,323) (МЭД=629,1±3,7 мкР/ч) по сравнению с контролем: $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ при $P=95,0\%$.

При изучении размеров шишек сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) в 2022 году подтверждена тенденция увеличения их размеров с ростом ионизирующего излучения (таблица 2).

Достоверно увеличена (при сравнении с контролем) длина шишек с ПП № 1 (43,02±0,91) (при МЭД = 211,5±3,2 мкР/ч, $P = 95\%$), с ПП № 4

(44,62±1,21) (МЭД=149,4±1,3 мкР/ч, $P = 95\%$) и ПП № 5 (43,32±1,78) (при МЭД=38,1±1,5 мкР/ч, $P=99,0\%$).

На ПП № 4 (23,66±0,37) (при МЭД=149,4±1,3 мкР/ч) установлена наибольшая ширина шишек, а наименьшая ширина шишек в контроле (19,05±0,44) ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ при $P=99,9\%$).

Вес шишек увеличивается при увеличении хронического ионизирующего облучения. Установлен достоверный рост массы шишек по сравнению с контрольными образцами (5,21±0,98) на ПП № 5 (9,23± 0,68) (МЭД=38,1±1,5 мкР/ч, $P=99,0\%$).

У сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) вес семян в радиоактивно загрязненных районах снижается. Вес семян значимо снижен по сравнению с контролем (7,36± 0,20) на ПП №1 (6,05±0,14) (МЭД=625,2±2,6 мкР/ч), $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ при $P=95,0\%$).

Таким образом, у сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) под влиянием хронического радиационного облучения размеры шишек увеличиваются (масса, длина, ширина), а масса семян снижается.

Таблица 2

Вариабельность шишек и семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) в 2022 г.

Table 2

Variability of cones and seeds *Pinus sylvestris* L. in 2022 year

№ ПП № ТА	МЭД мкР/ч MD md/hr	Размеры шишек, мм The size of the cones, mm		Масса одной шишки, г The weight of one lump, g	Масса 1000 семян, г Weight of 1000 seeds, g
		длина length	ширина width		
1	625,2±2,6	43,02 ±0,91	20,13± 0,32	6,98± 0,32	6,05±0,14
2	211,5±3,2	38,73± 1,86	21,73± 0,88	6,54±0,51	7,64± 0,13
3	197,7±2,4	42,32± 1,34	21,62± 0,75	8,36±0,48	6,60± 0,16
4	149,4±1,3	44,62± 1,21	23,66± 0,37	7,75± 0,60	6,87± 0,10
5	38,1±1,5	43,32± 1,78	22,88± 0,74	9,23± 0,68	7,06± 0,28
6	11,3±0,28	35,85± 1,02	19,05± 0,44	5,21± 0,98	7,36± 0,20

Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculations

При проращивании семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) в 2021 году установлена высокая всхожесть и энергия прорастания семян на всех ПП (таблица 3).

Семена соответствуют I, II и III классу качества и кондиционные.

Семена сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) контрольного района произрастания наиболее энергично проросли - 84,55 %. На ПП №5 (МЭД=35,3±1,1 мкР/ч) за 7 суток проросло 83,18%. На ПП №2 (МЭД=224,4±2,8 мкР/ч) - за 7 суток проросло 64,12 % (наименее энергичное прорастание семян).

У сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) всхожесть семян насаждений с хроническим ионизирующим излучением высокая, но снижена по сравнению с контролем.

Изменчивость внутривидовая всхожести семян имеет низкий уровень и в насаждениях, находящихся под воздействием радиационного фона на территории Брянска – в контроле.

Лабораторная всхожесть семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) и абсолютная самая высокая на ПП №5 – 94,6% (МЭД=35,3±1,1 мкР/ч), наименьшая на ПП №4 – 80,3% (МЭД=151,3±2,3 мкР/ч), в контроле она составила 92,1 %.

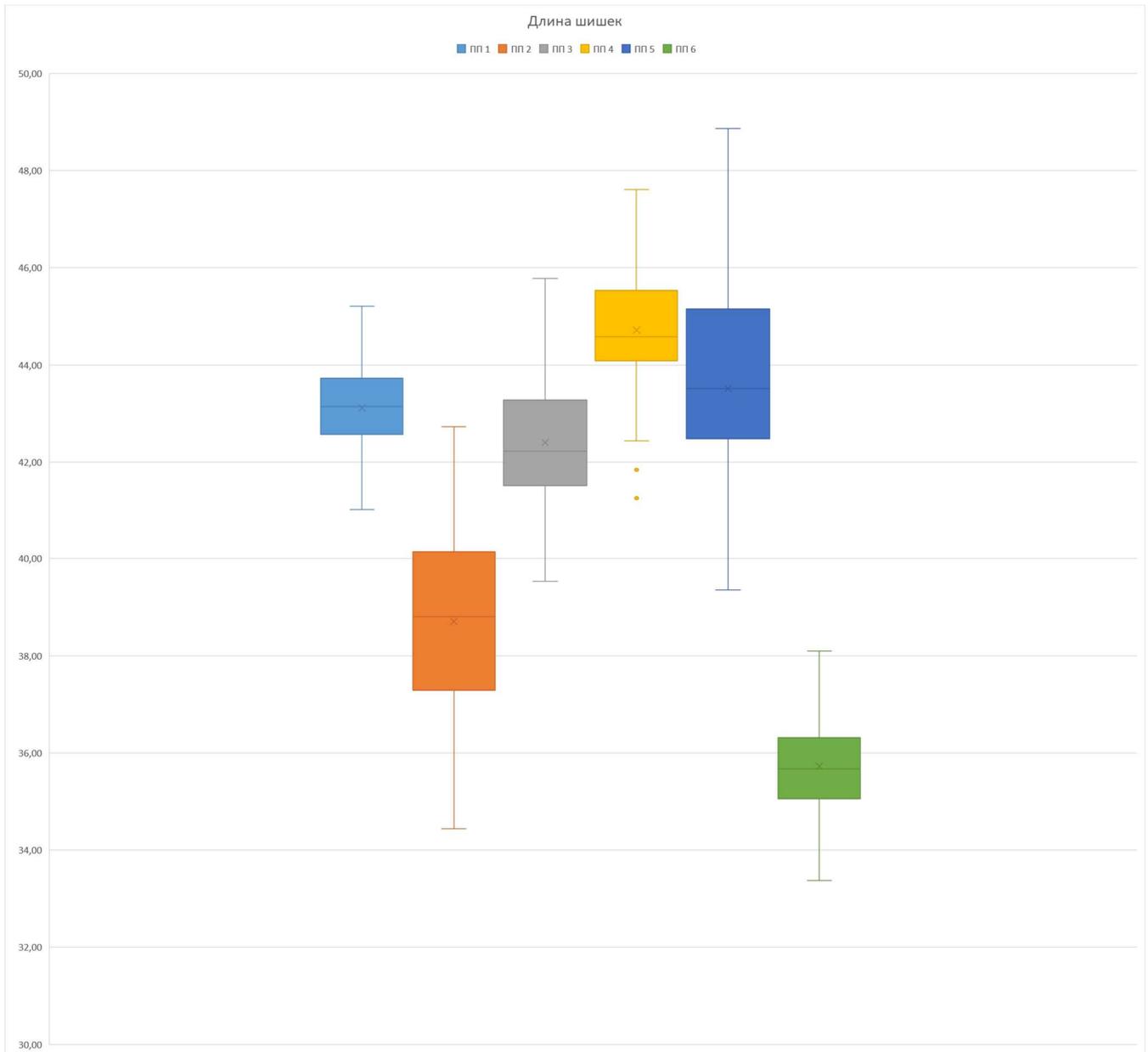
Наибольшее количество пустых семян выявлено на ПП №5 (МЭД=35,3±1,1 мкР/ч) и составило 2,89%. Наименьшее количество пустых семян на ПП №2 (МЭД=224,4±2,8 мкР/ч) - 0,82%. Это говорит о более жестком естественном отборе в загрязненных насаждениях.

