

УДК 574.2

<https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-1-121-128>

Оригинальная статья

Влияние выбросов Саяногорского алюминиевого комбината на изменчивость морфологических признаков и фитопатологическое состояние сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L., 1753)

И. В. Пак[✉], М. В. Семенова, В. Л. Рябикова, В. В. Сагалакова

Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Российская Федерация

[✉]i.v.pak@utmn.ru

Аннотация

Целью исследования является изучение изменчивости морфологических признаков, частоты некрозов и цитогенетических показателей у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L., 1753), произрастающей на территориях, подвергающихся техногенному воздействию Саяногорского алюминиевого завода (САЗ). Показано, что на загрязненных участках достоверно уменьшаются показатели репродуктивных органов сосны, снижаются энергия прорастания и всхожесть семян, увеличивается частота некрозов хвои в сравнении с контролем. На основе цитогенетического анализа определены митотический индекс и частота аномальных митозов в клетках апикальной меристемы проростков сосны обыкновенной. На загрязненных участках митотическая активность в 1,35–0,8 раза меньше в сравнении с контролем. Выявлена тенденция к увеличению частоты аномальных митозов у сосны обыкновенной на опытных участках. Полученные данные позволили оценить состояние сосны обыкновенной на территории, подвергающейся воздействию САЗ.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, частота некрозов хвои, энергия прорастания семян, всхожесть семян, хромосомные нарушения, митотический индекс

Для цитирования: Пак И.В., Семенова М.В., Рябикова В.Л., Сагалакова В.В. Влияние выбросов Саяногорского алюминиевого комбината на изменчивость морфологических признаков и фитопатологическое состояние сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L., 1753). *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2024;29(1):121–128. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-1-121-128>

Original article

Influence of Sayanogorsk Aluminum Plant emissions on morphological characteristics and phytopathology of Scots pine (*Pinus sylvestris* L., 1753)

Irina V. Pak[✉], Marina V. Semenova, Valentina L. Ryabikova, Victoria V. Sagalakova

University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

[✉]i.v.pak@utmn.ru

Abstract

This article presents data on the variability of morphological features and cytogenetic indicators in Scots Pine (*Pinus sylvestris*) growing in areas affected by the industrial activity of the Sayanogorsk Aluminum Plant (SAP). We demonstrated that in polluted plots located at a distance of 1 and 5 km from the plant, the reproductive organ indicators of pine significantly decreased, germination energy and viability decreased, and needle necrosis frequency increased compared with the control. A significant increase in the frequency of class III needle necrosis in experimental plots by 7.2–8.6 times compared with the control, as well as a decrease in germination energy and seed germination in experimental plots by 1.1 and 1.3–1.5 times indicates the strong negative impact of SAP emissions on pine. Mitotic index and frequency of chromosomal aberrations in the apical meristem cells of Scots Pine seedlings were determined by cytogenetic analysis. A considerable reduction in mitotic activity by 1.35 to 0.8 times was observed in the meristem

cells of Scots Pine growing in experimental plots, compared with the control plot. A tendency toward an increase in the frequency of abnormal mitoses of Scots Pine in the experimental areas was observed. Thus, the data obtained made it possible to assess the condition of Scots Pine in areas exposed to the influence of SAP.

Keywords: Scots Pine, needle's necrosis frequency, seed's germination energy, seed's viability, chromosomal aberrations, mitotic index

For citation: Pak I.V., Semenova M.V., Ryabikova V.L., Sagalakova V.V. Influence of Saynogorsk Aluminum Plant emissions on morphological characteristics and phytopathology of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L., 1753). *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2024;29(1):121–128. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-1-121-128>

Введение

В результате активного развития промышленности в Восточной Сибири все острее становится проблема оценки состояния живых организмов в условиях нарастающего антропогенного давления [1, 2]. Особое внимание привлекает сосна обыкновенная как широко распространенный вид-биоиндикатор, чувствительный к стрессовым воздействиям [3, 4]. Даже при соблюдении всех санитарных и экологических норм невозможно исключить выбросы в окружающую среду загрязняющих веществ, многие из которых являются токсикантами для растений [2, 3, 5–8]. В связи с этим актуальным является поиск у видов-биоиндикаторов признаков, которые позволили бы оценивать влияние техногенного загрязнения.

Целью настоящего исследования является изучение изменчивости морфологических признаков и оценка цитогенетических показателей у *Pinus sylvestris* L., произрастающей на территориях, подвергающихся техногенному воздействию САЗ.

