

Научная статья
УДК 504.064.2
DOI: <https://doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2022-1/109-120>

Оценка уровня загрязнения воздуха городской среды на территории Ленинского района города Владивостока

Макарова Вера Николаевна

Пчелкин Александр Михайлович

Исаева Ирина Вячеславовна

Владивостокский государственный университет экономики и сервиса
Владивосток. Россия

Аннотация. В статье проведена оценка состояния окружающей среды города с помощью биоиндикации. Цель работы – определение уровня загрязнения атмосферного воздуха на территории Ленинского района города Владивостока. По мере развития промышленности, энергетики и средств транспорта антропогенное загрязнение биосферы, обусловленное жизнедеятельностью человека, непрерывно растет. Выбросы промышленных предприятий, энергетических систем, автотранспорта в атмосферу оказывают прямое воздействие на все живое. Изучение последствий антропогенного воздействия на окружающую среду проводилось с применением методов биологической индикации. Для этого использовались живые организмы в качестве биоиндикаторов, отражающие состояние окружающей среды. Оптимальными биоиндикаторами в городе являются листья березы, поскольку это деревья с высокими поглощательными способностями. При формировании листовой пластины по мере накопления токсичных веществ происходит торможение ростовых процессов и деформация листа. Наиболее доступная и широко применяемая морфогенетическая мера нарушения стабильности развития – флуктуирующая асимметрия. Оценка качества атмосферного воздуха Ленинского района города Владивостока по флуктуирующей асимметрии листьев березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) позволила определить качество среды путем изучения асимметрии листьев березы. Научная новизна работы состоит в оценке пригодности использования методики биологической индикации в районах со специфическими природно-климатическими характеристиками, которые будут влиять на аэрационный режим территории. Практическая значимость работы заключается в том, что в результате исследования берез вблизи автомобильных дорог получены данные, которые свидетельствуют о том, что на территории Ленинского района качество среды оценено как крайне неблагоприятное, что является результатом отрицательного антропогенного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: атмосфера, воздух, выбросы, город Владивосток, качество воздуха, асимметрия, листья.

Для цитирования: Макарова В.Н., Пчелкин А.М., Исаева И.В. Оценка уровня загрязнения воздуха городской среды на территории Ленинского района города Владивостока / Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. 2022. № 1. С. 109–120. DOI: <https://doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2022-1/109-120>.

© Макарова В.Н., 2022

© Пчелкин А.М., 2022

© Исаева И.В., 2022

Original article

Estimation of the air in the urban environment in the territory of the Leninsky district of the city of Vladivostok

Vera N. Makarova

Aleksandr M. Pchelkin

Irina V. Isaeva

Vladivostok State University of Economics and Service

Vladivostok, Russia

Abstract. The article evaluates the state of the city's air environment using bioindication. The purpose of the work is to determine the level of atmospheric air pollution on the territory of the Leninsky district of the city of Vladivostok. With the development of industry, energy and means of transport, anthropogenic pollution of the biosphere caused by human activity is continuously increasing. Emissions of industrial pollution, energy systems, vehicles into the atmosphere have a direct impact on all living things. The study of the consequences of anthropogenic impact on the environment, considered in the work, was carried out with the use of biological indication methods. For this purpose, living organisms were used as bioindicators reflecting the state of the environment. The optimal bioindicators in the city are birch leaves, since these are trees with high absorption abilities. During the formation of a leaf plate, as toxic substances accumulate, growth processes are inhibited and the leaf is deformed. The most accessible and widely used morphogenetic measure of developmental instability is fluctuating asymmetry. Assessment of the atmospheric air quality of the Leninsky district of Vladivostok by the fluctuating asymmetry of the leaves of the fluffy birch (*Vetula Pubescens* Ehrh.), allowed us to determine the quality of the environment by studying the asymmetry of birch leaves. The scientific significance of the work consists in assessing the suitability of using the biological indication technique in areas with specific natural and climatic characteristics that will affect the aeration regime of the territory. Practical significance of the work: as a result of the study of birch trees near highways, data were obtained that indicate that the quality of the environment in the Leninsky district is assessed as "extremely unfavorable", which is the result of negative anthropogenic impact on the environment.

Keywords: atmosphere, air, emissions, Vladivostok city, air quality, asymmetry, leaves.

