

К. Тулешова*, А.К. Қали

Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан

*Автор для корреспонденции: tuleshova.kuralay@mail.ru

Сравнительное анатомическое исследование анатомических показателей листа сосны обыкновенной разного географического происхождения

Биоиндикация на основании состояния морфолого-анатомических показателей листьев растений является удобным способом для оценки состояния окружающей среды. Центральный Казахстан, включающий Карагандинскую и Улытаускую области, является регионом со значительными промышленными выбросами. Цель настоящего исследования — провести сравнительное исследование анатомических показателей листьев *Pinus sylvestris*, произрастающих в населенных пунктах Центрального Казахстана. Результаты показали, что максимальные показатели длины и ширины листа, толщины мезофилла обнаружены для г. Сатпаева, толщины эпидермиса листа — для г. Жезказгана, диаметра вместилищ — для г. Балхаша, длины проводящего пучка — для г. Караганды, ширины проводящего пучка — для г. Балхаша. Большая часть признаков варьировала на низком и среднем уровне, высокий коэффициент вариации был отмечен только для диаметра вместилищ (смоляных ходов) хвои сосны. Отмечено, что минимальные показатели анатомических структур хвои *Pinus sylvestris* обнаружены для промышленных населенных пунктов Центрального Казахстана: Караганды, Балхаша, Темиртау и Жезказгана, тогда как для с. Улытау и г. Сатпаева все значения были на среднем и высоком уровне. Полученные данные можно применять для биоиндикации с использованием зеленых насаждений.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris*, Центральный Казахстан, хвоя, анатомические показатели, биоиндикация, изменчивость.

Введение

Многие растения в процессе своего роста и развития сталкиваются с факторами окружающей среды, как биотическими, так и абиотическими. Реакция растительных организмов может проявляться на различных уровнях, в том числе отражаться на внутреннем строении отдельных клеток, тканей и органов [1, 2].

Удобным индикатором для многолетних растений выступают листовые пластины, которые хорошо реагируют на изменения степени освещения, доступной влаги, а также на антропогенные факторы, включая загрязнение атмосферы [3–5]. Так, описаны изменения анатомических показателей листа *Betula czerepanovii* в условиях техногенного загрязнения г. Мурманска [6]. Отмечена реакция листьев хвойных растений на промышленное загрязнение. Выявлено, что при увеличении атмосферного загрязнения снижаются размеры клеток проводящих и ассимиляционных тканей листа ели сибирской в условиях г. Кемерово [7], сосны сибирской и пихты сибирской в условиях г. Горно-Алтайска [8, 9], сосны обыкновенной в условиях г. Новокузнецка [10] и Санкт-Петербурга [11], сосны эльдерской в условиях г. Худжанжа [12]. При этом наблюдается увеличение толщины эпидермиса как усиление барьерных функций листьев, более короткими и широкими становятся смоляные ходы у хвойных культур.

Сосна обыкновенная — удобная культура для озеленения промышленных городов и проведения биоиндикации на морфологическом и анатомическом уровнях [13, 14].

Цель настоящей работы — проведение анализа изменений анатомического строения хвои *Pinus sylvestris* L. (семейство Хвойные — *Pinaceae*), произрастающей на территории Карагандинской области (Центральный Казахстан).

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлись листья сосны обыкновенной, собранной на территории Центрального Казахстана в 15 точках (табл. 1).

Точки отбора проб хвои сосны для проведения исследований

№ точки отбора пробы	Населенный пункт	Место отбора проб хвои
1	г. Жезказган	Площадь перед городским Акиматом
2	г. Жезказган	Парк Наурыз
3	г. Сатпаев	Сквер перед Акиматом
4	с. Улытау	Акимат, сквер
5	г. Караганда	Сортировка, Парк железнодорожников
6	г. Каркаралы	Городской парк
7	г. Каркаралы	Посадки возле Акимата
8	г. Караганда	Юго-Восток, Этнопарк
9	г. Караганда	Центральный парк культуры и отдыха
10	г. Караганда	Парк Победы
11	г. Темиртау	Парк Восток
12	г. Темиртау	Автостанция, сквер
13	г. Балхаш	Акимат, сквер
14	г. Балхаш	Районная прокуратура
15	г. Караганда	Майкудук, парк

Все точки отбора проб находились на равном расстоянии от автомобильных дорог и на территории промышленных населенных пунктов, тогда как с. Улытау являлось контролем, то есть территорией, на которой отсутствует техногенное загрязнение.