Объекты и методы исследования

Исследования были проведены в 2021–2022 гг. в г. Саяногорск (Республика Хакасия). Объектом исследования явилась сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.).

Сбор материала осуществляли в трех районах: первый и второй располагались в районе САЗ (АО «РУСАЛ Саяногорск») и являлись опытными, третий выступал контрольным. Для проведения исследований подбирали участки с одинаковыми лесорастительными условиями. Леса на них представлены средневозрастными сосняками с травяным покровом. Саяногорский алюминиевый завод – завод группы РУСАЛ, расположенный на территории Республики Хакасия в южной части Минусинской котловины, в 15 км на север от Западных Саян. Это современное российское предприятие металлургии, основной про-

филь деятельности которого – алюминиевая промышленность.

В качестве первого опытного участка был выбран сосновый лес, расположенный рядом с с. Новонисейка на расстоянии 5 км от САЗ (рис. 1) в юго-восточном направлении, на котором отмечено максимальное загрязнение почвы продуктами алюминиевой промышленности: содержание в почве фтора до 2 ПДК, бенз(а)пирена до 1,5 ПДК; фтора 1,1–2,0 ПДК [9].

Второй опытный участок расположен на расстоянии 1 км от промузла. Данная территория входит в пределы санитарно-защитной зоны Саяногорского промузла и в значительной степени подвергается техногенному загрязнению (см. рис. 1).

В качестве контрольного участка была выбрана территория соснового леса в окрестностях загородного отеля «Жарки», располагающаяся на горном хребте Джойский в Республике Хакасия на расстоянии около 35 км от САЗ.

Сбор материала для морфологического анализа: хвоя, побеги, шишки, производился по стандартной методике [10], от 10 модельных деревьев на каждом участке (окружность ствола и диаметр составляли на участке 1 $81,0 \pm 0,44$ см и $25,7 \pm 0,14$ см соответственно; на участке 2 – $80,9 \pm 0,37$ см и $25,7 \pm 0,14$; на контрольном участке – $81,0 \pm 0,47$ см и $25,7 \pm 0,15$). Для определения частоты некрозов хвои использовали стандартные методики [11–13]. В анализе использовали по 100 хвоинок с контрольного и опытных участков. Определяли I, II, III классы некроза [11].

Для определения показателей всхожести и энергии прорастания семян отбирались по 100 шишек с контрольного и опытных участков. Сбор производился в ноябре, в соответствии с периодом созревания семян (октябрь–декабрь). Из собранных шишек извлекались семена. Для проращивания отбирали созревшие обескрыленные семена. Было отобрано 310 штук семян с опытного участка 1, 310 штук семян с опытного участка 2 и 310 штук семян с контрольного. После стратификации семена проращивали.