For citation: Makarova V.N., Pchelkin A.M., Isaeva I.V. Estimation of the air in the urban environment in the territory of the Leninsky district of the city of Vladivostok // The Territory of new opportunities. The Herald of Vladivostok State University of Economics and Service. 2022. № 1. P. 109–120. DOI: <https://doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2022-1/109-120>.

Введение

Стремительное развитие городов, различных отраслей промышленности ведет к увеличению численности населения, потребления ресурсов, к росту количества транспорта и загрязнению биосферы. Именно загрязнение чаще всего приводит к нарушению нормального функционирования экологических систем [1].

Для современного этапа развития человечества характерна интенсивная урбанизация, с учетом того, что в настоящее время большая часть населения проживает в городах. К положительным условиям жизни в городе относится довольно простое решение социальных проблем. Городская среда максимально трансформирована, и качество жизни в ней с точки зрения биологических пока-

зателей человеческой жизни намного сложнее. Тем важнее проводить периодическую оценку качества урбанизированной среды.

Оценивать качество среды, ее благоприятность или опасность для человека необходимо через влияние загрязнённого воздуха на все компоненты биоты не только в черте города, но и за его пределами.

Целью работы является определение уровня загрязнения атмосферного воздуха на территории Ленинского района города Владивостока.

В наибольшей степени на состояние атмосферного воздуха в городе влияют промышленные предприятия и автотранспорт. Уровень автомобилизации в России достиг 200 автомобилей на 1000 жителей и продолжает быстро расти. Город Владивосток относится к городам с наибольшим показателем автомобилизации в России.

Загрязнители, поступающие в урбанизированную среду, нарушают гомеостаз городской среды, изменяют естественные процессы круговорота веществ и перехода энергии по трофическим цепям [2–4]. Под угрозой оказываются все живые организмы, населяющие городскую среду. Проводить оценку качества урбанизированной среды можно с помощью химических методов либо на основе оценки состояния биологических объектов. Метод оценки факторов первой и второй природы в урбанизированной и природной среде при помощи биологических систем называется биоиндикацией.

Неоспоримым достоинством биологических методов оценки состояния окружающей среды является достаточно быстрая реакция организма на любые отклонения факторов среды от нормы. Это отмечено в работах таких авторов, как И.С. Выходцева [5], Т.Г. Акатьева [6], А.А. Зорина [7–9], М.Г. Опекунова [10], Ю.А. Балашкевич [11], С.Г. Баранов [12], О.П. Мелехова [13]. Кроме того, именно с помощью биологических показателей можно получить не просто числовые значения, а данные с точки зрения реакции организма на показатели окружающей среды. Так, например, город Владивосток характеризуется высокими скоростями ветра, а, следовательно, продувным ветровым режимом. Биологически организмы все время находятся в урбанизированной среде, и наличие ветрового режима не будет негативно отражаться на результатах исследований. Однако при апробации этой методики нет данных об учете аэрационного режима территории при длительном нахождении индикаторов в урбанизированной среде с достаточно высокими скоростями ветра.

При проведении биоиндикации необходимы информативные биологические объекты, называемые биоиндикаторами. Биоиндикатор – особи одного вида или другой таксономической группы в сообществе, по наличию, состоянию и поведению которых судят об изменениях в природной среде, о присутствии и концентрации загрязнителя [9,14]. Преимущество использования для исследования биоиндикаторов заключается в том, что они позволяют по целому ряду причин более эффективно, быстрее, гуманнее, дешевле, технически проще определять воздействие окружающей среды на биосистему, в том числе – воздействие на человека [5].

Виды реакций чувствительных организмов-биоиндикаторов: изменение окраски растений, например хлороз, пожелтение, покраснение, серебристость листьев и другие; дефолиация и дефлорация – опадение листьев и цветов; некроз – отмирание ограниченных частей ткани; синергизм – совместное действие нескольких стрессоров окружающей среды (минимум двух), когда их составляющие суммируются; ингибирование – торможение или замедление жизненных процессов, эффектов действия антропострессоров; эмерджентность – наличие у системного целого особых новейших свойств, которые не наблюдаются при действии стрессоров в отдельности.

Возможны следующие уровни биоиндикации: биохимические и физиологические реакции; анатомические, морфологические, биоритмические и поведенческие реакции; флористические, фаунистические, хорологические изменения (первые два относятся к изменениям с флорой и фауной, а хорологические относятся к изменениям в расположении организмов в пространстве); биоценотические изменения; ландшафтные – высший уровень биоиндикационных нарушений.