Мутационная изменчивость определяется наличием неправильно проросших семян. В исследованиях не установлена достоверная зависимость уровня радиационного облучения и количества аномальных проросших семян. Явление развития только стебелька при нарушенной деятельности апикальной меристемы корешков характеризует мутационные изменения.

Изменчивость длины шишек сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.)

Chart 1

Variability of length cones *Pinus sylvestris* L.

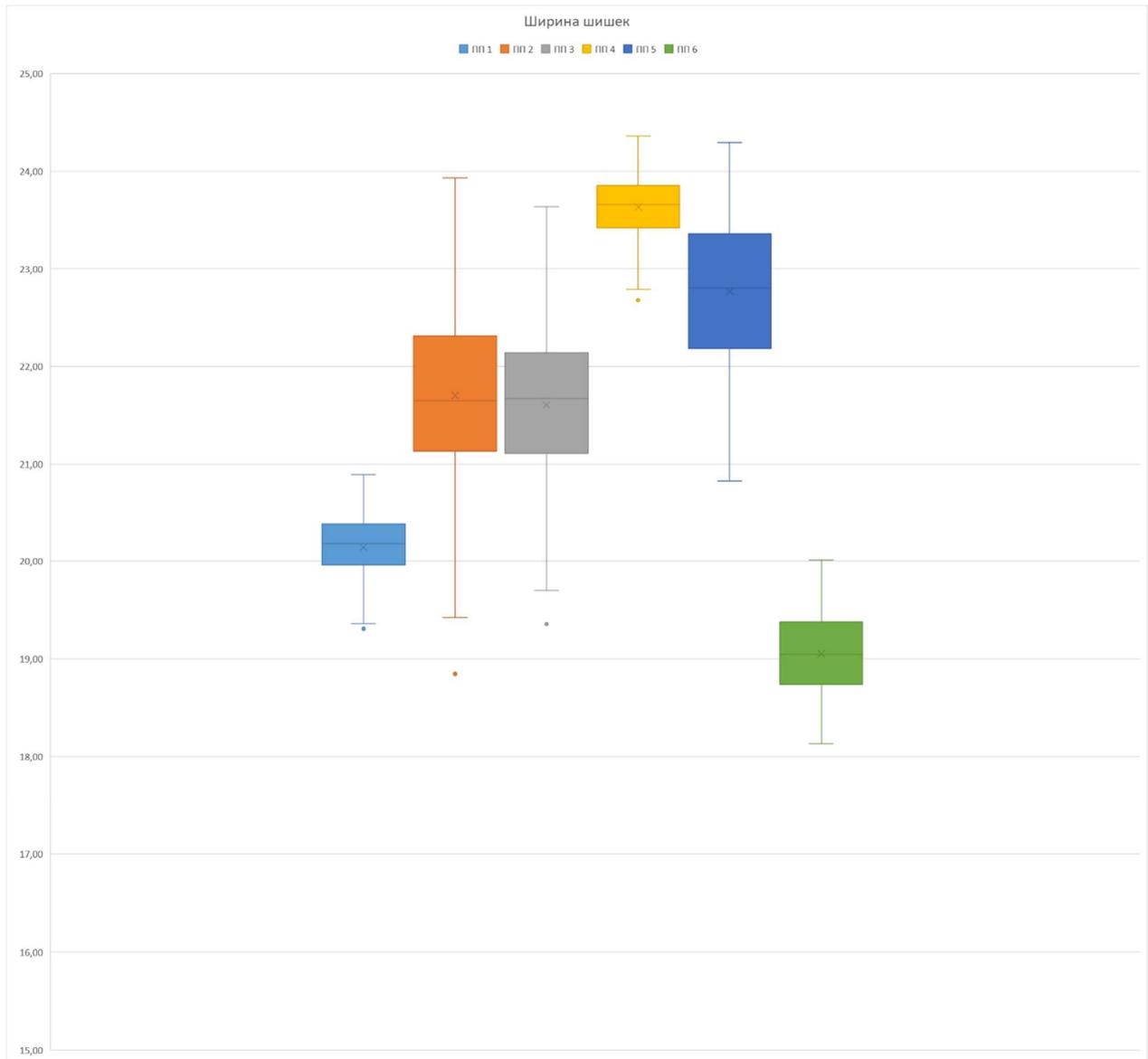


Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculations

Изменчивость ширины шишек сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.)