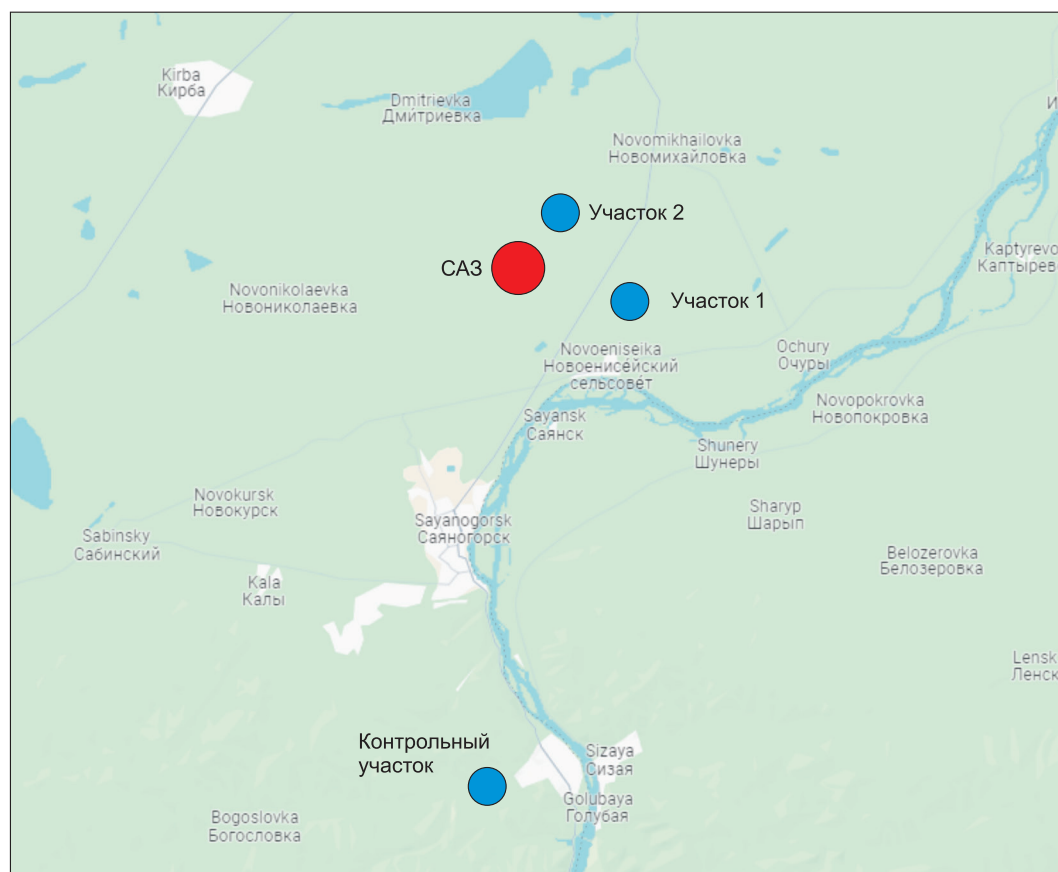


Рис. 1. Схема расположения опытных участков

Fig. 1. Location of experimental plots

Проращивание проводилось по стандартной методике [14]. Определение энергии прорастания на 7 сутки и всхожести на 15 сутки проводилось в соответствии с ГОСТ 13056.6-97 «Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести» [15].

Определение митотического индекса в клетках апикальной меристемы проростков сосны обыкновенной проводили по стандартной методике [16]. Фиксировали проростки в фиксаторе Кларка, окрашивание проводили 2%-м раствором ацетоорсеина, приготовление препаратов осуществляли также по этой методике. При проведении цитогенетического анализа использовали микроскоп «AxioStar» при увеличении ок. $10 \times$ об. 100. Проводили подсчет числа фаз митоза: профаз, метафаз, анафаз и телофаз в делящихся клетках и клеток в состоянии интерфазы (рис. 2). Митотический индекс определяли в промилле как отношение числа клеток в митозе к общему числу просмотренных клеток, включая клетки в интерфазе [16].

Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакета прикладных программ MS Excel и Statistica.

Результаты и обсуждение

Предприятия алюминиевой промышленности являются мощным источником загрязнения прилегающих к нему территорий: почвы, атмосферы, водоемов. По данным проекта нормативов ПДВ от АО «РУСАЛ Саяногорск», в атмосферный воздух с САЗ поступает 79 видов различных загрязняющих веществ, из которых наиболее опасными (I–IV класс опасности) являются следующие: бенз(а)пирен; фтористые соединения; ди-алюминия триоксид; пыль неорганическая (SiO_2 до 20 %); углерод (сажа); диоксиды азота и серы; оксид углерода [9].

Анализ морфологической изменчивости видов-биоиндикаторов позволяет относительно быстро, без использования специального лабораторного оборудования дать оценку состояния растения по его внешним признакам и опосредованно судить об экологической ситуации на исследуемых

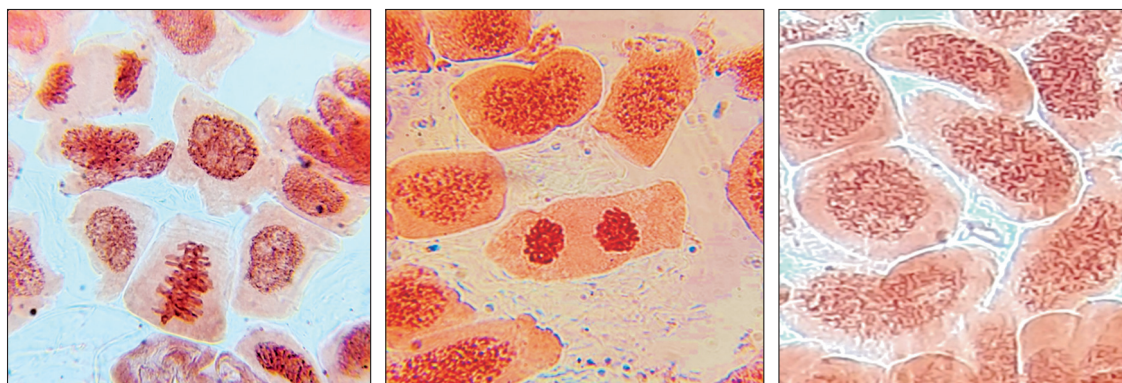


Рис. 2. Фазы митоза в клетках меристемы проростков сосны обыкновенной: анафаза и метафаза; телофаза; профазы (слева направо соответственно)

