

УДК 581.5;630*181

<https://doi.org/10.25587/2222-5404-2025-22-4-14-25>

Оригинальная научная статья



Фитоиндикация загрязнения воздуха по приростам побегов сосны и лиственницы в районе полигона твердых коммунальных отходов г. Якутска

А. П. Исаев¹ ✉, Т. И. Алексеева², Т. А. Татаканова²

¹Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация

²Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,

г. Якутск, Российская Федерация

✉ alex_isaev@mail.ru

Аннотация

В статье приведены результаты исследования реакции светлохвойных пород, господствующих в таежном биоме Центральной Якутии, на загрязнение воздушной среды в окрестностях полигона твердых бытовых отходов г. Якутска (6-й км автотрассы «Виллюй»). В качестве тестовых объектов выбраны сосна обыкновенная и лиственница Каяндера, произрастающие в окрестностях городской свалки. По показателям величины приростов боковых побегов оценена чувствительность древесных растений к загрязнению воздуха. Целью исследования была оценка реакции сосны обыкновенной и лиственницы Каяндера на загрязнение воздушной среды, вызываемое городской свалкой. Для этого измерялась величина приростов боковых веток в 15–20-летней ретроспективе на разном удалении от свалки. Проведенные исследования показали, что средние приросты боковых побегов сосны обыкновенной по мере удаления от полигона постепенно увеличиваются на 8,7% с $6,01 \pm 0,35$ до $6,91 \pm 0,33$ см. У лиственницы Каяндера приросты показывают тренд на увеличение почти на 12% с $5,93 \pm 0,20$ до $7,11 \pm 0,20$. Таким образом, инструментально показано, что у обеих древесных пород с удаленностью от полигона заметно увеличивается прирост боковых побегов. Это с большой вероятностью свидетельствует о негативном влиянии полигона ТКО г. Якутска на ростовые процессы деревьев близлежащих лесных массивов. Полученные результаты также подтверждают эффективность выбранного метода фитоиндикации по годичным приростам деревьев. Его достоинствами являются ретроспективный характер, простота, наглядность и оперативность получения данных, малая инвазивность для деревьев, возможность легко формализовать и интерпретировать полученные данные.

Ключевые слова: город Якутск, полигон твердых коммунальных отходов, атмосферный воздух, загрязнение, погодные условия, фитоиндикация, сосна, лиственница, боковые побеги, годичные приросты

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки

Для цитирования: Исаев А. П., Алексеева Т. И., Татаканова Т. А. Фитоиндикация загрязнения воздуха по приростам побегов сосны и лиственницы в районе полигона твердых коммунальных отходов г. Якутска. *Вестник СВФУ*. 2025, Т. 22, № 4. С. 14–25. DOI: 10.25587/2222-5404-2025-22-4-14-25

Original article

Phytoindication of air pollution near the city dump of Yakutsk by the growth of pine and larch shots

Alexander P. Isaev¹ ✉, Tatyana I. Alekseeva², Alexandra A. Tatkanova²

¹Institute for Biological Problems of Cryolithozone of the SB of the RAS,
Yakutsk, Russian Federation

²M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

✉ alex_isaev@mail.ru

© Исаев А. П., Алексеева Т. И., Татаканова Т. А., 2025

Abstract

This article presents the results of a study examining the response of light coniferous trees, dominant in the taiga biome of Central Yakutia, to air pollution in the vicinity of the Yakutsk municipal solid waste landfill (6 km of the Vilyuy highway). Scots pine and Cajander larch, growing near the municipal landfill, were selected as test specimens. The sensitivity of woody plants to air pollution was assessed using lateral shoot growth. The aim of the study was to evaluate the response of Scots pine and Cajander larch to air pollution caused by the municipal landfill. To this end, lateral branch growth was measured over a 15-20-year period at various distances from the landfill. The conducted studies showed that the average lateral shoot growth of Scots pine gradually increased by 8.7% with distance from the landfill, from 6.01 ± 0.35 to 6.91 ± 0.33 cm. For Cajander larch, growth showed a trend of increasing by almost 12%, from 5.93 ± 0.20 to 7.11 ± 0.20 . Thus, instrumental analysis demonstrated that lateral shoot growth significantly increases with distance from the landfill for both tree species. This highly likely indicates a negative impact of the Yakutsk municipal solid waste landfill on the growth of trees in nearby forests. The obtained results also confirm the effectiveness of the chosen phytoindication method based on annual tree growth. Its advantages include its retrospective nature, simplicity, clarity, and speed of data collection, low invasiveness for trees, and the ability to easily formalize and interpret the obtained data.