Chart 2

Variability of width cones *Pinus sylvestris* L.

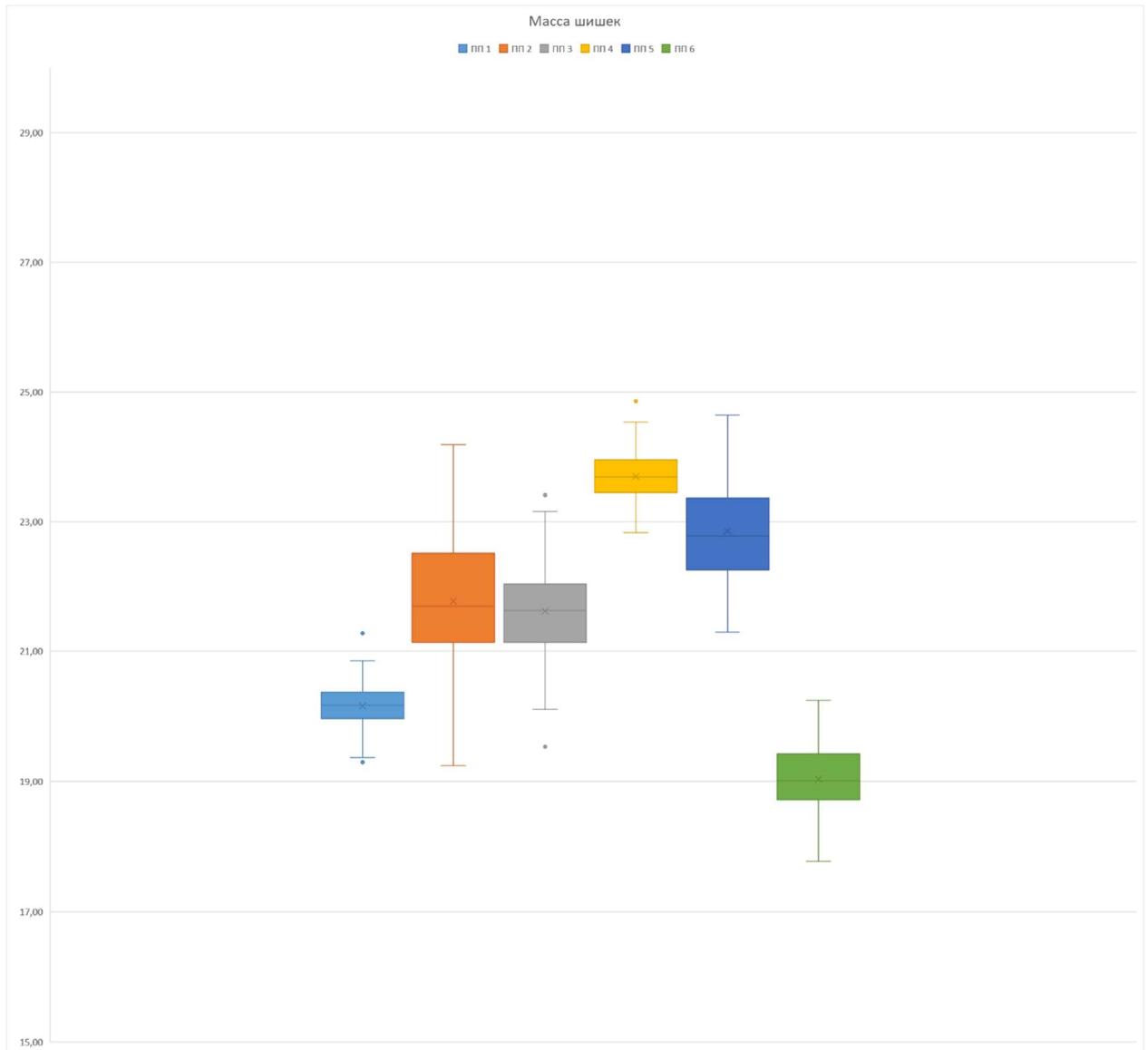


Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculations

Изменчивость массы шишек сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.)

Chart 3

Variability of weight cones *Pinus sylvestris* L.