Fig. 2. Mitosis phases in meristem cells of Scots Pine seedlings: anaphase and metaphase; telophase; prophase (from left to right)

территориях. Сосна является достаточно чувствительным к техногенному загрязнению видом [12]. Ядовитые вещества, вырабатываемые при получении алюминия – оксиды серы, азота, фториды

непосредственно влияют на хвою сосны, провоцируя некрозы, приводя к дефолиации [3, 5, 6, 8].

В табл. 1 приведены статистические данные морфологического исследования признаков взрос-

Таблица 1

Показатели морфологических признаков сосны обыкновенной, произрастающей на разном расстоянии от промышленного комплекса САЗа

Table 1

Indicators of morphological features of Scots Pine growing at different distances from the SAP industrial complex

Признаки / Indicators	Опытный участок 1 / Experimental plot 1		Опытный участок 2 / Experimental plot 2		Контрольный участок / Control plot	
	$x \pm m_x, \%$	CV, %	$x \pm m_x, \%$	CV, %	$x \pm m_x, \%$	CV, %
Показатели проростков, выращенных в лабораторных условиях из семян, собранных на разных участках (на 15 сутки)						
Длина корешка, мм	4,65±0,21^	11,73	4,04±0,22^	14,47	4,49±0,25	14,44
Длина стебелька, мм	13,42±0,93	18,40	12,64±0,30	6,37	14,27±1,02	18,89
Морфометрические показатели взрослых деревьев, произрастающих на разных участках						
Длина прироста за текущий год, см	18,06±0,52	9,08	18,00±0,53	9,25	18,36±0,50	8,63
Длина хвоинки, см (на побегах текущего года)	5,89±0,20	10,91	6,62±0,73	23,26	5,51±0,27	15,67
Количество пучков, шт. (на побегах текущего года)	86,00±3,48	12,88	89,00±3,71	13,90	80,00±3,82	15,26
Длина шишки, см	4,17±0,06*	14,13	4,07±0,05*	13,47	4,41±0,04	7,96
Ширина шишки, см	2,46±0,03	14,10	2,40±0,03*	13,81	2,53±0,03	11,57
Масса шишки, г	6,83±0,18*^	26,58	6,13±0,16*^	26,44	8,43±0,20	23,26

* Различия между контрольным и опытными участками статистически достоверны ($p \leq 0,05$); ^ – различия между опытными участками статистически достоверны ($p \leq 0,05$).

* The differences between the control and experimental plots are statistically significant ($p \leq 0,05$); ^ – differences between experimental plots are statistically significant ($p \leq 0,05$).

лых деревьев сосны обыкновенной, растущей на опытных и контрольном участках, а также данные проращивания семян. Выявлено уменьшение размерных показателей шишек у сосны на опытных участках в сравнении с контролем, что свидетельствует о влиянии загрязняющих веществ на репродуктивные органы сосны.

Оценка изменчивости морфологических признаков показала, что значения коэффициентов вариации выше на опытных участках в сравнении с контролем по всем исследованным признакам. Однако, различия по изменчивости не были существенными: на участке 1 значения коэффициентов вариации колебались в пределах от 9,08 до 26,58 %; на участке 2 – от 6,37 до 26,44; на контрольном участке – от 8,63 до 23,26 % (см. табл. 1).

Полигоны изменчивости морфологических признаков на контрольном и опытных участках различались незначительно (рис. 3). Площадь полигона изменчивости морфологических признаков у сосны, произрастающей на участке 2, меньше, чем на контрольном и опытном участке 2. Но выявленные различия по значениям коэффициентов вариации незначительны.

Поражение хвои сосны обыкновенной некрозами и хлорозами связано с негативным действием загрязняющих веществ в почве и воздухе, таких как фториды, диоксид серы, мелкодисперсная пыль. Известно, частота некрозов и хлорозов является объективным показателем состояния окружающей среды, присутствия в ней загрязняющих веществ [17]. В наших исследованиях была проанализирована частота поражения хвои сосны обыкновенной некрозом, что позволило оценить подверженность сосны негативному влиянию выбросов САЗ (рис. 4).