Биоиндикация может происходить на уровне макромолекул, клетки, организма, популяции, экосистемы.

Как известно, воздух представляет собой смесь газов, которая в разных регионах Земли представлена в приблизительно равных пропорциях. Загрязнение атмосферного воздуха не имеет границ, поскольку постоянно происходит перемещение воздушных масс в атмосфере, следовательно, проблемы охраны воздуха являются межрегиональными проблемами.

От загрязнения воздуха страдают все живые организмы, однако для растений оно представляет наибольшую опасность, так как растения не могут менять своё место нахождения и непрерывно подвергаются влиянию вредного фактора, если таковой появился в окружающих растения компонентах природной среды (воздухе, воде, почве). Именно поэтому растения наиболее пригодны для обнаружения неблагоприятных изменений состава воздуха.

Так, в зависимости от изменчивости морфологических признаков воздуха можно судить о качестве городской среды, в частности о качестве воздуха. В основном о характере этих изменений можно судить по нарушению стабильности развития и величине показателя асимметрии [14]. Одними из главных достоинств метода биоиндикации является простота, доступность; не нужно много громоздкого оборудования, реактивов. Реакции живого организма позволяют оценить антропогенное воздействие на среду обитания человека.

Наиболее доступная и широко применяемая морфогенетическая мера нарушения стабильности развития – флуктуирующая асимметрия, которая наблюдается при нарушениях в развитии организма вследствие антропогенных воздействий [9].

Цель работы: определение уровня загрязнения атмосферного воздуха на территории Ленинского района города Владивостока.

Объект работы – листовая пластина березы.

Предмет исследования – качество атмосферного воздуха Ленинского района города Владивостока.

Методы исследования разработаны в Институте биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН авторским коллективом ученых под руководством д-ра биол. наук, чл.-корр. РАН В.М. Захарова и рекомендованы Центром экологической политики России; в работе использовались методы сравнения, анализа, классификации, а также применялось стандартное программное обеспечение для математической обработки результатов натурных исследований.

Основная часть

Ленинский район является одним из самых оживленных районов города Владивостока. В этот район входят улицы с одним из самых высоких уровней автомобильного трафика, например, проспект Красного Знамени.

Для определения пригодности использования методики биологической индикации в районах со специфическими природно-климатическими характеристиками, которые будут влиять на аэрационный режим территории, были выбраны места отбора индикаторов с одинаковой удаленностью от автодороги, но разными аэрационными режимами для анализа: первый участок – пересечение проспекта Красного Знамени и улицы Гоголя (место отбора закрыто с одной стороны первым эшелон застройки – хорошо проветриваемые территории); второй участок – пересечение проспекта Красного Знамени и улицы Некрасовской (место отбора закрыто с трех сторон первым эшелон застройки – удовлетворительно проветриваемые территории). Интенсивность автотранспорта на данных участках дорог одинаковая. Индикатор находится на исследуемой территории пролонгированное время (до 4-5 месяцев).

Оценка уровня состояния атмосферного воздуха была проведена с помощью метода оценки качества среды, разработанного в Институте биологии развития им. Н.К. Кольцова. С помощью данного метода можно определить флуктуирующую асимметрию и в дальнейшем с помощью шкалы оценки определить степень загрязнения атмосферного воздуха [15].

Условия отбора материала:

- деревья принадлежали к одному виду берез;
- листья были собраны с растений, находящихся в сходных условиях (в нашем случае вблизи автодорог с высокой интенсивностью движения);
- учитывался возраст деревьев; у всех исследуемых деревьев возраст должен быть примерно одинаковым, о чем свидетельствуют примерно одинаковые диаметры столбов.

При сборе материала для натурных исследований учитывались следующие правила:

- вид растения. Для проведения натурных исследований был рассмотрен широко распространенный вид растения – береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.);
- время сбора. Сбор материала проводился после остановки роста листьев, в летний период и до опадания листьев осенью;
- возраст дерева. Для анализа были использованы только деревья генеративного возраста;

– число листьев. Каждая выборка включала в себя 100 листьев (по 10 листьев с 10 деревьев).