Keywords: City of Yakutsk, solid municipal waste polygon, atmospheric air, pollution, weather conditions, phytoindication, pine, larch, lateral shoots, annual growths

Funding. No funding was received for writing this manuscript

For citation: Isaev A. P., Alekseeva T. I., Tatakanova A. A. Phytoindication of air pollution near the city dump of Yakutsk by the growth of pine and larch shoots. *Vestnik of NEFU*. 2025, Vol. 22, No. 4. Pp. 14–25. DOI: 10.25587/2222-5404-2025-22-4-14-25

Введение

Принципы индикации условий среды с помощью растений (фитоиндикация) были предложены еще российским ботаником Л. Г. Раменским [1]. Этот метод основан на ответной реакции видов растений, чувствительных к отдельным факторам, содержанию или накоплению вредных веществ [2–4]. Для биоиндикации атмосферного воздуха используется большой арсенал методов [5–8]. Тестовыми объектами при этом могут быть различные виды растений [9–11]. В качестве индикаторов загрязнения воздуха часто используются лишайники [11], листовенные [7, 8, 12, 13], хвойные деревья [14, 15], в частности сосна обыкновенная [16], формируемые ими сообщества [17–18], состояние фотосинтетических пигментов [19], уровень флуктуирующей асимметрии листьев [7–8] и т. д. Разнообразие научных подходов характерно и для работ иностранных ученых [20–22].

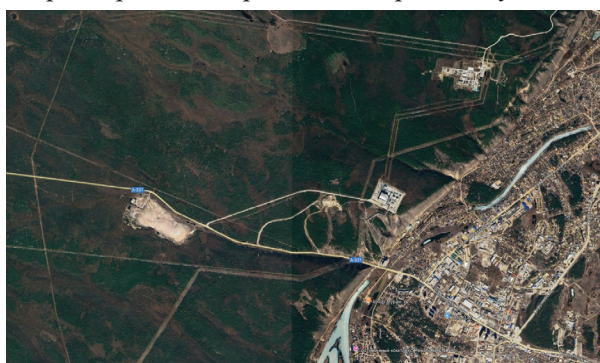


Рис. 1. Полигон твердых коммунальных отходов г. Якутска. GoogleEarth

Fig. 1. Yakutsk solid municipal waste polygon. GoogleEarth



Рис. 2. Возгорание на полигоне твердых коммунальных отходов г. Якутска
Fig. 2. Fire at the Yakutsk solid municipal waste polygon

В окрестностях г. Якутска основными загрязняющими воздушную среду антропогенными факторами выступают автотранспорт, ТЭЦ, ГРЭС, ДСК, жилой сектор и т. д. Крупным источником загрязнения является полигон твердых коммунальных отходов (ТКО) города [23], где ежегодно происходит самовозгорание мусора и шлейф дыма направляется в сторону г. Якутска (рис. 1).

Целью исследования была оценка реакции сосны обыкновенной и лиственницы Каяндера на загрязнение воздушной среды, вызываемое городской свалкой. Для этого измерялась величина приростов боковых веток в 15–20-летней ретроспективе, вычисленная по мутовкам у сосны и кольцеобразным рубцам (утолщениям) у лиственницы. Для идентификации годовичных приростов и интерпретации полученных результатов измерений руководствовались методическими указаниями А. А. Корчагина [24] и А. А. Молчанова, В. В. Смирнова [25].

Исследования проведены в окрестностях полигона твердых коммунальных отходов (ТКО) г. Якутска.

Участок полигона ТКО «Городской полигон г. Якутска» окружен со всех сторон сосновыми и лиственничными лесами [26]. В связи с этим мы изучали воздействие полигона на лесные массивы, сформированные этими древесными породами. Объектами исследования явились сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и лиственница Каяндера (*Larix cajanderi*).

Материал и методы

Исследования проводились на основе методических рекомендаций по изучению побегов хвойных пород [24, 25]. У сосны обыкновенной годовичные приросты ограничены мутовками, которые хорошо видны, даже если не сохранились веточки следующего порядка [27]. Это облегчает датировку каждого прироста за несколько лет ретроспективы.

Для изучения влияния полигона на рост растений в качестве тестовых объектов выбрали сосну обыкновенную и лиственницу Каяндера, произрастающие в окрестностях полигона ТКО г. Якутска (Вилуйский тракт). С учетом розы ветров выбрано 3 участка: 1-й участок непосредственно вблизи от полигона (0 м); 2-й участок в 500 м юго-восточнее; 3-й участок в 1000 м юго-восточнее. На каждом участке отобрано по 10 спелых деревьев. С каждого дерева с высоты примерно 5 м с помощью садового секатора срезаны по 5 боковых веток с каждой стороны света, на которых ретроспективно дифференцировано примерно по 10–15 и более годовичных приростов – в зависимости от темпов роста это были ветки 20–40 см длиной.

С верхушки бокового побега измерена величина годового прироста с помощью рулетки по имеющимся мутовкам начиная с концевой по схеме: 2022 г., 2021, 2020 гг. и т. д. У сосны обыкновенной хорошо видны приросты по мутовкам. Расстояние между мутовками и является величиной прироста [24, 25]. Обычно на боковых побегах сосны довольно безошибочно вычленялись приросты 10 и более предыдущих лет. Длина реконструированной хронологии составляла в среднем 18 лет, максимальная – 22 года. Легко можно замерить величину прироста побегов также и у лиственницы. Приросты у нее четко выделяются по годовым кольцевым рубчикам на ветках [24, 28]. Обычно у лиственницы так же, как у сосны на боковых побегах хорошо видны приросты за 10, реже 15 и более лет.