Как видно из рис. 4, частота некрозов III класса резко возрастает на опытных участках, в то время как на контрольном участке преобладают некрозы I класса. Увеличение частоты некрозов III класса, критического для здоровья сосны, свидетельствует о негативном действии выбросов САЗ, загрязняющих почву и воздух.

При проращивании семян сосны с опытных и контрольного районов на 7-й и 15-й день были определены энергия прорастания семян и их всхожесть (табл. 2). Отмечено уменьшение показателей жизнеспособности семян на опытных участках в сравнении с контролем. Энергия прорастания у сосны на участке 1 снижается в сравнении с контролем в 0,8 раза; на участке 2 – в

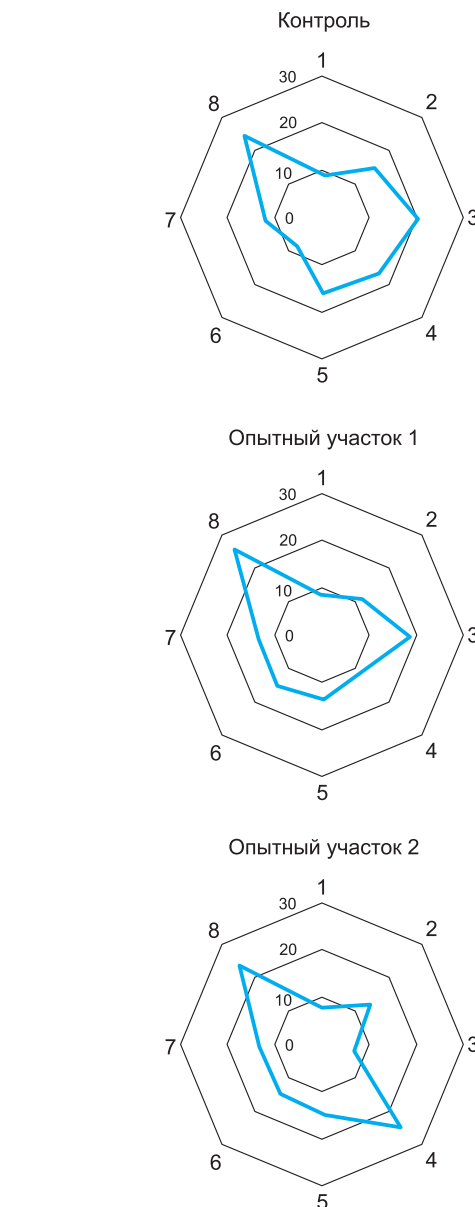


Рис. 3. Полигоны изменчивости морфологических признаков (CV, %) у сосны обыкновенной на разных участках: 1 – длина побега, 2 – длина корешка, 3 – длина ростка, 4 – длина хвоинки, 5 – количество пучков, 6 – длина шишки, 7 – ширина шишки, 8 – масса шишки

Fig. 3. Polygons of variability of morphological features (CV, %) in Scots Pine in different areas: 1 – shoot length, 2 – root length, 3 – sprout length, 4 – needle length, 5 – number of buds, 6 – cone length, 7 – cone width, 8 – cone mass

0,9 раза. Всхожесть семян сосны также уменьшается в 0,6–0,7 раза на опытных участках в сравнении с контрольным участком.

Снижение показателей жизнеспособности (энергии прорастания и всхожести) может быть следствием уменьшения митотической актив-

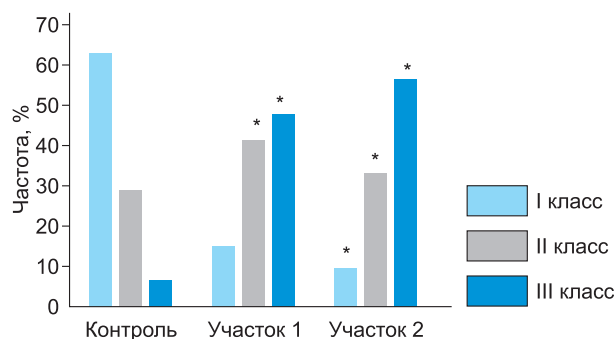


Рис. 4. Характеристика поражения хвои сосны обыкновенной некрозами I–III классов: * – различия между контрольным и опытными участками статистически достоверны ($p \leq 0,05$)

Fig. 4. Characteristics of damage to Scots Pine needles by necrosis of classes I–III: * – the differences between the control and experimental areas are statistically significant ($p \leq 0.05$)

ности и увеличения доли аномальных митозов в тканях (табл. 3).

