

К.А. Тулешова*, А.К. Қали, Д.К. Кыздарова, Е.К. Кейкин

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

*Автор для корреспонденции: kura-ulitau@mail.ru

Изучение морфологической изменчивости листьев *Pinus sylvestris*, собранной на территории Карагандинской области

Биоиндикация с применением морфологических показателей листьев растений является актуальным направлением для быстрой и недорогой оценки загрязненности окружающей среды. Карагандинская область является промышленным регионом, отличающимся высоким уровнем выбросов из-за деятельности горнодобывающих и металлургических предприятий. Цель исследования — изучение морфометрических показателей хвои *Pinus sylvestris*, собранной в различных местах произрастания на территории Карагандинской области (Центральный Казахстан): г. Караганда, Темиртау, Сатпаев, Балхаш, Жезказган, пос. Улытау. В статье представлены итоги исследования морфометрических показателей хвои сосны обыкновенной с оценкой внешнего вида, длина, ширины, толщина иголок и среднего оборота вокруг собственной оси. Установлено, что в более загрязненных участках наблюдаются минимальные значения длины и ширины листа, максимальные показатели среднего оборота вокруг оси и коэффициента вариации признаков. На малозагрязненных участках отмечены максимальные значения длины и ширины листа, минимальная степень варьирования исследуемых признаков. Для признака «толщина листа» не выявлено достоверной разницы по вариантам опыта. Полученные данные могут применяться для биоиндикации загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris*, Карагандинская область, биоиндикация, морфология, хвоя, метрические показатели, изменчивость.

Введение

Изучение влияния различных экологических факторов на адаптацию растений имеет важное значение для оценки их состояния. Наиболее информативным и быстрым методом оценки состояния окружающей среды является биоиндикация [1]. Изучение анатомо-морфологических показателей генеративных и вегетативных органов растений широко применяется для оценки состояния окружающей среды [2]. Известно, что все живые организмы предъявляют определенные требования к условиям окружающей среды, поэтому изменение отдельных параметров в обязательном порядке отражается на морфологии, анатомии и физиологии растительных и животных организмов [3–5].

Стабильность морфологических показателей листьев, в том числе хвойных культур [6], является чувствительным индикатором загрязнения окружающей среды [7–9].

Город Караганда, как и Карагандинский промышленный регион, характеризуется высоким уровнем загрязнения, которое превышает экологические возможности окружающей среды, нарушает ее нормальное функционирование, что оказывает негативное влияние на существование человека [10]. Наиболее распространенными загрязняющими веществами г. Караганды, поступающими в атмосферный воздух от техногенных источников, являются: оксид углерода, диоксид серы, оксид азота, углеводороды, пыль [11]. Распределение загрязняющих веществ происходит неравномерно, что требует быстрых методов оценки на конкретных участках.

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) — широко применяемый в озеленении вид. Информативным признаком определенного уровня загрязнения атмосферы является состояние хвои: изменение окраски (хлороз, пожелтение), преждевременное увядание хвои, время жизни, наличие некротических пятен. Для индикационных целей могут быть использованы также морфологические и анатомические характеристики хвои сосны [5, 8, 9].

Цель настоящего исследования — провести сравнительное морфологическое исследование хвои сосны обыкновенной, произрастающей на территории г. Караганды.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в 2021–2022 гг. на образцах хвои сосны, собранных на территории Карагандинской области (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

Перед сбором хвои был проведен первичный визуальный анализ состояния деревьев. Хвоя была собрана с концевых побегов нижних ярусов деревьев на высоте 1 м от уровня земли. Количество собранных пар иголок хвои — 50 шт. Все пробы были отобраны с северной стороны, чтобы исключить влияние солнечного света.

Для характеристики состояния хвои были использованы следующие параметры [12]: длина, толщина и ширина хвои, оборот хвоинок относительно собственной оси. Длина, ширина и толщина хвои определялась методом линейного измерения при помощи цифровой линейки с точностью 0,01 мм. Оборот хвоинок определяли методом визуального подсчета количества оборотов хвоинки вокруг собственной оси, с определением четвертой оборота. Оборот хвоинки вокруг собственной оси на 90° соответствовал 0,25 единицам оборота.