Результаты и обсуждение

На 3 выбранных участках проведено определение средних показателей величины прироста боковых побегов сосны обыкновенной и лиственницы Каяндера по годам и в среднем за ряд лет (табл. 1).

Таблица 1

Средние показатели величины прироста боковых побегов сосны обыкновенной и лиственницы Каяндера (см) на разном удалении (м) от полигона ТКО г. Якутска

Table 1

Average growth rates of lateral shoots of Scots pine and Cajander larch (cm) at different distances (m) from the solid waste landfill in Yakutsk

Годы	Средняя длина годовичного прироста, см					
	Сосна – <i>Pinus silvestris</i>			Лиственница – <i>Larix cajanderi</i>		
	0 м	500 м	1000 м	0 м	500 м	1000 м
2001		4,01	5,17		5,98	7,69
2002		3,28	5,48		6,00	7,29
2003		5,38	4,53	3,78	6,06	6,30
2004		5,73	4,22	4,69	5,00	5,60
2005		6,24	5,22	5,23	6,65	7,42
2006	3,44	5,26	5,91	5,47	5,75	6,94
2007	3,41	7,31	6,59	4,10	5,97	6,72
2008	6,17	7,04	5,70	5,64	5,62	7,71
2009	5,81	6,62	6,68	5,10	6,22	6,14
2010	6,26	7,93	6,47	5,30	6,51	7,98
2011	5,04	6,96	7,90	5,74	5,55	8,06
2012	8,30	6,76	7,56	6,27	6,39	7,80
2013	5,86	5,42	7,19	4,10	6,80	7,93
2014	3,60	8,43	9,17	5,63	7,45	7,60
2015	7,31	6,24	9,04	6,80	7,66	8,20
2016	7,86	7,68	9,12	5,60	7,21	7,10
2017	6,30	8,52	9,83	6,51	6,98	7,60
2018	6,10	9,02	6,8	6,87	7,33	8,31
2019	6,50	9,81	7,68	4,20	7,60	8,20
2020	6,91	9,26	7,61	6,21	7,80	7,11
2021	6,26	7,93	7,54	4,90	8,10	8,90
2022	7,05	6,00	6,55	5,02	8,50	10,20
M±m	6,0±0,4	6,9±0,4	6,9±0,3	5,9±0,2	7,0±0,2	7,1±0,2

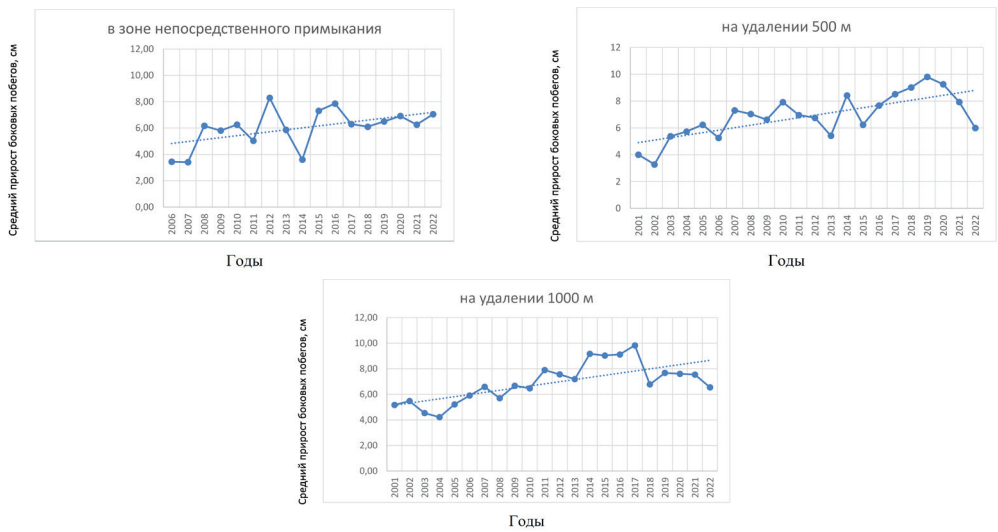


Рис. 3. Величина годичных приростов боковых побегов сосны обыкновенной на разном удалении от полигона ТКО г. Якутска в 2001-2022 гг.

Fig. 3. The size of annual growth of lateral shoots of Scots pine at different distances from the Yakutsk solid municipal waste polygon in 2001-2022

Фитоиндикация загрязнения воздуха. Измерения значений приростов боковых побегов сосны показали, что средние их приросты по мере удаления от полигона постепенно увеличиваются на 8,7% с $6,01 \pm 0,35$ до $6,91 \pm 0,33$ см (рис. 3), коэффициент вариации составил 7,63%. У лиственницы Каяндера приросты также показывают тренд на увеличение почти на 12% с $5,93 \pm 0,20$ до $7,11 \pm 0,20$ (рис. 4), коэффициент вариации составил 9,73%. То есть инструментально показано, что у обеих древесных пород с удаленностью от полигона заметно увеличивается прирост боковых побегов.