Измерения отобранного листа проводят по таким параметрам, как: ширина половинки листа; длина второй от основания листа жилки второго порядка; расстояние между основанием 1-й и 2-й жилок второго порядка; расстояние между концами 1-й и 2-й жилок второго порядка; угол между основной и второй от основания листа жилками второго порядка.

Жилки измеряют с точностью до 1 мм. Затем определяют процент асимметрии по приведённым выше показателям. Величину флуктуационной асимметрии оценивают с помощью интегрального показателя – величины среднего различия [16, 17]. Графические характеристики проводимых замеров представлены на рис. 1.

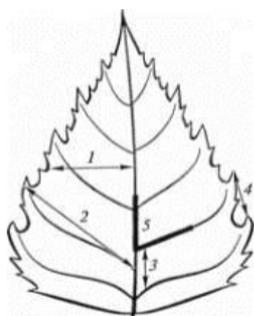


Рис. 1. Параметры измерений листа березы *Betula pubescens Ehrh.*

- 1 – ширина половинки листа; 2 – длина второй жилки от основания листа; 3 – расстояние между основаниями первой и второй жилками; 4 – расстояние между концами этих жилок; 5 – угол между главной и основными жилками

Математическая обработка результатов.

Расчёт интегрального показателя качества воздуха производили по методике В.М. Захарова [15]:

для каждого промеренного листа вычисляют относительные величины асимметрии для каждого признака. Для этого модуль разности между промерами слева и справа делят на сумму этих же промеров:

$$y_1 = \frac{x_R - x_L}{x_R + x_L}; \quad (1)$$

рассчитывают показатель асимметрии для каждого листа. Для этого суммируют значения относительных величин асимметрии по каждому признаку и делят на число признаков:

$$Z_1 = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5}{5}; \quad (2)$$

определяют среднее относительное отличие на один признак для 10 листьев одного дерева:

$$Z_1 = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + y_9 + y_{10}}{10}. \quad (3)$$

Последний показатель характеризует степень асимметрии организма.

При оценке величины асимметрии по нескольким размерным признакам применяется интегральный показатель, который показывает среднее относительное различие между сторонами на признак [15, 16, 18, 19].

Для оценки данного показателя имеется пятибалльная шкала отклонения от нормы, в которой 1 балл – условная норма, а 5 баллов – критическое состояние [15].

Применение метода на практике и результаты исследования.

Были собраны образцы биологического материала для исследования в Ленинском районе на пересечении проспекта Красного Знамени и улицы Гоголя, а также проспекта Красного Знамени и улицы Некрасовской в 2021 году. Сбор листовых пластинок березы был проведен в сентябре. При сборе и отборе биологического материала учитывались все правила используемой методики.

Далее были проведены измерения по всем указанным параметрам. Затем нами была составлена таблица для результатов измерений всех листьев. Результаты замеров первых 10 листьев левой и правой стороны первого дерева за 2021 год представлены в табл. 1. В процессе работы выполнено около 2000 замеров.

Таблица 1

Пример результатов замеров, мм

Лист	Левая сторона дерева					Правая сторона дерева				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	35	50	6	32	40	37	52	5	31	41
2	37	50	9	20	30	36	52	10	23	31
3	36	50	7	18	34	35	52	8	19	38
4	36	42	8	19	29	35	40	9	20	27
5	35	40	6	15	35	37	39	8	16	37
6	35	35	9	28	37	37	33	10	16	36
7	37	43	9	20	30	39	41	7	24	34
8	39	47	10	37	33	33	49	11	35	36
9	38	48	10	20	26	39	46	9	22	29
10	40	47	7	18	32	41	44	9	16	36

Следующим этапом стала расчетная часть методики:

1. Для каждого промеренного листа вычислили относительные величины асимметрии для каждого признака и представили расчетные данные для пяти значений (y_1, \dots, Y_5) (табл. 2).

2. Определили среднее относительное отличие на один признак для 10 листьев одного дерева (табл. 3).