Статистическую обработку результатов осуществляли по методике Н.Л. Удольской [13]. Расчет достоверности различия полученных результатов проводился с использованием критерия Манна–Уитни–Вилкокса и расчета ошибки репрезентативности среднего отклонения с применением таблицы Н.А. Плохинского. Для анализа полученных данных сравнивали средние значения показателей и коэффициенты вариации.

Результаты и их обсуждение

Как известно из литературных источников [6, 9, 14], состояние хвои сосны обыкновенной является характерным признаком, несущим информацию о загрязнении окружающей среды. Для незагрязненных участков характерна здоровая хвоя, с минимальным количеством пожелтевших участков. В условиях промышленного загрязнения происходит хлороз, пожелтение участков, наличие некротических пятен, снижаются размер иголок и продолжительность их жизни.

Изучение состояния хвои сосны (см. рис.) показало наличие различий, как по внешнему виду, так и по морфологическим показателям. Так, наиболее насыщенную зеленую окраску имели листья сосны, собранные на участках 2, 6, 11 и 15, светлоокрашенными являлись пробы с участков 1, 3, 7 и 9. Кончики иголок имели частичное пожелтение в пробах, собранных на участках 1, 8, 11 и 12. Центральная жилка хорошо была выражена в пробах с точек 2, 6, 8, 11, 12, 13 и 15.

Таким образом, визуальный анализ не показал каких-либо существенных различий во внешнем строении хвои, что свидетельствует о равно-факторном влиянии внешних условий на ее состояние. Наблюдавшиеся пожелтения и почернения хвои не носили массовый характер, поэтому не могут являться критерием отрицательного или положительного состояния.



Рисунок. Внешний вид анализируемых листьев сосны обыкновенной с разных точек сбора

Сравнение среднего показателя длины хвои позволило выявить, что максимальные размеры были зафиксированы в пробе № 4, собранной возле Акимата с. Улытау, — 93,76 мм (табл. 2). Вторую позицию по длине занимают образцы, собранные в г. Каркаралы, — 89,21 мм. Минимальные показатели длины хвои сосны обыкновенной отмечены для парка Наурыз г. Жезказгана (13,90 мм), парка Железнодорожников г. Караганды (36,35 мм), парка Восток г. Темиртау (37,65 мм). Признак длины листа варьировал на низком, среднем и высоком уровнях. Так, минимальные коэффициенты вариации были выявлены у образцов хвои, собранной в сквере возле Акимата с. Улытау (3,17), парке Победы г. Караганды (6,66), парке Майкудука г. Караганды (7,22) и городском парке г. Каркаралы (8,43).