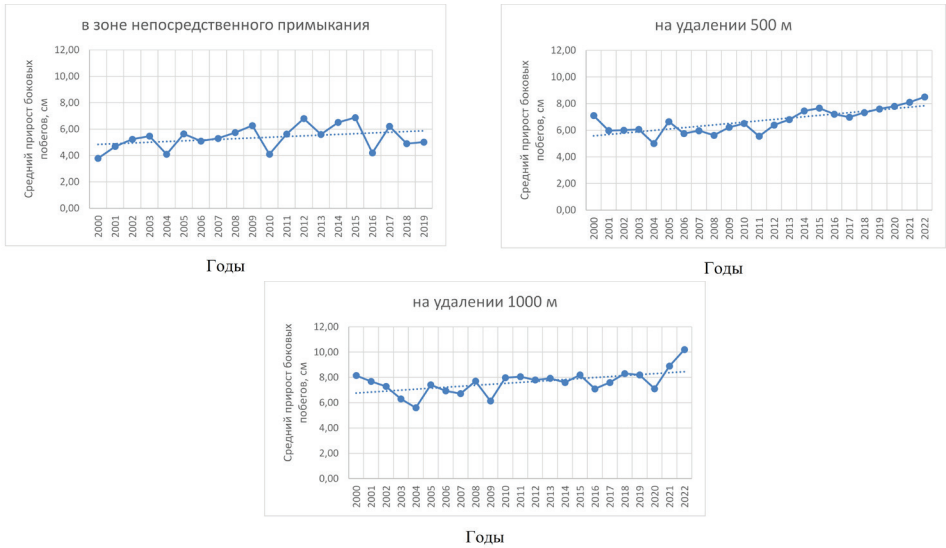


Рис. 4. Величина приростов боковых побегов лиственницы Каяндера в разных зонах воздействия полигона ТКО г. Якутска в 2001-2022 гг.

Fig. 4. The growth rate of lateral shoots of Cajander larch in different impact zones of the Yakutsk municipal solid waste landfill in 2001-2022

Таблица 2

Влияние среднемесячных температур воздуха на прирост боковых побегов сосны обыкновенной на разном удалении (м) от полигона ТКО г. Якутска

Table 2

The influence of average monthly air temperatures on the growth of lateral shoots of Scots pine at different distances (m) from the solid municipal waste landfill in Yakutsk

Расстояние до полигона	Коэффициент корреляции											
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
0	0,3	0,5	0,3	0,3	-0,1	0,3	0,2	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,4
500	0,3	0,3	0,3	0,5	0,4	0,3	-0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	-0,1
1000	0,2	0,4	0,6	0,4	0,3	0,3	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,1

При этом для обеих древесных пород критичным является непосредственное примыкание к территории полигона (расстояние 0 м), а показатели приростов на участках, удаленных на 500 и 1000 м, практически не отличаются друг от друга – средний показатель ежегодного прироста составляет 6,9–7,0 см. Это может свидетельствовать о том, что негативное воздействие свалки на прирост сосны обыкновенной и лиственницы Каяндера нивелируется на расстоянии до 500 м.

Фитоиндикация погодных условий. Чтобы удостовериться в полученных данных фитоиндикационной оценки приростов дополнительно исследовано влияние климатических показателей на величину прироста. Для этого изучена связь этих показателей в разных условиях среды (разное удаление от полигона ТКО). Показатели температуры воздуха заметно влияют на приросты сосны обыкновенной на удалении 500–1000 м. Коэффициент корреляции в основном имеет положительный знак, значимые показатели лежат в пределах $r=0,4–0,6$ (табл. 2). Вблизи полигона чувствительность сосны на воздействие температуры не столь видна, в то время как воздействие загрязнения воздуха было очевидно. Это с высокой степенью вероятности указывает на превалирование вблизи полигона ТКО антропогенного влияния на прирост боковых побегов сосны.

Анализ данных (табл. 3) показал практически полное отсутствие влияния осадков на приросты боковых побегов на удалении от полигона свыше 500 м, в то время как у самого полигона выявлена заметная связь с суммами осадков за вегетационный период и за год – $r=0,6$.

Таблица 3

Влияние суммы осадков на прирост боковых побегов сосны обыкновенной на разном удалении от полигона ТКО г. Якутска

Table 3

The influence of precipitation on the growth of lateral shoots of Scots pine at different distances from the solid waste landfill in Yakutsk

Расстояние до полигона, м	Коэффициент корреляции											
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
0	0,1	0,6	0,0	0,1	0,0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,1	-0,2	-0,3	0,2
500	0,3	0,2	0,2	0,4	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,2	-0,2	0,2
1000	0,1	0,3	0,0	0,2	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,2	0,2

Микроклимат, формируемый непосредственно вокруг полигона ТКО, заметно влияет на приросты сосны обыкновенной. Сосна на высокой террасе вблизи городской свалки растет в сухих условиях на подстилаемых песками почвах. Она в целом мало реагирует на изменения режима осадков, так как влага дренирует и не задерживается. В измененных условиях окрестностей полигона осадки начинают играть более значимую роль. Увеличение количества осадков снижает величину прироста сосны. Это может быть объяснено положительным воздействием задымления на ростовые процессы растений из-за увеличения поступления углекислого газа – основного компонента фотосинтеза растений. Подтверждением этого является более быстрый рост сосны в толщину вблизи изучаемого полигона ТКО, где в 25-летнем возрасте сосны достигают толщины 25–30 см при высоте всего 3–5 м.