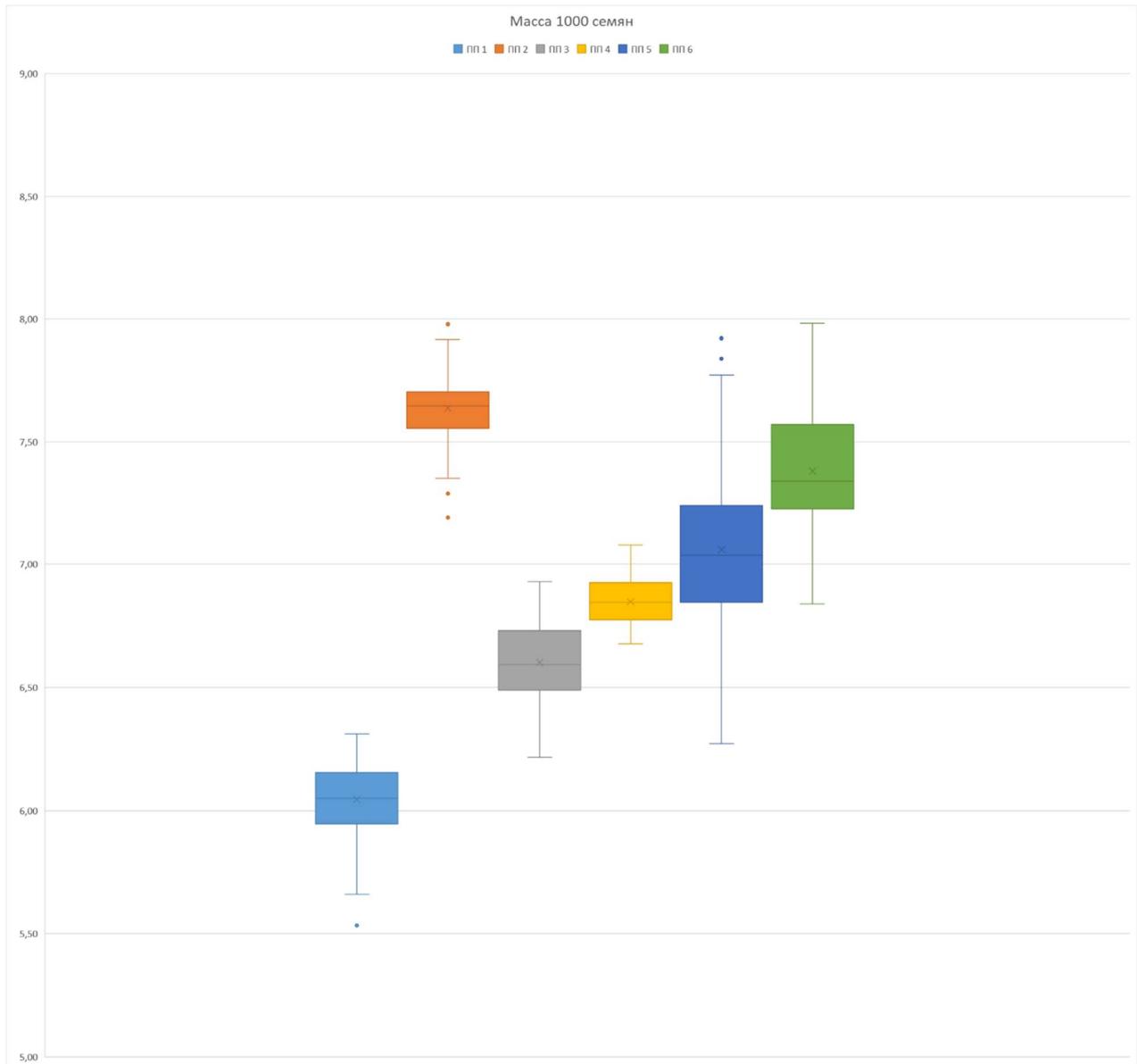


Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculations

Изменчивость массы семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.)

Chart 4

Variability of weight seeds *Pinus sylvestris* L.



Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculations

Таблица 3

Изменчивость прорастания семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) 2021 г.

Table 3

Variability of seed germination *Pinus sylvestris* L. 2021 y.

№ ПП. / №. ТАС	МЭД, мкР / MD, mc/hrc	Среднее количество (%) проросших семян / Average number (%) of germinated seeds							Отношение энергии прорастания в % / The ratio of the energy of growth to germination in %	Класс качества / Quality class
		3 сут. / 3-day	4 сут. / 4-day	5 сут. / 5-day	7 сут. / 7-day	10 сут. / 10-days	15 сут. (всхожесть семян) / 15 day (seed germination) M±mр	δ		
1а	629,1±3,7а	1,82а	30,77а	59,89а	80,24а	85,81а	86,72±2,01а	7,83а	9,0а	IIа
2а	224,4±2,8а	2,11а	36,57а	62,67а	64,12а	84,32а	85,36±2,34а	7,07а	8,4а	IIа
3а	195,5±1,2а	1,81а	25,32а	42,23а	78,80а	75,53а	80,42±3,67а	10,44а	13,4а	IIа
4а	151,3±2,3а	1,46а	17,39а	39,98а	75,88а	75,41а	78,89±6,86а	20,12а	25,0а	IIIа
5а	35,3±1,1а	1,91а	26,57а	52,67а	83,18а	80,42а	81,36±2,82а	7,27а	8,5а	IIа
6а	10,0±0,9а	-	19,74а	59,12а	84,55а	89,83а	91,81±2,70а	8,56а	9,3а	Iа

Источник: собственные вычисления авторов / Source: own calculations

Зависимость уровня ионизирующего излучения и количества непроросших и абсолютной всхожести семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.)

Table 4

The effect of the pollution level of the air basin on the number of ungerminated and absolute germination of seeds *Pinus sylvestris* L.

№ ПП № ТА	МЭД мкР/ч MD md/hr	Среднее количество непроросших семян, % / Average number of ungerminated seeds, %					Абсолютная всхожесть семян, % / Absolute seed germination, %
		Всего / in total	в том числе / including				
			пустые / empty	ненормально проросшие / abnormal y sprouted	нежизнеспособные / the unfit	Без зародышевые / without childbirth	
1	629,1±3,7	11,21	2,49	0,50	7,62	2,25	91,54
2	224,4±2,8	13,65	0,82	1,95	4,78	1,09	87,81
3	195,5±1,2	17,36	1,27	2,67	16,43	0,71	81,72
4	151,3±2,3	20,12	1,53	0,56	19,68	-	78,94
5	35,3±1,1	19,38	2,89	2,21	9,73	0,81	80,32
6	10,0±0,9	8,19	2,14	0,73	4,89	0,43	94,23

Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculations

Наибольшее количество ненормально проросших семян выявлено на ПП № 3 (МЭД=195,5±1,2 мкР/ч) - 2,67%. Наименьшее количество ненормально проросших семян на ПП №1 (МЭД=629,1±3,7 мкР/ч) - 0,50%, что на 0,23 % меньше, чем в контроле. Количество нежизнеспособных семян превышает на ПП № 4 (МЭД=151,3±2,3 мкР/ч) - 19,68%, что почти в 4 раза больше, чем в контроле. Наименьшее количество нежизнеспособных семян на ПП № 2 (МЭД=224,4±2,8 мкР/ч) - 4,78%. Следует отметить, что на ПП №4 (МЭД=151,3±2,3 мкР/ч) отсутствуют беззародышевые семена.

Непроросшие семена сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) имеют эндосперм и зародыш и являются нежизнеспособными.

Проведен корреляционный анализ связи уровня радиационного загрязнения и посевных качеств семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.).

Тесная положительная связь с уровнем ионизирующего излучения зафиксирована у проросших семян за 7 суток ($r = + 0,885$), за 10 суток ($r = + 0,812$), 15 суток ($r = + 0,798$), $t_{факт} > t_{табл}$ при $P = 95\%$.

Установлена тесная положительная связь энергии прорастания к всхожести $t_{факт} > t_{табл}$ при $P = 95,0\%$ ($r = + 0,792$), и абсолютной всхожести, $t_{факт} > t_{табл}$ при $P = 99,0\%$ ($r = + 0,879$).