**Морфометрические показатели хвои сосны обыкновенной на разных точках сбора
(Карагандинская область)**

№ точки сбора пробы	Населенный пункт, место отбора пробы	Длина хвои, мм	Толщина хвои, мм	Ширина хвои, мм	Показатель среднего оборота вокруг собственной оси, раз
1	г. Жезказган, площадь перед городским Акиматом	$48,06 \pm 1,28$ 17,99	$0,92 \pm 0,02$ 17,99	$0,59 \pm 0,02$ 17,65	$1,13 \pm 0,05$ 34,05
2	г. Жезказган, парк Наурыз	$13,90 \pm 0,19$ 9,24	$0,64 \pm 0,01$ 13,75	$0,49 \pm 0,01$ 14,54	$0,58 \pm 0,03$ 31,36
3	г. Сатпаев, сквер перед Акиматом	$76,70 \pm 1,76$ 15,43	$0,83 \pm 0,22$ 18,07	$1,96 \pm 0,08$ 27,67	$1,37 \pm 0,06$ 29,27
4	с. Улытау, Акимат, сквер	$93,76 \pm 0,44$ 3,17	$0,73 \pm 0,02$ 14,50	$1,47 \pm 0,04$ 16,18	$1,02 \pm 0,02$ 10,08
5	г. Караганда, Сортировка, парк Железнодорожников	$36,35 \pm 0,46$ 8,43	$0,80 \pm 0,14$ 17,01	$0,52 \pm 0,02$ 25,03	$1,08 \pm 0,06$ 36,54
6	г. Каркаралы, Городской парк	$61,31 \pm 3,33$ 36,40	$1,07 \pm 0,02$ 9,45	$0,93 \pm 0,01$ 10,59	$1,02 \pm 0,02$ 10,08
7	г. Каркаралы, посадки возле Акимата	$89,21 \pm 1,17$ 8,83	$1,41 \pm 0,02$ 9,44	$0,80 \pm 0,02$ 20,02	$1,17 \pm 0,04$ 20,20
8	г. Караганда, Юго-Восток, Этнопарк	$42,66 \pm 1,42$ 22,26	$0,92 \pm 0,03$ 25,60	$0,57 \pm 0,02$ 20,94	$1,06 \pm 0,06$ 38,96
9	г. Караганда, Центральный парк культуры и отдыха	$41,41 \pm 0,72$ 11,64	$1,11 \pm 0,02$ 9,35	$0,69 \pm 0,01$ 13,42	$0,99 \pm 0,01$ 7,45
10	г. Караганда, парк Победы	$49,17 \pm 0,49$ 6,66	$1,37 \pm 0,20$ 98,75	$0,44 \pm 0,03$ 44,86	$0,57 \pm 0,03$ 29,99
11	г. Темиртау, парк Восток	$37,65 \pm 0,97$ 17,30	$1,13 \pm 0,02$ 10,60	$0,45 \pm 0,02$ 22,41	$0,52 \pm 0,02$ 19,73
12	г. Темиртау, автостанция, сквер	$69,46 \pm 1,58$ 15,22	$1,43 \pm 0,03$ 13,31	$0,50 \pm 0,01$ 18,28	$1,18 \pm 0,06$ 32,46
13	г. Балхаш, Акимат, сквер	$59,44 \pm 0,77$ 8,66	$1,42 \pm 0,04$ 17,03	$0,48 \pm 0,02$ 27,25	$0,68 \pm 0,04$ 35,31
14	г. Балхаш, районная прокуратура	$55,57 \pm 1,01$ 12,24	$1,46 \pm 0,03$ 15,85	$0,59 \pm 0,01$ 14,23	$1,10 \pm 0,09$ 56,37
15	г. Караганда, Майкудук, парк	$54,90 \pm 0,59$ 7,22	$1,48 \pm 0,03$ 13,94	$0,52 \pm 0,01$ 16,32	$0,88 \pm 0,09$ 65,94

Примечание. В числителе $M \pm m$, в знаменателе — коэффициент вариации C_v .

Максимальные значения толщины хвои отмечены у образцов, собранных в парке Майкудука г. Караганды (1,48 мм), в г. Балхаше (1,42–1,46 мм), в сквере автостанции г. Темиртау (1,43 мм); а минимальные показатели в г. Жезказгане (0,64 мм) и с. Улытау (0,73 мм). Данный признак варьировал на уровне от 9,35 до 98,75. Минимальные значения коэффициента вариации отмечены в Центральном парке г. Караганды (C_v 9,35), г. Каркаралы (9,44–9,45), парке Восток г. Темиртау (10,60). Максимальные показатели коэффициента вариации отмечены для парка Победы г. Караганды (98,75).

Показатели ширины хвои сосны обыкновенной изменялись в менее широких пределах. Так, максимальные значения зафиксированы для г. Сатпаева (1,96 мм) и с. Улытау (1,47 мм); минимальные — для парка Победы г. Караганды (0,44 мм), парка Восток г. Темиртау (0,45 мм), г. Балхаша (0,48 мм). Признак варьирует на среднем и высоком уровнях. Так, минимальные значения коэффициента вариации отмечены для г. Каркаралы (C_v 10,59), максимальные в парке Победы г. Караганды (44,86).

Показатели среднего оборота хвои вокруг своей оси изменялись от 0,52 до 1,37. Так, минимумы выявлены для проб, отобранных в парке Восток г. Темиртау (0,52 оборота), парке Победы г. Караганды (0,57) и парке Наурыз г. Жезказгана (0,58). Максимальные значения отмечены в пробах из г. Сатпаева (1,37 оборота), сквера возле Акимата г. Темиртау (1,18 оборота) и посадках возле Акимата г. Каркаралы (1,17 оборота). С минимальным коэффициентом признак варьирует в образцах хвои из Центрального парка г. Караганды (C_v 7,45), с. Улытау и парке г. Каркаралы (по 10,08). Максималь-

ные коэффициенты вариации определены для проб из г. Балхаша (56,37) и парка Майкудука г. Караганды (56,37).