Результаты исследования роста лиственницы свидетельствуют, что показатели температуры воздуха заметно влияют на приросты боковых побегов лиственницы Каяндера на удалении 500–1000 м. Коэффициент корреляции в целом имеет положительный знак, значимые показатели лежат в основном в пределах $r=0,4-0,6$ (табл. 4). Вблизи полигона воздействие температуры не столь очевидно, что указывает на определенную чувствительность лиственницы к температурным показателям года.

Таблица 4

Влияние среднемесячных температур на прирост боковых побегов лиственницы Каяндера на разном удалении от полигона ТКО г. Якутска

Table 4

The influence of average monthly temperatures on the growth of lateral shoots of Cajander larch at different distances from the solid waste landfill in Yakutsk

Расстояние до полигона	Коэффициент корреляции											
	январь	февраль	март	Апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
0	0,3	0,4	0,2	0,0	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1
500	0,1	0,6	0,1	0,2	0,1	0,5	0,2	0,0	0,1	0,4	0,2	0,1
1000	-0,1	0,5	0,0	-0,1	0,3	0,5	0,4	0,3	-0,4	0,5	0,1	0,1

Таблица 5

Влияние суммы осадков (мм) на прирост боковых побегов лиственницы Каяндера (см) на разном удалении от полигона ТКО г. Якутска

Table 5

The influence of precipitation amount (mm) on the growth of lateral shoots of Cajander larch (cm) at different distances from the solid waste landfill in Yakutsk

Расстояние до полигона, м	Коэффициент корреляции											
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
0	0,2	0,2	0,1	0,4	-0,4	0,1	-0,5	-0,1	-0,3	0,0	-0,3	0,0
500	0,0	0,3	-0,1	0,4	0,1	0,1	0,0	-0,2	-0,1	0,1	-0,2	0,5
1000	-0,1	0,2	-0,3	0,4	0,0	0,1	-0,2	0,0	0,0	0,1	-0,1	0,3

Осадки на приросты лиственницы влияют так же, как и на сосну. Корреляционный анализ данных (табл. 5) показал отсутствие влияния суммы осадков на удалении от полигона свыше 500 м, в то время как у самого объекта это влияние становится ощутимым – $r=0,5$.

Заключение

Таким образом, показано влияние загрязнения воздуха полигона ТКО г. Якутска на величину годового прироста боковых побегов сосны и лиственницы. Средние приросты боковых побегов этих древесных пород по мере удаления от полигона твердых коммунальных отходов г. Якутска постепенно увеличиваются на 8,7–12%. При этом для обеих древесных пород критичным является непосредственное примыкание к территории полигона, а негативное воздействие свалки на прирост сосны обыкновенной и лиственницы Каяндера нивелируется на расстоянии до 500 м.

Исследования величины годовичных приростов боковых побегов сосны и лиственницы подтвердили эффективность фитоиндикации загрязнения воздуха по величине приростов и изучения влияния климатических параметров на ростовые процессы сосны обыкновенной и лиственницы Каяндера, произрастающих в условиях Центральной Якутии. Метод вполне перспективен и в отношении других древесных пород, у которых хорошо фиксируются ежегодные приросты боковых побегов. В условиях Якутии это – лиственницы Гмелина и сибирская (*Larix gmelinii*, *L. sibirica*), сосна кедровая (*Pinus sibirica*), кедровый стланик (*Pinus pumila*), ели сибирская и аянская (*Picea obovata*, *P. ajanensis*), древовидные березы (*Betula* s.l.) и т. д. Достоинствами метода являются его ретроспективный характер, относительная простота, наглядность и оперативность получения данных, малая инвазивность для деревьев, возможность легко формализовать и интерпретировать полученные результаты измерений.