Проведенный цитогенетический анализ выявил достоверное снижение митотической активности в тканях апикальной меристемы проростков сосны на опытных участках (см. табл. 3). Митотический индекс у сосны на опытном участке 1 уменьшается на 10,25 %; на опытном участке 2 – на 56,82 % в сравнении с контролем, что свидетельствует о нарушении клеточного цикла и угнетении жизнедеятельности клетки.

В табл. 3 представлены также данные по частоте аномальных митозов в клетках сосны на опытных и контрольном участках. Выявлена тенденция к увеличению частоты аномальных митозов на опытных участках, но различия с

Таблица 2

Энергия прорастания и всхожесть семян сосны обыкновенной на разных участках

Table 2

Germination energy and viability of Scots Pine seeds in different areas

Показатель / Indicator	Опытный район 1 / Experimental plot 1		Опытный район 2 / Experimental plot 2		Контрольный район / Control plot	
	$x \pm m, \%$	CV, %	$x \pm m, \%$	CV, %	$x \pm m, \%$	CV, %
Энергия прорастания	$17,74 \pm 1,05^*$	30,02	$15,48 \pm 0,51^*$	19,76	$23,81 \pm 0,53$	21,77
Всхожесть	$50,97 \pm 1,07^{*^{\wedge}}$	12,50	$55,16 \pm 1,45^{*^{\wedge}}$	15,76	$60,94 \pm 1,14$	11,20

* – различия между контрольным и опытными участками статистически достоверны ($p \leq 0,05$); ^ – различия между опытными участками статистически достоверны ($p \leq 0,05$).

* – differences between control and experimental plots are statistically significant ($p \leq 0.05$); ^ – differences between the experimental plots are statistically significant ($p \leq 0.05$).

Таблица 3

Митотический индекс и доля нормальных митозов у проростков сосны обыкновенной в исследуемых районах

Table 3

Mitotic index and proportion of normal mitoses in Scots Pine seedlings in the studied plots

Участок / Plot	Просмотрено клеток, шт. / Number of viewed cells, pcs	Просмотрено митозов, шт. / Number of viewed cells, pcs	Средняя частота аномальных митозов на 1 проросток, % / Average frequency of abnormal mitoses per 1 seedling, %	Митотический индекс, % / Mitotic index, %
			$x \pm m, \%$	$x \pm m, \%$
Контрольный участок	7091	1280	$13,46 \pm 2,21$	$181,04 \pm 1,397$
Опытный участок 1	7668	1122	$15,13 \pm 3,00$	$174,75 \pm 1,401^{*^{\wedge}}$
Опытный участок 2	7427	921	$18,22 \pm 2,95$	$124,22 \pm 0,9^{*^{\wedge}}$

* – различия между контрольным и опытными участками статистически достоверны ($p \leq 0,05$); ^ – различия между опытными участками статистически достоверны ($p \leq 0,05$).

* – the differences between the control and experimental areas are statistically significant ($p \leq 0.05$); ^ – differences between experimental areas are statistically significant ($p \leq 0.05$).

контролем не носили статистически достоверного характера.

Заключение

Негативное влияние выбросов Саяногорского алюминиевого завода на сосну обыкновенную проявилось в уменьшении значений репродуктивных органов (размеров и массы шишек), снижении показателей всхожести и энергии прорастания, достоверном увеличении частоты некрозов хвои на опытных участках в сравнении с контролем.

Цитогенетический анализ выявил достоверное снижение митотической активности клеток апикальной меристемы у сосны обыкновенной на опытных участках в сравнении с контролем. Отмечена тенденция к увеличению частоты аномальных митозов у сосны обыкновенной на участках, близких к заводу. Все это свидетельствует об отрицательном воздействии загрязняющих веществ на активность деления и стабильность хромосомного аппарата клеток.