Заключение

Таким образом, можно отметить, что наблюдаются достоверные отличия по морфологии и степени варьирования признаков хвои сосны обыкновенной из разных точек сбора. Установлено, на незагрязненных и малозагрязненных участках (гг. Каркаралы, Сатпаев, пос. Улытау) наблюдаются максимальные показатели длины и ширины листа, тогда как на загрязненных и сильнозагрязненных участках (гг. Балхаш, Караганды и Темиртау) выявлены минимальные значения указанных выше признаков. Не выявлено достоверной разницы между образцами листьев сосны по такому показателю, как толщина листовой пластины. Показатели среднего оборота хвои имели обратную зависимость. Так, на малозагрязненных участках эти значения были минимальными, а на загрязненных — максимальными.

Отмечена разница по показателям коэффициента вариации по точкам отбора проб хвои. На наиболее загрязненных участках наблюдается варьирование на среднем и высоком уровнях, тогда как на малозагрязненных и незагрязненных участках — на низком уровне.

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

Список литературы

- 1 Ляшенко О.А. Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды: учеб. пос. / О.А. Ляшенко. — СПб., 2012. — 67 с.
- 2 Бухарина И.Л. Городские насаждения: экологический аспект / И.Л. Бухарина, А.Н. Журавлева, О.Г. Большова. — Ижевск: УдГУ, 2012. — 206 с.
- 3 Ташекова А.Ж. Использование листьев растений как биогеохимических индикаторов состояния городской среды / А.Ж. Ташекова, А.С. Торопов // Изв. ТПУ. Сер. Инжиниринг георесурсов. — 2018. — Т. 328, № 5. — С. 114–124.
- 4 Molnar V.E. Use of leaves as bioindicator to assess air pollution based on composite proxy measure (APTI), dust amount and elemental concentration of metals / V.E. Molnar, D. Tozser, S. Szabo, B. Tothmeresz, E. Simon // Plants. — 2020. — Vol. 9 (12). — Article ID 1743. <https://doi.org/plants9121743>
- 5 Glibovytska N.I. Morphological and physiological parameters of woody plants under conditions of environmental oil pollution / N.I. Glibovytska, K.B. Karavanovych // Ukrainian Journal of Ecology. — 2018. — Vol. 8 (3). — P. 322–327.
- 6 Скрипальщикова Л.Н. Морфолого-анатомические особенности хвои сосны обыкновенной под влиянием промышленных выбросов города Красноярск / Л.Н. Скрипальщикова, И.А. Днепровский, В.В. Стасова, М.А. Пляшечник, Н.В. Грешилова, О.В. Калугина // Сиб. лес. журн. — 2016. — № 3. — С. 45–56. <https://doi.org/10.15372/SJFS20160305>
- 7 Кузьмин С.Р. Морфологические особенности хвои у сосны обыкновенной с разной устойчивостью к грибным болезням / С.Р. Кузьмин, Н.А. Кузьмина // Экология. — 2015. — № 2. — С. 156–160. <https://doi.org/S0367059715010084>
- 8 Шаяхметова Р.И. Анатомические особенности хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на территории Нижневартовского района, ХМАО-Югра / Р.И. Шаяхметова, Н.Н. Егорова // Вестн. АГАУ. — 2016. — № 6 (140). — С. 72–77.
- 9 Lesiczka P. Variability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) called Tabórz pine (Forest District Miłomłyn) expressed in analysis of morphology of needle traits and polymorphism of microsatellite DNA / P. Lesiczka, E.M. Pawlaczyk, B. Łabiszak, L. Urbaniak // Forest Research Paper. — 2017. — Vol. 78 (2). — P. 136–148. <https://doi.org/10.1515/frp-2017-0015>
- 10 Гребенева О.В. Современная оценка загрязнения атмосферного воздуха в г. Караганде / О.В. Гребенева, М.Ю. Алешина, Н.К. Смагулов // Медицина и экология. — 2018. — № 3. — С. 26–31.
- 11 Жакатаева Б.Т. Атмосферные загрязнения г. Караганды / Б.Т. Жакатаева, З.П. Журавлева // Вестн. Караганд. ун-та. Сер. Биология. Медицина. География. — 2010. — № 3 (59). — С. 79–84.
- 12 Сауткина Т.А. Морфология растения / Т.А. Сауткина. — М., 2012. — 242 с.
- 13 Удольская Н.Л. Методика биометрических расчетов / Н.Л. Удольская. — Алма-Ата: Наука, 1976. — 45 с.
- 14 Рыжова Ю.А. *Pinus sylvestris* как индикатор атмосферного загрязнения: дис. ... магистра наук / Ю.А. Рыжова. — Пенза, 2018. — 62 с.