Отсутствует достоверная зависимость количества проросших семян в первые дни прорастания от уровня ионизирующего излучения. Установлена только положительная тенденция связи.

Всхожесть семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) увеличивается с ростом уровня ионизирующего излучения.

Установлена отрицательная связь массы семян и МЭД, $t_{факт} > t_{табл}$ при $P = 95,0\%$.

Масса семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) снижается с увеличением уровня ионизирующего излучения.

Семена сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) урожая 2022 года имеют высокую всхожесть и энергию прорастания (таблица 5).

Семена сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) соответствуют II и III классу качества, кондиционные.

Таблица 5

Изменчивость прорастания семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) 2022 г.

Table 5

Variability of seed germination *Pinus sylvestris* L. 2022 y

№ ПП № ТА	МЭД мР/ч MD md/hr	Среднее количество (%) проросших семян Average number (%) of germinated seeds						15 сут. (всхожесть семян) 15 day (seed germination)		Отношение энергии прорастания к всхожести в % The ratio of the energy of growth to germination in %	Класс качества Quality class
		3 сут. 3 day	4 сут. 4 day	5 сут. 5 day	7 сут. 7 day	10 сут. 10 day	M±m _x	δ	v, %		
1	625,2±2,6	-	5,45	19,73	51,29	72,72	70,78±5,12	7,14	15,10	71,8	III
2	211,5±3,2	-	6,32	21,51	57,76	70,83	82,23±6,20	12,41	22,67	69,4	II
3	197,7±2,4	-	9,24	19,65	46,72	58,87	69,05±9,91	26,98	25,90	67,3	III
4	149,4±1,3	-	18,58	36,87	61,21	69,51	78,06±7,70	16,91	19,60	81,3	III
5	38,1±1,5	-	8,11	17,98	51,88	58,77	69,05±9,96	26,93	10,89	65,6	III
6	11,3±0,28	-	3,08	12,54	46,51	67,27	72,07±9,54	16,60	23,00	64,5	III

Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculations

Природопользование

Не установлена достоверная зависимость всхожести от уровня ионизирующего облучения у семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) урожая 2022 г. На 4 и 5 сутки количество проросших семян на учетных площадках значительно выше, чем в контроле. Наибольшая энергия прорастания была зафиксирована на ПП №4 (МЭД=149,4±1,3 мкР/ч) - 61,21 %, наименьшая энергия прорастания зафиксирована в контроле – 46,51 %.

В наименее загрязненном насаждении ПП №5 (МЭД=38,1±1,5 мкР/ч) отмечен низкий уро-

вень внутрипопуляционной изменчивости всхожести семян ($v = 10,89$ %).

Количество беззародышевых семян в основном повышается с увеличением уровня ионизирующего излучения (есть эндосперм, нет зародыша): больше всего при наименьшем уровне радиоактивного загрязнения ПП №5 (МЭД=38,1±1,5 мкР/ч) - 1,96%, меньше всего - в контроле - 0,69 %. Интересно отметить, что в загрязненных насаждениях закономерно возрастает с увеличением уровня ионизирующего излучения общее количество пустых и беззародышевых семян (табл. 6).

Таблица 6

Зависимость уровня ионизирующего излучения и количества непроросших и абсолютной всхожести семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.)

Table 6

The effect of the pollution level of the air basin on the number of ungerminated and absolute germination of seeds

Pinus sylvestris L.

№ ПП № ТА	МЭД мкР/ч MD md/hr	Среднее количество непроросших семян, % / Average number of ungerminated seeds, %					Абсолютная всхожесть семян, % / Absolute seed germination, %
		всего / in total	в том числе / including				
			пустые / empty	ненормально проросшие / abnormally sprouted	нежизнеспособные / the unfit	без зародышевых / without childbirth	
1	625,2±2,6	25,21	13,23	-	13,0	1,61	84,63
2	211,5±3,2	12,34	7,87	0,73	25,58	1,53	90,06
3	197,7±2,4	34,87	5,15	1,26	15,73	1,57	73,98
4	149,4±1,3	23,85	7,84	1,41	18,87	1,47	81,11
5	38,1±1,5	29,43	10,52	1,77	17,67	1,96	86,13
6	11,3±0,28	27,93	5,92	1,02	20,30	0,69	77,17

Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculations

Отсутствует корреляционная зависимость ненормально проросших семян и степени ионизирующего облучения. Наличие аномальных проростков свидетельствует о происходящих мутационных процессах.

На ПП №5 при МЭД=38,1±1,5 мкР/ч установлено наибольшее количество неправильно проросших семян - 1,77%. На ПП № 2 (МЭД=211,5±3,2 мкР/ч) – наименьшее (0,73%).

При корреляционном анализе связи количества непроросших семян с уровнем радиоактивного загрязнения тесная положительная связь по всем ПП достоверная при $P=95\%$, зафиксирована у количества пустых семян ($r = + 0,916$ для всех ПП) и достоверная в высокой степени ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ при $P = 99,0\%$) у общего количества простых и беззародышевых семян ($r = + 0,942$ - для всех ПП). Положительная тенденция у связи количества беззародышевых семян с уровнем загрязнения воздушного бассейна ($r = + 0,552$ - для всех ПП), показатели r довольно высоки, но недостоверны ($t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$).

У сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) с возрастанием уровня ионизирующего излучения

увеличивается количества семян пустых и без зародыша.

Тесная достоверная отрицательная связь ($r = - 0,71$) установлена между аномально проросшими семенами и уровнем ионизирующего излучения ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ при $P = 95,0\%$).

Сосна обыкновенная (*P. sylvestris* L.), произрастающая в насаждениях с хроническим ионизирующим излучением, имеет кондиционные семена с высокой всхожестью.

Корреляционная связь зависимости веса семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) от всхожести не подтвердилась. Отсутствует прямолинейная зависимость изменчивости всхожести семян (табл. 7).