Список литературы / References

1. Шалак Т. В. *История развития алюминиевой промышленности Восточной Сибири (1950–1980 гг.)*: Автореф. дис. ... канд. истор. наук. Иркутск; 2004. 30 с.
Shalak T.V. *History of the development of the aluminum industry in Eastern Siberia (1950–1980)*. Abstr. ... Diss. Cand. Sci., Irkutsk; 2004. 30 p. (In Russ.)
2. Матевосова К.Л., Грязнова В.А., Чазов Т.К. Экологические проблемы и устойчивое развитие алюминиевой промышленности. *Отходы и ресурсы*. 2019;6(2): 1–17. <https://doi.org/10.15862/11ECOR219>
Matevosova K.L., Gryaznova V.A., Chazov T.K. Environmental problems and sustainable development of aluminum industry. *Russian journal of resources, conservation and recycling*. 2019;6(2):1–17. (In Russ.) <https://doi.org/10.15862/11ECOR219>
3. Ковылина О.П., Зарубина И.А., Ковылин А.Н. Оценка жизненного состояния сосны обыкновенной в зоне техногенного загрязнения. *Хвойные бореальной зоны*. 2008;25(3–4):284–289.
Kovylyina O.P., Zarubina I.A., Kovylin A.N. Assessment of the vital state of Scots pine in the zone of technogenic pollution. *Conifers of the Boreal area*. 2008;25(3–4): 284–289. (In Russ.)
4. Алексеева А.Н. *Pinus sylvestris* L. как индикатор окружающей природной среды города Красноярска. *Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии*. 2020;19(2):173–176. <https://doi.org/10.14258/pbssm.2020097>
Alekseeva A.N. *Pinus sylvestris* L. as an indicator of the natural environment of the city of Krasnoyarsk. *Problems of botany of Southern Siberia and Mongolia*. 2020; 19(2):173–176. (In Russ.) <https://doi.org/10.14258/pbssm.2020097>
5. Тарчевский В.В. Влияние дымо-газовых выделений промышленных предприятий Урала на растительность. В кн.: *Растения и промышленная среда: сборник научных работ кафедры ботаники*. Свердловск: УрГУ; 1964. С. 5–69.
Tarchevsky V.V. The influence of smoke and gas emissions from industrial enterprises of the Urals on vegetation. In: *Plants and industrial environment: Collection of scientific works of the Department of Botany*. Sverdlovsk: Ural State University. 1964, pp. 5–69. (In Russ.)
6. Каницкая Л.В., Колмогоров А.В. Влияние газовых выбросов при производстве алюминия на состояние окружающей среды. *Успехи современного естествознания*. 2009;(8):17–18. [Прочитано 28.01.2022]. Доступно: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=14050>
Kanitskaya L.V., Kolmogorov A.V. The influence of gas emissions during aluminum production on the state of the environment. *Advances in current natural sciences*. 2009;(8):17–18. [Cited 28.01.2022] Available: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=14050> (In Russ.)
7. Сибгатулин В.Г., Шишацкий Н.Г. Красноярский алюминиевый завод: экологический фактор. *ЭКО*. 2018;(4):48–66. <https://doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2018-4-48-66>
Sibgatulin V.G., Shishatsky N.G. Krasnoyarsk aluminum smelter: environmental factor. *ECO*. 2018;(4):48–66. (In Russ.)
8. Likus-Cie J., Socha J., Gruba P., Pietrzykowski M. The current state of environmental pollution with sulfur dioxide (SO₂) in Poland based on sulfur concentration in Scots pine needles. *Environmental Pollution*. 2020;258: 113559. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113559>
9. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) намечаемой деятельности АО «РУСАЛ Саяногорск». Книга 1. Предварительный вариант материалов ОВОС. СПб.: РУСАЛ ИТЦ; 2019. 299 с. URL:https://ineca.ru/?dr=about&about=news/2019/8/03/505&docname=1_BOOK_1
Environmental impact assessment (EIA) of the planned activities of JSC RUSAL Sayanogorsk. Book 1. Preliminary version of EIA materials. St. Petersburg: RUSAL ETC; 2019. 299 p. (In Russ.) URL:https://ineca.ru/?dr=about&about=news/2019/8/03/505&docname=1_BOOK_1
10. Найденова Л.С., Епринцев С.А., Попов В.Н. Проведение цитогенетического мониторинга в г. Воронеже, используя древесные породы деревьев, на примере березы повислой (*Betula pendula* Roth). *Вестник Воронежского университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2008;(1):115–122.
Naydenova L.S., Eprintsev S.A., Popov V.N. Undertaking cytogenesis monitoring in Voronezh using wood sorts trees, on example of the birch (*Betula pendula*). *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2008;(1):115–122. (In Russ.)