Л и т е р а т у р а

1. Раменский Л.Г. *Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель*. Москва: Сельхозгиз; 1938:620.
2. Aghayev TD, Abdulov KSh, Suleymanli DQ. Climate change and air pollution states of industrial cities. *Scientific News. Series for Natural and Technology Sciences*. 2024;24(1):51-56. DOI 10.54758/16801245202424157
3. Мещеряков И.М. Источники загрязнения атмосферного воздуха города Волгограда. *Наука и молодёжь: новые идеи и решения: материалы XVIII Международной научно-практической конференции молодых исследователей*, Волгоград, 20–22 марта 2024 года. Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет; 2024:43-45.
4. Мальцева В.С., Юшин В.В. Экологические проблемы крупных городов на примере Курска. *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии*. 2016;18(1):36-41.
5. Бозшатаева Г.Т., Касымбекова А.И., Оспанова Г.С. и др. Использование биоиндикаторов для оценки состояния атмосферного воздуха. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2017;12-2:302-306.
6. Агапов А.И. Фитоиндикация загрязнения воздуха в городе Челябинске. *Горизонты цивилизации*. 2020;11(1):28-40.
7. Федорова Д.Г., Укенов Б.С. Флуктуирующая асимметрия листьев рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.) как биоиндикатор аэротехногенного загрязнения города Оренбурга. *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки*. 2023;(4):103-114. DOI 10.5922/gikbfu-2023-4-8.
8. Шадрина Е.Г., Солдатов В.Ю. Оценка здоровья среды по величине флуктуирующей асимметрии древесных растений: анализ возможных причин искажения результатов.

Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2023;(7):29-38. DOI 10.31857/S1026347023600243.

9. Минина Н.Н., Валмахметов А.И., Филипов Е.Л. Анализ загрязнения воздуха города Уфа на примере различных растений. *Colloquium-Journal.* 2020;30-2(82):6-10.

10. Романкина М.Ю., Махамеджанова М.А., Иванова Е.Н. Биоиндикация загрязнений атмосферного воздуха по состоянию древесных растений в парках в условиях города Мичуринска Тамбовской области. *Тенденции развития науки и образования.* 2021;79(1):101-102. DOI 10.18411/trnio-11-2021-33.

11. Назарова Н.М. Оценка фитоиндикационного потенциала *Syringa vulgaris* L. В зонах с разным уровнем техногенного загрязнения (на примере промышленного района г. Оренбурга). *Грозненский естественнонаучный бюллетень.* 2022;74(30):98-104. DOI 10.25744/genb.2022.42.54.013.

12. Алиева А.А., Казиахмедова Д.К. Оценка состояния атмосферного воздуха в городе Махачкале на основе лишеноиндикации. *Современные проблемы науки и образования: материалы научной сессии профессорско-преподавательского состава ДГПУ: в 3-х частях, Махачкала, 28–29 апреля 2008 года.* Ч. 3. Махачкала: Дагестанский государственный педагогический университет; 2008:77-78.

13. Назарова Н.М. К вопросу о перспективности использования *Syringa vulgaris* L. в качестве вида-биоиндикатора техногенного загрязнения урбосреды г. Оренбурга. *Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России: Сборник статей XVII Международной научно-практической конференции, Пенза, 24–25 января 2019 года.* Пенза: Пензенский государственный аграрный университет; 2019:129-133.

14. Давлеткулов Д.И. Хвойные растения в условиях городской среды. *Информационное обеспечение научно-технического прогресса: анализ проблем и поиск решений: сборник статей Международной научно-практической конференции, Киров, 25 мая 2021 года.* Уфа: Аэтерна; 2021:13-16.

15. Блюхерова Ю.С., Волкова И.В., Урумбаева А.Ж. и др. Хвойные деревья как биоиндикаторы состояния атмосферного воздуха города. *Актуальные решения проблем водного транспорта: Сборник материалов I Международной научно-практической конференции, Астрахань, 28 апреля 2022 года.* Астрахань: ИП Сорокин Роман Васильевич; 2022:109-114.

16. Илларионова М.И., Коновалов А.М. Биологическая индикация загрязнения воздуха на основе комплекса характеристик сосны обыкновенной. *Global issues Forum 2024: Veterinary Medicine, Biology, Biotechnology, Zootechnology, Pedagogical and Philological Sciences, November 05-08, 2024;* 2024:207-209

17. Барбашенко Г.М., Шонин М.Ю., Горбунова Н.В. и др. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды Верхнеуральского муниципального района Челябинской области. *Молодой ученый.* 2020;298(8):58-61.

18. Шахринова Н.В., Сафиуллин Д.Ф. Оценка состояния лесных экосистем Аскинского района Республики Башкортостан. *Молодой ученый.* 2022;418(23):630-632.

19. Сытников Д.М., Кучерик Г.В., Омельчук Ю.А. Фотосинтетические пигменты *Pinus pallasiana* D. Don в оценке качества городской среды. *Естественные и технические науки.* 2023;179(4):86-88.

20. Nouchi I. Plants as Bioindicators of Air Pollutants. *Air Pollution and Plant Biotechnology.* Tokyo: Publishing House "Springer"; 2002;41-60 https://doi.org/10.1007/978-4-431-68388-9_2

21. Alaa Z, Saber M, Samir G, Fikry A. Biological indicators for pollution detection in terrestrial and aquatic. *Bulletin of the National Research Centre.* 2020:44

22. Malizia D, Giuliano A, Ortaggi G, Masotti A (2012) Common plants as alternative analytical tools to monitor heavy metals in ecosystem. *Chem Cent J*; 2012;6:1–10

23. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) в 2020 г. URL: <https://megavtogonal.com/doklady/gosudarstvennyj-doklad-o->

sostoyanii-i-ohrane-okruzhayuschej-sredy-respubliki-saha-yakutiya-v-2020-godu.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (Дата обращения:10.07.25)

24. Корчагин А.А. Определение возраста деревьев умеренных широт. *Полевая геоботаника*. Москва; Ленинград: Изд-во АН СССР; 1960;II:209-240.