К.А. Тулешова, А.К. Қали, Д.К. Кыздарова, Е.К. Кейкин

Қарағанды облысы аумағында жиналған қарағай жапырақтарының морфологиялық өзгергіштігін зерттеу

Өсімдік жапырақтарының морфологиялық көрсеткіштерін қолдану арқылы биоиндикациялау қоршаған ортаның ластануын тез және тиімді бағалаудың маңызды бағыты болып табылады. Қарағанды облысы тау-кен металлургия кәсіпорындарының қызметі әсерінен шығарындылар деңгейі жоғары өнеркәсіптік аймақ болып ерекшеленеді. Зерттеудің мақсаты — Қарағанды облысы (Орталық Қазақстан) аумағында яғни, Қарағанды, Теміртау, Сәтбаев, Балқаш, Жезқазған қалалары және Ұлытау кентіндегі әртүрлі өсу орындарында жиналған *Pinus sylvestris* ижелерінің морфометриялық көрсеткіштерін зерттеу. Мақалада кәдімгі қарағай ижелерінің сыртқы түрі, қалыңдығы ұзындығы, ені, және өз осінің айналасындағы орташа айналымын бағалау арқылы қарағай ижелерінің морфометриялық көрсеткіштерін зерттеу нәтижелері берілген. Ластанған жерлерде жапырақтың ұзындығы мен енінің ең аз мәндері, ось айналасындағы орташа айналымның максималды мәндері және белгілердің өзгеру коэффициенті байқалатыны анықталды. Аз ластанған жерлерде жапырақтың ұзындығы мен енінің максималды мәндері, зерттелетін белгілердің ең аз өзгеру дәрежесі белгіленді. «Жапырақтың қалыңдығы» көрсеткіштері бойынша тәжірибе нұсқаларында айтарлықтай айырмашылық табылған жоқ. Алынған мәліметтерді қоршаған ортаның ластануын биоиндикациялау үшін пайдалануға болады.

Кілт сөздер: *Pinus sylvestris*, Қарағанды облысы, биоиндикация, морфология, ижелер, метрикалық көрсеткіштер, өзгергіштік.

K.A. Tuleshova, A.K. Kali, D.K. Kyzdarova, E.K. Keikin

Study of morphological variability of *Pinus sylvestris* leaves collected in the Karaganda region

Bioindication using morphological indicators of plant leaves is an urgent direction for a quick and inexpensive assessment of environmental pollution. Karaganda region is an industrial region with a high level of emissions due to the activities of mining and metallurgical enterprises. The purpose of this paper is to study the morphometric indicators of *Pinus sylvestris* needles collected in various places of growth in the Karaganda region (Central Kazakhstan): the cities of Karaganda, Temirtau, Satpayev, Balkhash, Zhezkazgan, Ulytau village. This article presents the study results of morphometric indicators of pine needles with an assessment of the appearance, length, width, thickness of needles, and average rotation around its own axis. It is found that in more contaminated areas, minimum values of sheet length and width, maximum values of average rotation around the axis, and the coefficient of variation of features are observed. Maximum values of sheet length and width, minimum degree of variation of studied features are noted in low-polluted areas. The thickness of the sheet does not reveal a reliable difference in the variants of the experience. The obtained data can be used for bioindication of environmental pollution.

Keywords: *Pinus sylvestris*, Karaganda region, bioindication, morphology, needle, metric parameters, variation.