Таблица 7

Корреляционный анализ зависимости массы семян и всхожести у сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) по годам

Table 7

Correlation analysis of the relationship of germination with the mass of 1000 seeds in *Pinus sylvestris* L. by year

Показатели корреляции / Correlation indicators	Коэффициенты корреляции (r) всхожести с массой 1000 семян по годам / Correlation coefficients (r) of germination with the mass of 1000 seeds by year			
	2020	2021	2022	Среднегодовалые / Average young people
По всем пробным площадям (с контролем) / For all test areas (with control)				
$r \pm m_r$	-0,765±0,3868	+0,530±0,2400	+0,041±0,4762	+0,215±0,4770
$t_{\text{факт}}$	1,901	1,766	0,081	0,450
ПП №1,2,3,4,5				
$r \pm m_r$	-0,920±0,0891	+0,561±0,3955	+0,419±0,4761	+0,288±0,5293
$t_{\text{факт}}$	10,315	1,419	0,880	0,545

Примечание: для N = 3: $t_{\text{табл}}$ при $P = 95\%$ - 12,706, при $P = 99\%$ - 63,657;

для N = 4: $t_{\text{табл}}$ при $P = 95\%$ - 4,303, при $P = 99\%$ - 9,925, при $P = 99,9\%$ - 31,698.

Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculations

Отсутствует достоверная зависимость всхожести семян с их массой и в 2020 году. Наблюдается отрицательная тенденция связи всхожести семян от их массы ($r = - 0,920$, но $t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$).

По многолетним данным установлена положительная тенденция связи всхожести семян с их

массой, но достоверная зависимость отсутствует ($r = + 0,215$ для всех ПП, но $t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$).

Обсуждение

Согласно ранее проведенным исследованиям в 2001 и 2002 годах с увеличением ионизирующего облучения снижались размеры шишек и семян.

Высокие дозы радиоактивного излучения стимулировали прорастание семян в первые сутки, но понижали общую всхожесть. Была установлена положительная корреляционная достоверная связь уровня ионизирующего излучения и количества семян пустых, без зародыша, непроросших, нежизнеспособных.

Рост радиационного излучения увеличивает внутривидовую изменчивость всхожести и массы семян.

Заключение

Семена сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) 2021-2022 гг., произрастающей в насаждениях с хроническим ионизирующим излучением, кондиционные и имеют высокую всхожесть (уровень значимости $P=95\%$).

Радиоактивное излучение стимулирует рост размеров (длины, ширины, массы) шишек сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) (уровень значимости $p=99\%$). Масса семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) снижается с увеличением уровня ионизирующего излучения (уровень значимости $P=95\%$).

Внутривидовая изменчивость всхожести семян имеет низкий уровень и в насаждениях, находящихся под воздействием радиационного фона, и на территории Брянска – в контроле.

С ростом уровня хронического ионизирующего излучения увеличивается всхожесть семян сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.), а масса семян снижается (уровень значимости $P=95\%$).

Среди семян, которые не проросли, преобладают нежизнеспособные семена, имеющие эндосперм и зародыш. С увеличением уровня ионизирующего излучения закономерно возрастает общее количество пустых и беззародышевых семян.

Список литературы

1. Битаршвили С.В., Гераськин С.А., Шестерикова Е.М., Празян А.А. Влияние хронического облучения на фитогормональный статус сосен Чернобыльской зоны отчуждения. Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). 2022; 31; 4: 64-72. DOI: <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2022-31-4-64-72>
2. Дегтярева А.П. Изменение полнотелости семян сосны обыкновенной в зависимости от общего жизненного состояния дерева. Заметки ученого. 2021; 8: 467-470. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46461906>
3. Дегтярева А.П. Сосна обыкновенная в изменяющихся климатических условиях Центрального Черноземья. Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2022; 144: 14-18. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49750965>
4. Дегтярева А.П. Влияние экологической обстановки на семенную продуктивность *Pinus sylvestris* L. в степной зоне Центрально-Черноземного района России // Научно-агрономический журнал. 2023; 2(121): 46-50. DOI: <https://doi.org/10.34736/FNC.2023.121.2.008.46-50>
5. Дрожжина В.Н. Изменение параметров генеративных органов *Pinus sylvestris* L. в условиях техногенного загрязнения // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. 2023; 04/2: 13-18. DOI: <https://doi.org/10.37882/2223-2966.2023.04-2.08>
6. Кистерный Г.А. Состояние женской генеративной сферы сосны обыкновенной в действующем очаге корневой губки (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) / Г.А. Кистерный // Лесотехнический журнал. 2022; 12; 4 (48): 31-46. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/3>
7. Кузнецова Н.Ф., Клушевская Е.С. Смена жизненного состояния как способ выживания *Pinus sylvestris* L. на техногенно загрязненной территории // Принципы экологии. 2020; 2: 40-47. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44527120>

8. Кузнецова Н.Ф. Влияние техногенного загрязнения и засухи на генеративную сферу лесостепных популяций *Pinus sylvestris* L. Хвойные бореальной зоны. 2022; XL; 6: 502-508. DOI: <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2022-6-502-508>
9. Кузнецова Н.Ф. Генеративная сфера сосны обыкновенной как индикатор климатически детерминированной смены жизненных состояний популяций. Лесоведение. 2023; 3: 244-254. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0024114823030063>
10. Михайлова М.И. О лучших геоэкотипах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) для искусственного лесовосстановления / М.И. Михайлова, М.П. Чернышов, С.В. Ребко // Лесотехнический журнал. 2023; 13; 4(52): 58–71. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/4>
11. Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А., Чупров А.В. Формирование шишек сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях изменения климата. Лесной вестник. 2023; 27; 4: 36-46. DOI: <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2023-4-36-46>
12. Новикова Т.П. Влияние климатического индекса градусо-дней на виталитет 3-летних сеянцев сосны обыкновенной из сортированных по спектрометрическим свойствам семян / Т.П. Новикова, В.И. Малышева, Е.П. Петрицев // Лесотехнический журнал. 2022; 12; 1(45): 110–118. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.1/9>
13. Сердюкова А.П. Оценка общего состояния и семенной продуктивности *Pinus sylvestris* L. в разных климатических зонах Воронежской области. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019; 2: 10-12. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41146360>
14. Сердюкова А.П. Состояние генеративной сферы сосны обыкновенной в условиях засухи и антропогенной нагрузки степной зоны Воронежской области. Global and Regional Research. 2020; 2; 4: 163-168. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44574676>
15. Смирнов А.И., Орлов Ф.С., Васильев С.Б., Аксенов П.А., Никитин В.Ф. Обработка некондиционных семян сосны Банкса (*Pinus banksiana* Lamb.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) низкочастотным электромагнитным полем // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2020; 24; 5: 59–65. DOI: <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2020-5-59-65>
16. Тарханов С.Н., Пинаевская Е.А., Аганина Ю.Е. Особенности адаптации разных форм сосны обыкновенной в условиях длительного избыточного увлажнения почв // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. 2: 30–44. DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-2-30-44>
17. Теория вероятностей и математическая статистика : учебно-методическое пособие / сост. Н. Л. Марголина, К. Е. Ширяев. – Кострома : Костромской государственной университет. 2022; 124. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50510500>
18. Чупров А.В., Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А. Изменчивость шишек сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в географических культурах Архангельской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2021; 25; 3: 24–33. DOI: <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-3-24-33>
19. Ярмишко В.Т., Игнатъева О.В. Сообщества *Pinus sylvestris* L. в техногенной среде на Европейском Севере России: структура, особенности роста, состояние. Сибирский лесной журнал. 2021; 3: 44-55. DOI: <https://doi.org/10.15372/SJFS20210305>
20. Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Babich N.A., Bryntsev V.A. Differentiation of plus trees of scots pine by xylem conditions. Russian Forestry Journal. 2023; 4(394): 9-25. DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-4-9-25>
21. Yelkenova B.Z., Beisenova R.R., Karipbayeva N.Sh., Polevik V.V. The influence of atmospheric pollution on the growth and development of pine in the conditions of the Irtysh Semipalatinsk Region. Bulletin of the Karaganda university. Biology. Medicine. Geography Series. 2020; 98; 2: 73-78. DOI: <https://doi.org/10.31489/2020BMG2/73-78>