25. Молчанов А.А., Смирнов В.В. *Методика изучения прироста древесных растений*. Москва: Наука; 1967:95.

26. Якутск: атлас города. Якутск: Якутское аэрогеодезическое предприятие; 2003:144.

27. Правдин Л.Ф. *Сосна обыкновенная: Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция*. Москва: Наука; 1964:191.

28. Дылис Н.В. *Сибирская лиственница*: Материалы к систематике, географии и истории. Москва: Моск. общ-во испытателей природы; 1947:138.

References

1. Ramensky LG. *Introduction to Integrated Soil-Geobotanical Land Survey*. Moscow: Publishing House "Sel'hozgiz"; 1938:620 (in Russian).

2. Aghayev TD, Abdulov KSh, Suleymanli DQ. Climate change and air pollution states of industrial cities. *Scientific News. Series for Natural and Technology Sciences*. 2024;24(1):51-56. (in English). DOI 10.54758/16801245202424157.

3. Meshcheryakov IM. Sources of atmospheric air pollution in Volgograd. *Nauka i molodyozh': novye idei i resheniya* : Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference of Young Researchers, Volgograd, March 20–22, 2024. Volgograd: Volgograd State Agricultural University; 2024:43-45 (in Russian).

4. Mal'ceva VS, Yushin VV. Environmental problems of large cities on the example of Kursk. *Proceedings of the South-West state university. Technics and technologies = Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tehnika i tehnologii*: 2016;1(18):36-41 (in Russian).

5. Bozshataeva GT. Use of bioindicators for assessing atmospheric air condition. *International journal of applied and fundamental research*: 2017;12(2):302-306 (in Russian).

6. Agapov AI. Phytoindication of air pollution in Chelyabinsk. *Gorizonty civilizacii*: 2020;1(11):28-40 (in Russian).

7. Fedorova DG, Ukenov BS. Fluctuating asymmetry of common rowan (*Sorbus aucuparia* L.) leaves as a bioindicator of aerotechnogenic pollution in Orenburg. *IKBFU's Vestnik. Series: Natural and Medical Sciences*: 2023;4: 103-114. DOI 10.5922/gikbfu-2023-4-8 (in Russian).

8. Shadrina EG, Soldatova VYu. Assessment of environmental health by the fluctuating asymmetry of woody plants: analysis of possible causes of result distortion. *The Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Biology Bulletin*: 2023;7:29-38. DOI 10.31857/S1026347023600243. (in Russian).

9. Minina NN, Valmakhmetov AI, Filipov EL. Analysis of air pollution in Ufa using various plants as an example. *Colloquium-Journal*: 2020;30-2(82): 6-10 (in Russian).

10. Romankina Myu, Makhamedzhanova MA, Ivanova EN. Bioindication of atmospheric air pollution by the state of woody plants in parks in Michurinsk, Tambov region. *Tendencii razvitiya nauki i obrazovanija*: 2021;79-1:101-102. DOI 10.18411/trnio-11-2021-33 (in Russian).

11. Nazarova NM. Assessment of the phytoindication potential of *Syringa vulgaris* L. in areas with different levels of technogenic pollution (on the example of the industrial district of Orenburg). *Grozny Natural Science Bulletin*: 2022; 7:4(30):98-104 DOI 10.25744/genb.2022.42.54.013 (in Russian).

12. Alieva AA, Kaziakhmedova DK. Assessment of atmospheric air condition in Makhachkala based on lichen indication. *Modern Problems of Science and Education*: Proceedings of the Scientific Session of the Teaching Staff of DGPI: in 3 parts, Makhachkala, April 28–29, 2008. Vol. 3. Makhachkala: Dagestan State Pedagogical University; 2008:77-78 (in Russian).

13. Nazarova NM. On the prospect of using *Syringa vulgaris* L. as a bioindicator species

for technogenic pollution of the urban environment of Orenburg. *Ecological Efficiency and Sustainable Regional Development in Russia: Collection of Articles of the XVII International Scientific and Practical Conference*, Penza, January 24–25, 2019. Penza: Penza State Agricultural University; 2019:129-133 (in Russian).

14. Davletkulov DI. Coniferous plants in the urban environment. *Information Support of Scientific and Technical Progress: Analysis of Problems and Search for Solutions: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference*, Kirov, May 25, 2021. Ufa: Publishing House “Aeterna”; 2021:13-16 (in Russian).

15. Blyucherova YuS, Volkova IV, Urumbaeva AZh, et al. Coniferous trees as bioindicators of the state of urban atmospheric air. *Current Solutions to Water Transport Problems: Collection of Materials of the I International Scientific and Practical Conference*, Astrakhan, April 28, 2022. Astrakhan: Published by Sorokin Roman Vasilyevich; 2022:109-114 (in Russian).