11. Ашихмина Т.Я. *Экологический мониторинг*. М.: Академический Проект; Альма Матер; 2008. 416 с.
Ashikhmina T.Ya. *Environmental monitoring*. Moscow: Akademicheskii Proekt; Alma Mater; 2008. 416 p. (In Russ.)
12. Березкина М.Г. Мониторинг состояния городской среды при помощи сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) как основного биоиндикатора. В кн.: Черных Н.А. (ред.). *Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник научных трудов, Вып. 12*. М.: ИПЦ «Луч»; 2010. С. 217–222.
Berezkina M.G. Monitoring of urban environment using a pine ordinary (*Pinus sylvestris* L.) as a basic biological indicator. In: Chernykh N.A. (ed.). *The Urgent Ecological and Nature Management Problems, Issue 12: Coll. Res. Articles*. Moscow: Luch; 2010, pp. 217–222. (In Russ.)
13. Иванова Е.Ю. Оценка состояния атмосферного воздуха города Нововоронежа биологическими методами. *Вестник Воронежского университета. Серия. География. Геоэкология*. 2013;(1):157–162.
Ivanova E.Yu. Assessment of the state of atmospheric air in the city of Novovoronezh using biological methods. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*. 2013;(1):157–162. (In Russ.)
14. Рунова Е.М., Данишеск М.В., Чжан С.А., Пузанова О.А. Некоторые особенности всхожести семян сосны обыкновенной с плюсовых насаждений Иркутской области. *Системы. Методы. Технологии*. 2014; 22(2):183–186.
Runova E.M., Danishek M.V., Zhang S.A., Puzanova O.A. Some features of germinating power of Scots pine seeds from plus stands of Irkutsk region. *Systems. Methods. Technologies*. 2014;2(22):183–186. (In Russ.)
15. ГОСТ 13056-97 *Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести*. Дата введения 01.07.1998. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск: ИПК: Издательство стандартов; 1998. 27 с.
GOST 13056-97 *Seeds of trees and shrubs. Method for determining germination*. Date of introduction: 07/01/1998. Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification. Minsk: IPK; 1998. 27 p. (In Russ.)
16. Паушева З.П. *Практикум по цитологии растений*. М.: Агропромиздат; 1988. 271 с.
Pausheva Z.P. *Workshop on plant cytology*. Moscow: Agropromizdat; 1998. 271 p. (In Russ.)
17. Дончева Л.В., Казакова Л.К. *Ландшафтная индикация загрязнений природной среды*. М.: Экология; 1992. 256 с.
Doncheva L.V., Kazakova L.K. *Landscape indication of environmental pollution*. Moscow: Ekologiya; 1992. 256 p. (In Russ.)

Об авторах

ПАК Ирина Владимировна, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и генетики, <https://orcid.org/0000-0001-7038-2583>, ResearcherID: N-2972-2016, Scopus Author ID: 9266991500, SPIN: 1724-3783 e-mail: i.v.pak@utmn.ru

СЕМЕНОВА Марина Викторовна, кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры, <https://orcid.org/0009-0009-3738-1920>, ResearcherID: KFB-1384-2024, SPIN: 1357-3940, e-mail: m.s.semenova@utmn.ru

РЯБИКОВА Валентина Львовна, старший преподаватель кафедры ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры, <https://orcid.org/0009-0004-7382-282X>; ResearcherID: KFA-9404-2024, SPIN: 1246-0623, e-mail: v.l.ryabikova@utmn.ru

САГАЛАКОВА Виктория Викторовна, студент, e-mail: stu0000215666@utmn.ru

About the authors

PAK, Irina Vladimirovna, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Head of the Department of Ecology and Genetics, <https://orcid.org/0000-0001-7038-2583>, ResearcherID: N-2972-2016, Scopus Author ID: 9266991500, SPIN: 1724-3783, e-mail: i.v.pak@utmn.ru

SEMEANOVA, Marina Viktorovna, Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor of the Department of Botany, Biotechnology and Landscape Architecture, <https://orcid.org/0009-0009-3738-1920>, ResearcherID: KFB-1384-2024, SPIN: 1357-3940, e-mail: m.v.semenova@utmn.ru

RYABIKOVA, Valentina Lvovna, Senior Lecturer of the Department of Botany, Biotechnology and Landscape Architecture, <https://orcid.org/0009-0004-7382-282X>; ResearcherID: KFA-9404-2024, SPIN: 1246-0623 e-mail: v.l.ryabikova@utmn.ru

SAGALAKOVA, Victoria Victorovna, Student, e-mail: stud0000215666@study.utmn.ru

Поступила в редакцию / Submitted 30.11.2023

Поступила после рецензирования / Revised 27.09.2023

Принята к публикации / Accepted 03.03.2024