Свежий собранный материал хвои фиксировали в реактиве Страуса-Флеминга (глицерин:спирт 96 %:вода дистиллированная в соотношении 1:1:1) для обесцвечивания и размягчения. Поперечные срезы выполняли вручную с помощью медицинского скальпеля. Для каждой точки изготавливали не менее 10–15 препаратов. Исследовали полученные срезы на микроскопе «Биомед-4» с окулярами 10 ×, 20 ×, линзами 4 ×, 10 ×, измерение микропрепаратов осуществляли с помощью программы Altam Studio 10.1. Изучены следующие анатомические особенности хвои: толщина листа, длина листа, толщина эпидермиса, диаметр смоляного хода, толщина мезофилла в средней части, длина и ширина проводящего пучка.

Обработку фотографий проводили в программе Paint 10.1. Описание анатомических показателей проводили в соответствии с Н.Н. Егоровой [15] и В. Radovanovich с соавторами [16].

Расчет достоверности различия полученных результатов проводился с использованием критерия Манна–Уитни [17], высчитывали средние показатели признака ($M \pm m$) и коэффициент вариации (Cv).

Результаты и их обсуждение

Состояние хвои сосны обыкновенной является индикатором загрязнения и ухудшения состояния окружающей среды [8, 9, 12–14].

Анализ полученных данных (табл. 2, рис.) показал, что микроскопические показатели варьируют в зависимости от места произрастания.

По толщине листа максимальные показатели (4,67 мкм) были выявлены для образцов, собранных в г. Сатпаеве, в сквере около Акимата, минимальные (2,55 мкм) — для г. Жезказгана, площадь перед городским Акиматом. Данный признак варьировал от 3,33 до 49,3 %, причем максимальный коэффициент вариации отмечен для г. Сатпаева. Для длины хвои сосны максимальные значения (9,01 мкм) обнаружены также в г. Сатпаеве, в сквере около Акимата, тогда как минимальные (5,49 мкм) для городского парка Сортировки г. Караганды. Признак варьировал от 4,19 до 23,03%, причем максимальные коэффициенты обнаружены также для г. Сатпаева.

Признак толщина эпидермиса листа изменялся от 0,13 мкм (г. Балхаш, Районная прокуратура) до 0,22 мкм (г. Жезказган, парк Наурыз). Коэффициент вариации составил от 9,45 до 22,09 %, причем максимальные показатели отмечены для г. Жезказгана.

Диаметр смоляных ходов в листьях сосны изменялся от 0,19 мкм (парк Победы г. Караганды) до 0,89 мкм (сквер около Акимата г. Балхаша). Данный признак варьирует с максимальным размахом. Так, коэффициент вариации для листьев, собранных в районе Акимата г. Балхаша, составил 146,26 %, что значительно превышает варьирование остальных анатомических показателей.