References

- 1 Liashenko, O.A. (2012). *Bioindikatsiia i biotestirovanie v okhrane okruzhaiushchei sredy [Environmental Bioindication and Biotesting]*. Saint Petersburg [in Russian].
- 2 Bukharina, I.L., & Bolshova, O.G. (2012). *Gorodskie nasazhdeniia: ekologicheskii aspekt [Urban plantings: ecological aspect]*. Izhevsk: Udmurt State University [in Russian].
- 3 Tashekova, A.Zh., & Toropov, A.S. (2018). Ispolzovanie listev rastenii kak biogeokhimicheskikh indikatorov sostoiianiia gorodskoi sredy [Application of leaves as biogeoinicators of urban environment state]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Seriya Inzhiniring georesursov — Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 328 (5); 114–124 [in Russian].
- 4 Molnar, V.E., Tozser, D., Szabo, S., Tothmeresz, B., & Simon, E. (2020). Use of leaves as bioindicator to assess air pollution based on composite proxy measure (APTI), dust amount and elemental concentration of metals. *Plants*, 9 (12); 1743. <https://doi.org/plants9121743>
- 5 Glibovytska, N.I., & Karavanovych, K.B. (2018). Morphological and physiological parameters of woody plants under conditions of environmental oil pollution. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8 (3); 322–327.

- 6 Skripalshchikova, L.N., Dneprovskii, I.A., Stasova, V.V., Pliashchnik, M.A., Greshilova, N.V., & Kalugina, O.V. (2016). Morfoloġo-anatomicheskie osobennosti khvoi sosny obyknovЕННОi pod vlianiem promyshlennykh vybrosov goroda Krasnoiarska [Morphological and anatomical characteristics of Scots pine needles under industrial pollution impact of Krasnoyarsk city]. *Sibirskii lesnoi zhurnal — Siberian Forest Journal*, 3; 45–56 [in Russian]. <https://doi.org/10.15372/SJFS20160305> [in Russian].
- 7 Kuzmin, S.R., & Kuzmina, N.A. (2015). Morfoloġicheskie osobennosti khvoi u sosny obyknovЕННОi s raznoi ustoichivostiu k gribnym bolezniam [Morphological distinctions of needles in Scots Pine with various resistance levels to fungal diseases]. *Ekologiya — Ecology*, 2; 156–160 [in Russian]. <https://doi.org/S0367059715010084> [in Russian].
- 8 Shaiakhmetova, R.I., & Egorova, N.N. (2016). Anatomicheskie osobennosti khvoi sosny obyknovЕННОi (*Pinus sylvestris* L.) na territorii Nizhnevartovskogo raiona, KhMAO–Yugra [Anatomical features of needles of common pine (*Pinus sylvestris* L.) growing in the Nizhnevartovsk district, Khanty-Mansiysk Autonomous Area–Yugra]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta — Bulletin of Altai State Agrarian University*, 6 (140); 72–77 [in Russian].
- 9 Lesiczka, P., Pawlaczyk, E.M., Łabiszak, B., & Urbaniak, L. (2017). Variability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) called Tabórz pine (Forest District Miłomłyn) expressed in analysis of morphology of needle traits and polymorphism of microsatellite DNA. *Forest Research Paper*, 78 (2); 136–148. <https://doi.org/10.1515/frp-2017-0015>
- 10 Grebeneva, O.V., Aleshina, M.Yu., & Smagulov, N.K. (2018). Sovremennaia otsenka zagriazneniia atmosfernogo vozdukha v g. Karagande [Modern assessment of air pollution in Karaganda]. *Meditsina i ekologiya — Medicine and Ecology*, 3; 26–31 [in Russian].
- 11 Zhakataeva, B.T., & Zhuravleva, Z.P. (2010). Atmosferynye zagriazneniia g. Karagandy [Atmospheric pollution of Karaganda city]. *Vestnik Karagandinskogo universiteta. Seriya Biologiya. Meditsina. Geografiia — Bulletin of the Karaganda University. Biology. Medicine. Geography series*, 3 (59); 79–84 [in Russian].
- 12 Sautkina, T.A. (2012). *Morfologiya rasteniia [Plants morphology]*. Moscow [in Russian].
- 13 Udolskaia, N.L. (1976). *Metodika biometricheskikh raschetov [Methodology of biometric account]*. Alma-Ata: Nauka [in Russian].
- 14 Ryzhova, Yu.A. (2018). *Pinus sylvestris* kak indikator atmosfernogo zagriazneniia [*Pinus sylvestris* as indicator of atmospheric pollution]. *Master's thesis*. Penza [in Russian].