References

1. Bitarishvili S.V., Geras'kin S.A., Shesterikova E.M., Prazyan A.A. Vliyanie xronicheskogo oblucheniya na fito-gormonal'ny'j status sosen Chernoby'l'skoj zony' otchuzhdeniya. Radiaciya i risk [Influence of chronic irradiation on phytohormonal status of pines of Chernobyl exclusion zone. Radiation and Risk]. Byulleten' Nacional'nogo radiacionnoe'pidemiologicheskogo registra= Bulletin of the National Radiation and Epidemiologic Register). 2022; 31; 4: 64-72. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2022-31-4-64-72>
2. Degtyareva A.P. Izmenenie polnozernistosti semyan sosny' oby'knovennoj v zavisimosti ot obshhego zhiznennogo sostoyaniya dereva [Variation of full-grainedness of common pine seeds depending on the general life state of the tree]. Zаметki uchenogo= Notes of a scientist. 2021; 8: 467-470. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46461906>
3. Degtyareva A.P. Sosna oby'knoennaya v izmenyayushhixsya klimaticheskix usloviyax Central'nogo Chernozem'ya [Common pine in changing climatic conditions of the Central Black Earth Region]. Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada = Bulletin of the State Nikita Botanical Garden. 2022; 144: 14-18. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49750965>
4. Degtyareva A.P. Vliyanie e'kologicheskoy obstanovki na semennuyu produktivnost' Pinus sylvestris L. v stepnoj zone Central'no-Chernozemnogo rajona Rossii [Influence of environmental conditions on seed productivity of Pinus sylvestris L. in the steppe zone of the Central Chernozem region of Russia]. Nauchno-agronomicheskij zhurnal= Scientific and Agronomic Journal. 2023; 2(121): 46-50. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34736/FNC.2023.121.2.008.46-50>
5. Drozhzhina V.N. Izmenenie parametrov generativny'x organov Pinus sylvestris L. v usloviyax texnogenogo zagryazneniya [Changes in the parameters of generative organs of Pinus sylvestris L. under conditions of technogenic pollution]. Sovremennaya nauka: aktual'ny'e problemy' teorii i praktiki. Seriya: Estestvenny'e i Texnicheskie / Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences. 2023; 04/2: 13-18. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37882/2223-2966.2023.04-2.08>
6. Kisterny'j G.A. Sostoyanie zhenskoy generativnoj sfery' sosny' oby'knovennoj v dejstvuyushhem ochage kornevoj gubki [The state of female generative sphere of the common pine in the active center of the root sponge. Heterobasidion annosum (Fr.) Bref.]. Lesotexnicheskij zhurnal = Forest Engineering Journal. 2022; 12; 4 (48): 31-46. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/3>
7. Kuznecova N.F., Klushevskaya E.S. Smena zhiznennogo sostoyaniya kak sposob vy'zhivaniya Pinus sylvestris L. na texnogenno zagryaznennoj territorii [Life state change as a way of survival of Pinus sylvestris L. on the technogenically polluted territory]. Principy' e'kologii =Principles of Ecology. 2020; 2: 40-47. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44527120>
8. Kuznecova N.F. Vliyanie texnogenogo zagryazneniya i zasuxi na generativnuyu sferu lesostepny'x populyacij Pinus sylvestris L. [Influence of anthropogenic pollution and drought on the generative sphere of forest-steppe populations of Pinus sylvestris L.] Xvojny'e boreal'noj zony'= Conifers of the boreal zone. 2022; XL; 6: 502-508. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2022-6-502-508>
9. Kuznecova N.F. Generativnaya sfera sosny' oby'knovennoj kak indikator klimaticheskij deter-minirovannoj smeny' zhiznenny'x sostoyanij populyacij [Generative sphere of common pine as an indicator of climatically determined change of life states of populations]. Lesovedenie= Forest Science. 2023; 3: 244-254. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0024114823030063>
10. Mixajlova M.I., Chernyshov M. P., Rebko S. V. O luchshix geoe'kotipax sosny' oby'knovennoj (Pinus sylvestris L.) dlya iskusstvennogo lesovosstanovleniya [About the best geocotypes of common pine (Pinus sylvestris L.) for artificial reforestation] Lesotexnicheskij zhurnal=Forest Engineering Journal. 2023; 13; 4(52): 58-71. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/4>