**Анатомические показатели хвои сосны обыкновенной из разных точек сбора на территории
Центрального Казахстана**

№	Показатели	Толщина листа, мкм	Длина листа, мкм	Толщина эпидермиса, мкм	Диаметр вместилища, мкм	Толщина мезофилла, мкм	Длина проводящего пучка, мкм	Ширина проводящего пучка, мкм
1	M±m	2,55±0,09	5,75±0,13	0,21±0,02	0,24±0,02	0,81±0,33	3,22±0,09	1,23±0,09*
	Cv, %	11,11	6,66	22,09	29,44	122,08	8,05	22,71
2	M±m	5,68±0,34	7,35±0,25*	0,22±0,01*	0,60±0,07*	0,62±0,22	1,69±0,03*	1,62±0,03*
	Cv, %	17,89	10,14	9,58	32,62	25,55	5,25	6,09
3	M±m	4,67±0,77*	9,01±0,69*	0,20±0,01	0,39±0,07	0,92±0,04*	5,78±0,20*	1,64±0,03*
	Cv	49,3	23,03	15,39	51,72	12,69	10,25	5,5
4	M±m	3,04±0,42	5,90±0,08	0,18±0,00	0,28±0,04	0,53±0,04	3,04±0,06	1,01±0,11
	Cv	41,1	4,61	2,37	48,22	20,5	5,59	32,81
5	M±m	2,31±0,09	5,49±0,4	0,13±0,00*	0,24±0,04	0,34±0,03*	3,50±0,19*	1,10±0,03
	Cv	11,65	19,86	8,53	52,06	23,12	15,87	8,68
6	M±m	2,62±0,03	5,47±0,1*	0,15±0,01*	0,23±0,02	0,50±0,02	2,82±0,06*	1,17±0,03*
	Cv	3,52	5,25	12,71	21,59	9,96	6,42	8,9
7	M±m	2,60±0,28	5,82±0,10	0,16±0,01	0,42±0,08	0,56±0,04	2,65±0,20	1,4±0,21
	Cv	32,03	5,22	19,32	59,89	20,88	22,65	44,88
8	M±m	2,94±0,03	7,24±0,09*	0,16±0,01	0,25±0,02	0,48±0,03	3,76±0,07*	1,2±0,03*
	Cv	3,33	3,72	10,98	19,17	18,99	5,82	7,1
9	M±m	3,17±0,07	7,71±0,18*	0,16±0,01	0,45±0,09	0,67±0,05*	4,62±0,36*	1,43±0,06*
	Cv	6,17	6,94	9,56	58,27	23,4	23,57	12,2
10	M±m	2,93±0,04	5,58±0,27	0,15±0,01*	0,19±0,01*	0,54±0,04	3,31±0,1*	1,35±0,03*
	Cv	4,4	14,41	16,37	19,46	20,83	9,13	7,37
11	M±m	2,97±0,04	6,13±0,07*	0,15±0,02	0,27±0,04	0,59±0,04	3,40±0,06	1,31±0,06*
	Cv	3,93	3,37	15,06	46,35	19,01	5,17	13,4
12	M±m	2,64±0,07	5,62±0,08*	0,16±0,01	0,21±0,01	0,56±0,11	3,23±0,06*	1,19±0,04*
	Cv	7,65	4,19	13,24	16,16	19,73	5,72	10,45
13	M±m	3,38±0,05	7,01±0,07*	0,16±0,01	0,89±0,43	0,58±0,04	4,18±0,05*	1,47±0,04*
	Cv	4,1	2,96	21,85	146,26	20,92	3,36	7,92
14	M±m	2,84±0,06	6,53±0,17*	0,13±0,01*	0,20±0,01	0,43±0,04	3,33±0,25	1,66±0,29*
	Cv	6,03	7,95	15,1	14,67	27,09	22,76	52,48
15	M±m	3,01±0,05	6,58±0,26*	0,14±0,01*	0,21±0,02	0,50±0,03	4,03±0,30*	1,35±0,06*
	Cv, %	4,50	3,96	15,32	24,65	19,4	7,52	12,28

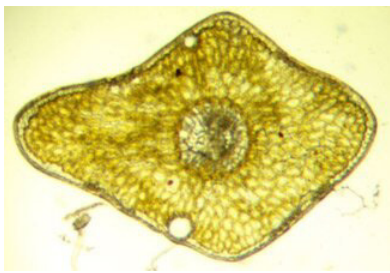
*Примечание. Достоверность отличий признака в сравнении с контролем при $P \leq 0,05$.

Толщина мезофилла листа для сосны обыкновенной показала минимальные значения для Парка железнодорожников г. Караганды (0,34 мкм), а максимальные — для сквера около Акимата г. Сатпаева (0,92 мкм). Данный признак также варьировал на низком, среднем и высоком уровне. Так, максимальный коэффициент вариации составил 122,08 % для г. Жезказгана, минимальный, 9,96 % — городского парка г. Каркаралы.