16. Illarionova MI, Konovalov AM. Biological indication of air pollution based on the complex of characteristics of Scots pine. *Global issues Forum 2024: Veterinary Medicine, Biology, Biotechnology, Zootechnology, Pedagogical and Philological Sciences*, November 05-08, 2024; 2024:207-209 (in Russian).

17. Barbashenko GM, Shonin MYu, Gorbunova NV, et al. Application of phytoindication in assessing environmental pollution in the Verkhneuralsky municipal district of the Chelyabinsk region. *Molodoy ucheniy*. 2020; 8(298): 58-61 (in Russian).

18. Shakhriyeva NV, Safiullin DF. Assessment of the state of forest ecosystems in the Askaniya district of the Republic of Bashkortostan. *Molodoy ucheniy*. 2022; 23(418): 630-632 (in Russian).

19. Sytnikov DM, Kucherik GV, Omel'chuk YuA. Photosynthetic pigments of *Pinus pallasiana* D. Don in assessing the quality of the urban environment. *Natural and Technical Sciences*. 2023; 4(179): 86-88 (in Russian).

20. Nouchi I. Plants as Bioindicators of Air Pollutants. *Air Pollution and Plant Biotechnology*. Tokyo: Publishing House “Springer”; 2002:41-60 (in English). https://doi.org/10.1007/978-4-431-68388-9_2

21. Alaa Z, Saber M, Samir G, Fikry A. Biological indicators for pollution detection in terrestrial and aquatic. *Bulletin of the National Research Centre*. 2020:44 (in English).

22. Malizia D, Giuliano A, Ortaggi G, Masotti A (2012) Common plants as alternative analytical tools to monitor heavy metals in ecosystem. *Chem Cent J*; 2012:6:1–10 (in English).

23. State Report on the Status and Protection of the Environment of the Republic of Sakha (Yakutia) in 2020. Available at: https://megavtogal.com/doklady/gosudarstvennyj-doklad-o-sostoyanii-i-ohrane-okruzhayuschej-sredy-respubliki-saha-yakutiya-v-2020-godu.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F [Accessed:10 July 2025] (in Russian).

24. Korchagin AA. Determining the age of trees in temperate latitudes. *Field Geobotany*. Moscow, Leningrad: USSR Academy of Science Publishing House;1960:2:209-240 (in Russian).

25. Molchanov AA, Smirnov VV. Methods for studying the growth of woody plants. Moscow: Publishing House “Nauka”;1967:95 (in Russian).

26. Yakutsk: Atlas of the city. Yakutsk: Publishing House “Yakut Aerogeodetic Enterprise”;2003:144 (in Russian).

27. Pravdin LF. Scots Pine: variability, intraspecific systematics and selection. Moscow: Publishing House “Nauka”; 1964:191 (in Russian).

28. Dylis NV. *Siberian Larch: materials on systematics, geography and history*. Moscow: Moscow Society of Naturalists Publishing House; 1947:138 (in Russian).

Сведения об авторах

ИСАЕВ Александр Петрович – д. б. н., г. н. с. Института биологических проблем криолитозоны СО РАН, обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН», г. Якутск, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0002-4488-0228>, E-9570-2016 WoS, Scopus 7101845572, e-mail: alex_isaev@mail.ru

АЛЕКСЕЕВА Татьяна Ивановна – магистрант, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Якутск, Российская Федерация, г. Якутск, e-mail: tanicos98@mail.ru

ТАТАКАНОВА Александра Андреевна – магистрант, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Российская Федерация, г. Якутск, e-mail: tatakanova.alya@bk.ru

About the authors

Alexander P. ISAEV – Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher Institute of Biological Problems of the Cryolithozone SB, Yakutsk, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-4488-0228>, E-9570-2016 WoS, Scopus 7101845572, e-mail: alex_isaev@mail.ru

Tatyana I. ALEKSEEVA – master's student, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation, e-mail: tanicos98@mail.ru

Alexandra A. TATAKANOVA – master's student, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation, e-mail: tatakanova.alya@bk.ru

Вклад авторов

Исаев А. П. – разработка концепции, научное руководство, ресурсное обеспечение исследования, интерпретация материалов, написание статьи

Татаканова А. А. – полевые исследования, камеральная обработка и интерпретация материалов

Алексеева Т. И. – полевые исследования, камеральная обработка и интерпретация материалов

Authors' contribution

Alexander P. Isaev – concept development, scientific supervision, research resource support, interpretation of materials, article writing

Alexandra A. Tatakanova – field research, office processing, and interpretation of materials

Tatyana I. Alekseeva – field research, office processing, and interpretation of materials

Конфликт интересов

Исаев Александр Петрович является членом редколлегии журнала *Вестник Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова*

Conflict of interests

Alexander P. Isaev is a member of editorial board of *Vestnik of North-Eastern Federal University*

Поступила в редакцию / Received 14.08.2025

Поступила после рецензирования / Revised 11.11.2025

Принята к публикации / Accepted 20.11.2025