11. Nakvasina E.N., Prozherina N.A., Chuprov A.V. Formirovanie shishek sosny` oby`knovennoj (Pinus sylvestris L.) v usloviyax izmeneniya klimata [Formation of cones of the common pine (Pinus sylvestris L.) under conditions of climate change]. Lesnoj vestnik = Forest Bulletin. 2023; 27; 4: 36-46. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2023-4-36-46>
12. Novikova T.P., Maly`sheva V.I., Petrishhev E.P. Vliyaniye klimaticheskogo indeksa gradusodnej na vitalitet 3-letnix seyancev sosny` oby`knovennoj iz sortirovanny`x po spektrometricheskim svoystvam semyan [Influence of climatic index of degree days on the vitality of 3-year-old seedlings of common pine from seeds sorted by spectrometric properties] Lesotekhnicheskij zhurnal= Forest Engineering Journal. 2022; 12; 1(45): 110-118. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.1/9>
13. Serdyukova A.P. Ocenka obshhego sostoyaniya i semennoj produktivnosti Pinus sylvestris L. v razny`x klimaticheskix zonax Voronezhskoj oblasti [Evaluation of the general condition and seed productivity of Pinus sylvestris L. in different climatic zones of Voronezh region]. Mezhdunarodny`j zhurnal gumanitarny`x i estestvenny`x nauk =International journal of humanities and natural sciences. 2019; 2: 10-12. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41146360>
14. Serdyukova A.P. Sostoyaniye generativnoj sfery` sosny` oby`knovennoj v usloviyax zasuxi i an-tropogennoj nagruzki stepnoj zony` Voronezhskoj oblasti [State of the generative sphere of the common pine under conditions of drought and anthropogenic load of the steppe zone of the Voronezh region]. Global and Regional Research. 2020; 2; 4: 163-168. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44574676>
15. Smirnov A.I., Orlov F.S., Vasil`ev S.B., Aksenov P.A., Nikitin V.F. Obrabotka nekondicionny`x semyan sosny` Banksa (Pinus banksiana Lamb.) i sosny` oby`knovennoj (Pinus sylvestris L.) nizkochastotny`m e`lektromagnitny`m polem [Treatment of substandard seeds of Banks pine (Pinus banksiana Lamb.) and common pine (Pinus sylvestris L.) by low-frequency electromagnetic field]. Lesnoj vestnik= Forest Bulletin. 2020; 24; 5: 59-65. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2020-5-59-65>
16. Tarxanov S.N., Pinaevskaya E.A., Aganina Yu.E. Osobennosti adaptacii razny`x form sosny` oby`knovennoj v usloviyax dlitel`nogo izby`tochnogo uvlazhneniya pochv [Features of adaptation of different forms of common pine in conditions of long-term excessive soil moistening]. Izv. vuzov. Lesn. Zhurn =Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal). 2021; 2: 30-44. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-2-30-44>
17. Probability theory and mathematical statistics: textbook / compiled by N. L. Margolina, K. E. Shiryaev. N. L. Margolina, K. E. Shiryaev. Kostroma: Kostroma State University, 2022; 124 p. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50510500>
18. Chuprov A.V., Nakvasina E.N., Prozherina N.A. Izmenchivost` shishek sosny` oby`knovennoj (Pinus sylvestris L.), proizrastayushhej v geograficheskix kul`turax Arxangel`skoj oblasti [Variability of pine cones (Pinus sylvestris L.), growing in geographical cultures of the Arkhangelsk region]. Lesnoj vestnik = Forestry Bulletin. 2021; 25; 3: 24-33. DOI: <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-3-24-33>
19. Yarmishko V.T., Ignat`eva O.V. Soobshhestva Pinus sylvestris L. v texnogennoj srede na Evropejskom Severe Rossii: struktura, osobennosti rosta, sostoyaniye. [Pinus sylvestris L. communities in the anthropogenic environment in the European North of Russia: structure, growth features, state]. Sibirskij lesnoj zhurnal = Siberian Forestry Journal. 2021; 3: 44-55. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15372/SJFS20210305>
20. Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Babich N.A., Bryntsev V.A. Differentiation of plus trees of scots pine by xylem conditions. Russian Forestry Journal. 2023; 4(394): 9-25. DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-4-9-25>
21. Yelkenova B.Z., Beisenova R.R., Karipbayeva N.Sh., Polevik V.V. The influence of atmospheric pollution on the growth and developmetr of pine in the conditions of the Irtysh Semipalatinsk Region. Bulletin of the Karaganda university. Biology. Medicine. Geography Series. 2020; 98; 2: 73-78. DOI: <https://doi.org/10.31489/2020BMG2/73-78>

Сведения об авторах

✉ *Скок Анна Витальевна* – канд. биол. наук, доцент, заведующий кафедрой ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства, *ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет»*, проспект Станке Димитрова, 3, г. Брянск, Российская Федерация, 241037, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1128-8102>, s.anna.v@mail.ru.

Скок Андрей Александрович – аспирант кафедры ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства, *ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет»*, проспект Станке Димитрова, 3, г. Брянск, Российская Федерация, 241037, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9035-107X>, andreyskok5@mail.ru.

Сорокопудов Владимир Николаевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор по специальности «Ботаника», главный научный сотрудник, *ФГБНУ Всероссийский научно — исследовательский институт лекарственных и ароматических растений*, улица Грина, 7, г. Москва, Российская Федерация, 117216, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0133-6919>, sorokopud2301@mail.ru.

Information about the authors

✉ *Anna V. Skok* – Cand. Sc. (Biology), Assistant professor, Associate Professor Departments of Landscape Architecture and Landscape construction, Federal State Budget Educational Institutional of Higher Education «Bryansk Sate Technological Univetsity of Engineering», 3, Stanke Dimitrov Avenue, Bryansk, 241037, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-1128-8102, s.anna.v@mail.ru.

Andrey A. Skok – graduate student Departments of Landscape Architecture and Landscape construction Federal State Budget Educational Institutional of Higher Education «Bryansk Sate Technological Univetsity of Engineering», 3, Stanke Dimitrov Avenue, Bryansk, 241037, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9035-107X>, andreyskok5@mail.ru.

Vladimir N. Sorokopudov – Doctor of Agriculture, Professor; FGBNU All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants Grina street, 7, Moscow 117216, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0133-6919>, sorokopud2301@mail.ru.

✉ – Для контактов | Corresponding author