Максимальные значения длины проводящего пучка были обнаружены для листьев сосны, собранных в Центральном парке культуры и отдыха г. Караганды (4,62 мкм), минимальные — для парка Наурыз г. Жезказгана (1,69 мкм). Данный показатель варьирует на низком и среднем уровне, от 5,17 до 23,57 %. Минимальные значения коэффициента вариации (3,36 %) отмечены для листьев, собранных в сквере г. Балхаша, максимальные (23,57 %) — для Центрального парка культуры и отдыха г. Караганды.



г. Жезказган, площадь перед городским Акиматом



г. Жезказган, парк Наурыз



г. Сатпаев, сквер перед Акиматом



г. Улытау, Акимат, сквер



г. Караганда, сортировка, парк Железнодорожников



г. Каркаралы, городской парк



г. Каркаралы, посадки возле Акимата



г. Караганда, юго-восток, Этно-парк



г. Караганда, Центральный парк культуры и отдыха



г. Караганда, Парк Победы



г. Темиртау, парк Восток



г. Темиртау, автостанция, сквер



г. Балхаш, Акимат, сквер



г. Балхаш, Районная прокуратура



г. Караганда, Майкудук, парк

Рисунок. Поперечные срезы хвои сосны обыкновенной, произрастающих в различных точках Карагандинской и Улытауской областей (Центральный Казахстан)

Показатель ширины проводящего пучка изменялся от 1,19 мкм (сквер около автостанции г. Темиртау) до 1,66 мкм (Районная прокуратура г. Балхаш). Признак варьирует на низком и среднем уровне, только максимальное значение варьирует на высоком уровне — 52,48 %.

Заключение

Таким образом, можно отметить, что наблюдаются достоверные отличия по анатомическим показателям и степени варьирования признаков хвои сосны обыкновенной из разных точек сбора. Установлено, на незагрязненных и малозагрязненных участках (г. Каркаралы, пос. Улытау, г. Сатпаев) наблюдаются средние микроскопические показатели, а также минимальные коэффициенты варьирования. Для населенных пунктов с промышленным загрязнением признаки варьируют с большей частотой.

Полученные данные могут использоваться для биоиндикации окружающей среды в населенных пунктах Карагандинской области.

Список литературы

- 1 Жалдак С.Н. Оценка влияния эколого-ценотических факторов на анатомическое строение *Salicornia europaea* L. / С.Н. Жалдак // Ученые записки Тавр. нац. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер. биология. — 2023. — Т. 16, № 3. — С. 69–73.
- 2 Stevovic S. Environmental impact on morphological and anatomical structure of Tansy / S. Stevovic, V.S. Mikovilovic, D. Calic-Dragosavac // African J Biotech. — 2010. — Vol. 9 (16). — P. 2413-2421.
- 3 Voronin P.Yu. Structural and functional changes in the leaves of plants from steppe communities as affected by aridization of the Eurasian climate / P.Yu. Voronin, L.A. Ivanova, D.A. Ronzhina, L.A. Ivanov, O.A. Anenkhov, C.C. Black, P.D. Gunin, V.I. Pyankov // Russian J Plant Physiol. — 2003. — Vol. 50(5). — P. 680-687.
- 4 Максимова Е.В. Влияние антропогенных факторов химической природы на некоторые эколого-биохимические характеристики растений / Е.В. Максимова, А.А. Косицына, О.Н. Макурина // Вестн. Самар. гос. ун-та. Естественнонауч. сер. — 2007. — № 8 (58). — С. 146–152.
- 5 Shadrina E. Fluctuating Asymmetry in Morphological Characteristics of *Betula Pendula* Roth Leaf under Conditions of Urban Ecosystems: Evaluation of the Multi-Factor Negative Impact / E. Shadrina, N. Turmukhametova, V. Soldatova, Y. Volpert, I. Kotochenko, G. Pervyshina // Symmetry. — 2020. — Vol. 12 (8). — Article ID 1317. <https://doi.org/10.3390/sym12081317>
- 6 Василевская Н.В. Влияние техногенного загрязнения на динамику роста и мезоструктуру листа *Betula czerepanovii* Orlova (Мурманская область) / Н.В. Василевская, Ю.М. Лукина // Уч. зап. Петрозавод. гос. ун-та. Сер. Естественные и технические науки. — 2011. — № 8 (121). — С. 7–11.
- 7 Легощина О.М. Адаптивные реакции и фитоиндикационная способность древесных растений в условиях техногенного загрязнения: дис. ... канд. биол. наук. Спец. 03.02.08 — «Экология (биология)» / О.М. Легощина. — Кемерово, 2018. — 144 с.
- 8 Собчак Р.О. Диагностика состояния видов хвойных в зонах техногенного загрязнения Республики Алтай / Р.О. Собчак // Вестн. Том. гос. ун-та. — 2009. — № 325. — С. 185–190.
- 9 Собчак Р.О. Комплексная оценка состояния пихты сибирской *Abies sibirica* Ledeb. в условиях городской среды / Р.О. Собчак, О.Н. Дегтярева, Т.П. Астафурова // Хвойные бореальные зоны. — 2004. — Вып. 2. — С. 100–109.
- 10 Соболева О.М. Комплексная оценка состояния ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в г. Новокузнецке / О.М. Соболева, Е.П. Кондратенко, Л.Г. Пинчук // Вестн. Алтай. гос. аграр. ун-та. — 2009. — № 7 (57). — С. 33–36.
- 11 Фролов А.К. Окружающая среда крупного города и жизнь растений в нем / А.К. Фролов. — СПб.: Наука, 1998. — 328 с.
- 12 Неверова О.А. Изменение анатомических показателей хвои *Pinus eldarica* Ten., произрастающей в примагистральных посадках г. Худжанда / О.А. Неверова, О.М. Легощина, Р.С. Закиров // Современные проблемы науки и образования. — 2012. — № 4. — 274 с.
- 13 Федорков А.Л. Изменчивость признаков анатомического строения хвои сосны и ее устойчивость к техногенному и климатическому стрессу / А.Л. Федорков // Экология. — 2002. — № 1. — С. 70–72.
- 14 Mandzii T.P. Research of the Morphological and Anatomical structure of leaf of *Pinus sylvestris* L. and *Pinus mugo* Turra / T.P. Mandzii, A.R. Grycyk // Research J. Pharm. and Tech. — 2019. — Vol. 12(5). — P. 2465-2467. <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2019.00413.X>
- 15 Егорова Н.Н. Особенности строения ассимиляционных органов лесообразующих видов в техногенных условиях / Н.Н. Егорова, А.А. Кулагин // Самарская Лука. — 2007. — Т. 16, № 3 (21). — С. 476–485.
- 16 Radovanovich B. Variation in needle anatomy of *Picea omorika* (*Pinaceae*) plants belonging to different gene pools in natural populations on Tara Mt. in Serbia / B. Radovanovich, J. Sinzar-Sekulic, T. Rakic, I. Zivkovich, D. Lakusic // Botanica Serbica. — 2014. — Vol. 38(2). — P. 237-246.
- 17 Лакин Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. — М.: Высш. шк., 1990. — 352 с.

К. Тулешова, А.К. Қали

Әртүрлі географиялық шығу тегі бар қарағай жапырағының анатомиялық көрсеткіштерін салыстырмалы анатомиялық зерттеу

Өсімдіктер жапырақтарының морфологиялық-анатомиялық көрсеткіштерінің жай-күйі негізінде биоиндикация қоршаған ортаның жай-күйін бағалау үшін қолайлы тәсіл. Қарағанды және Ұлытау облыстарын қамтитын Орталық Қазақстан елеулі өнеркәсіптік шығарындылары бар өңір. Зерттеудің мақсаты — Орталық Қазақстанның елді мекендерінде өсетін *Pinus sylvestris* жапырақтарының анатомиялық көрсеткіштеріне салыстырмалы зерттеу жүргізу. Нәтижелер көрсеткендей, жапырақтың ұзындығы мен ені, мезофилл қалыңдығының максималды көрсеткіштері — Сәтбаев қаласынан; жапырақ эпидермисінің қалыңдығы — Жезқазған қаласынан; орындарының диаметрі — Балқаш қаласынан; өткізгіш шоғырының ұзындығы — Қарағанды қаласынан және өткізгіш шоғырының ені тағы Балқаш қаласынан табылған. Белгілердің басым бөлігі төмен және орташа деңгейде өзгеріп отырады, жоғары вариация коэффициенті қарағай қылқандарының сыйымдылықтарының (шайыр жүрістерінің) диаметрі үшін ғана белгіленді. *Pinus sylvestris* қылқанының анатомиялық құрылымдарының ең төменгі көрсеткіштері Орталық Қазақстанның өнеркәсіптік елді мекендері: Қарағанды, Балқаш, Теміртау және Жезқазған, ал Ұлытау және Сәтбаев ауылдары үшін барлық мән орта және жоғары деңгейде болды. Алынған деректерді жасыл желектерді қолдана отырып биоиндикация үшін қолдануға болады.

Кілт сөздер: *Pinus sylvestris*, Орталық Қазақстан, қылқан, анатомиялық көрсеткіштер, биоиндикация, өзгергіштік.

K. Tuleshova, A.K. Kali

Comparative anatomical study of anatomical parameters of *Pinus sylvestris* leaf of different geographical origin

Bioindication based on the state of morphological and anatomical indicators of plant leaves is a convenient way to assess the state of the environment. Central Kazakhstan, which includes the Karaganda and Ulytau regions, is a region with significant industrial emissions. The purpose of this study is to conduct a comparative study of anatomical indicators of *Pinus sylvestris* leaves growing in settlements of Central Kazakhstan. The results showed that the maximum parameters of leaf length and width, mesophyll thickness were found for Satpayev city, leaf epidermal thickness for Zhezkazgan city, reservoir diameter for Balkhash city, conducting beam length for Karaganda city, and conducting beam width for Balkhash city. Most of the signs varied at a low and medium level, a high coefficient of variation was noted only for the diameter of the containers (resin passages) of pine needles. It was noted that the minimum indicators of the anatomical structures of *Pinus sylvestris* needles were found for industrial settlements of Central Kazakhstan: Karaganda, Balkhash, Temirtau and Zhezkazgan, while for Ulytau settlement and Satpayev town all values were at an average and high level. The obtained data can be used for bioindication using green spaces.

Keywords: *Pinus sylvestris*, Central Kazakhstan, pine needles, anatomical parameters, bioindication, variation.

References

- 1 Zhaldak, S.N. (2023). Otsenka vliianiia ekologo-tsenoticheskikh faktorov na anatomicheskoe stroenie *Salicornia europaea* L. [Assessment of the influence of ecological and cenotic factors on the anatomical structure of *Salicornia europaea* L.]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsionalnogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Seriya biologiya — Proceedings of Tawr national university named after V.I. Vernadsky, series Biology*, 16(3), 69–73 [in Russian].
- 2 Stevovic, S., Mikovilovic, V.S., & Calic-Dragosavac, D. (2010). Environmental impact on morphological and anatomical structure of Tansy. *African J Biotech.*, 9(16), 2413-2421.
- 3 Voronin, P.Yu., Ivanova, L.A., Ronzhina, D.A., Ivanov, L.A., Anenkhov, O.A., Black, C.C., Gunin, P.D., & Pyankov, V.I. (2003). Structural and functional changes in the leaves of plants from steppe communities as affected by aridization of the Eurasian climate. *Russian J Plant Physiol.*, 50(5), 680-687.
- 4 Maksimova, E.V., Kositsyna, A.A., & Makurina, O.N. (2007). Vliianiie antropogennykh faktorov khimicheskoi rpirody na nekotorye ekologo-biokhimicheskie kharakteristiki rastenii [Influence of anthropogenic factors of chemical nature on some ecologi-

cal and biochemical characteristics of plants]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennonauchnaia seriia — Bulletin of Samara state university. Series natural science*, 8(58), 146–152 [in Russian].

5 Shadrina, E., Turmukhmetova, N., Soldatova, V., Volpert, Y., Kotochenko, I., & Pervyshina, G. (2020). Fluctuating Asymmetry in Morphological Characteristics of *Betula Pendula* Roth Leaf under Conditions of Urban Ecosystems: Evaluation of the Multi-Factor Negative Impact. *Symmetry*, 12(8), 1317. <https://doi.org/10.3390/sym12081317>

6 Vasilevskaia, N.V., & Lukina, Yu.M. (2011). Vliianie tekhnogenogo zagriazneniia na dinamiku rosta i mezostrukturu lista *Betula czerepanovii* Orlova (Murmanskaia oblast) [Influence of man-made pollution on growth dynamics and mesostructure of *Betula czerepanovii* Orlova leaf (Murmansk region)]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serii Estestvennye i tekhnicheskie nauki — Proceedings of Petrozavodsk state university. Series natural and technical science*, 8(121), 7–11 [in Russian].

7 Legoshchina, O.M. (2018). *Adaptivnye reaktsii i fitoindikatsionnaia sposobnost drevesnykh rastenii v usloviakh tekhnogenogo zagriazneniia [Adaptive reaction and phytoindicator ability of woody plants in the conditions of technogenic pollution]. Candidate's thesis. Kemerovo [in Russian].*

8 Sobchak, R.O. (2009). Diagnostika sostoianiia vidov khvoinykh v zonakh tekhnogenogo zagriazneniia Respubliki Altai [Diagnostics of coniferous species in the zones of man-made pollution of the Altai Republic]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta — Bulletin of Tomsk State University*, 325; 185–190 [in Russian].

9 Sobchak, R.O., Degtiareva, O.N., & Astafurova, T.P. (2004). Kompleksnaia otsenka sostoianiia pikhty sibirskoi *Abies sibirica* Ledeb. v usloviakh gorodskoi sredy [Comprehensive assessment of the state of Siberian fir *Abies sibirica* Ledeb. in the urban environment]. *Khvoinye borealnye zony — Coniferous boreal zones*, 2, 100–109 [in Russian].

10 Soboleva, O.M., Kondratenko, E.P., & Pinchuk, L.G. (2009). Kompleksnaia otsenka sostoianiia assimiliatsionnogo apparata sosny obyknovnoi v g. Novokuznetske [Comprehensive assessment of the state of the assimilation apparatus of ordinary pine in Novokuznetsk]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta — Bulletin of Altai state agrarian university*, 7 (57), 33–36 [in Russian].

11 Frolov, A.K. (1998). *Okruzhaiushchaia sreda krupnogo goroda i zhizn rastenii v nem [Large city environment and plant life in it]. Saint-Petersburg: Nauka [in Russian].*

12 Neverova, O.A., Legoshchina, O.M., & Zakirov, R.S. (2012). Izmenenie anatomicheskikh pokazatelei khvoi *Pinus eldarica* Ten., proizrastaiushchei v primagistralnykh posadkakh g. Khudzhanda [Change in anatomical parameters of *Pinus eldarica* Ten. needles growing in the off-highway plantings of Khujand]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia — The modern problems of science and education*, 4, 274 [in Russian].

13 Fedorkov, A.L. (2002). Izmenchivost priznakov anatomicheskogo stroeniia khvoi sosny i ee ustoychivost k tekhnogenomu i klimaticheskomu stressu [Variability of signs of anatomical structure of pine needles and its resistance to technogenic and climatic stress]. *Ekologiya — Ecology*, 1, 70–72 [in Russian].

14 Mandzii, T.P., & Grycyk, A.R. (2019). Research of the Morphological and Anatomical structure of leaf of *Pinus sylvestris* L. and *Pinus mugo* Turra. *Research J. Pharm. and Tech.*, 12(5), 2465–2467. <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2019.00413.X>

15 Egorova, N.N., & Kulagin, A.A. (2007). Osobennosti stroeniia assimiliatsionnykh organov lesoobrazuiushchikh vidov v tekhnogenykh usloviakh [Features of the Structure of Assimilation Organs of Forest-Forming Species in Technogenic Conditions]. *Samarskaia Luka — Samara Luka*, 16, 3(21), 476–485 [in Russian].

16 Radovanovich, B., Sinzar-Sekulic, J., Rakic, T., Zivkovich, I., & Lakusic, D. (2014). Variation in needle anatomy of *Picea omorika* (Pinaceae) plants belonging to different gene pools in natural populations on Tara Mt. in Serbia. *Botanica Serbica*, 38(2), 237–246.

17 Lakin, G.F. (1990). *Biometriia [Biometry]. Moscow: Vysshaia shkola [in Russian].*