Таблица 2

Относительные величины асимметрии для каждого признака за 2021 год

У ₁	У ₂	У ₃	У ₄	У ₅
0,0277	0,0196	0,0909	0,0158	0,0123
0,0137	0,0196	0,0526	0,0697	0,0163
0,0140	0,0196	0,0667	0,0270	0,0555
0,0140	0,0243	0,0588	0,0256	0,0357
0,0278	0,0126	0,1428	0,0322	0,0277
0,0278	0,0294	0,0526	0,2727	0,0136
0,0263	0,0238	0,1250	0,0909	0,0625
0,7886	0,0824	0,0476	0,0277	0,0434
0,0129	0,0212	0,0526	0,0476	0,0545
0,0123	0,0329	0,1250	0,0588	0,0588

Таблица 3

Пример среднего относительного отличия на пересечении дорог проспекта Красного Знамени и улицы Некрасовской

z ₁	z ₂	z ₃	z ₄	z ₅	z ₆	z ₇	z ₈	z ₉	z ₁₀
0,0333	0,0344	0,0365	0,0317	0,0486	0,0790	0,0657	0,0340	0,0378	0,0575

Оценка загрязненности воздуха проводилась по шкале (табл. 4).

Таблица 4

Шкала отклонения от нормы

№ п/п	Оценочная шкала	Характеристика состояния воздушной среды
1	<0,055	Чистый воздух
2	0,055–0,060	Относительно чистый воздух
3	0,060–0,065	Загрязненный воздух
4	0,065–0,070	Сильно загрязненный воздух
5	0,070>	Очень сильно загрязненный воздух

Таким образом, для выборки на пересечении дорог проспекта Красного Знамени и улицы Некрасовской (удовлетворительно проветриваемые территории) показатель степени асимметрии организма составляет 0,074, что соответствует 5 баллам и является показателем очень сильно загрязненного воздуха;

для выборки на пересечении проспекта Красного Знамени и улицы Гоголя (хорошо проветриваемые территории) – 0,066, что соответствует 4 баллам и является показателем сильно загрязненного воздуха. Проанализировав результаты, можно сделать вывод, что методика биологической индикации, при которой индикатор находится пролонгированное время на исследуемой территории, может применяться в районах со специфическими природно-климатическими характеристиками, которые будут влиять на аэрационный режим территории.

Заключение

Биоиндикация является актуальным методом исследования, который позволяет выявить степень и интенсивность воздействия того или иного поллютанта, а также проследить динамику деградации экосистем во времени и пространстве. В городской среде в качестве биоиндикатора оптимально использовать зеленые насаждения (в нашем случае ими являются древесные растения). С их помощью можно изменять температуру урбанизированной среды, влиять на скорость ветра и территорию распространения шума, а также корректировать влажность воздуха.

С помощью метода флуктуирующей асимметрии была проведена оценка качества окружающей среды на примере Ленинского района города Владивостока.

Для постановки эксперимента были выбраны две площадки произрастания берез в Ленинском районе как одном из самых оживленных районов города Владивостока: на пересечении дорог проспекта Красного Знамени и улицы Некрасовской, затем на пересечении проспекта Красного Знамени и улицы Гоголя в 2021 году. Был отобран биологический материал для исследования на выбранных площадках, произведена математическая обработка полученных данных.

Все деревья находились в стрессовых условиях, вблизи автомобильных дорог с одинаковой интенсивностью движения. В результате расчетов было получено следующее: качество воздуха на пересечении дорог проспекта Красного Знамени и улицы Некрасовской (удовлетворительно проветриваемые территории) находится в пределах 5 баллов – очень сильно загрязненный воздух, а на пересечении проспекта Красного Знамени и улицы Гоголя (хорошо проветриваемые территории) ситуация лучше, качество воздуха находится в пределах 4 баллов – сильно загрязненный воздух.

Таким образом, при апробации методики в районах со специфическими природно-климатическими характеристиками стоит отметить следующую научную новизну исследования: при одинаковой отдаленности места отбора индикаторов от автодорог, достаточно длительных сроках нахождения индикатора на исследуемой территории (до 4-5 месяцев), но различных аэрационных режимах территории индикатор будет отражать уровень изменения среды.

Следовательно, метод флуктуирующей асимметрии можно применять для территорий с различными аэрационными режимами территории и со специфическими природно-климатическими характеристиками.

Список источников

1. Макарова В.Н., Ткалич В.М., Деркаченко П.П. Оценка воздействия загрязняющих веществ на атмосферный воздух (на примере предприятия приморского филиала ООО «Ростелеком», г. Уссурийск) // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. – 2021. – Т. 13, № 2. – С. 99–108.
2. Рахмангулов Р.С., Ишбирдин А.Р., Салпагарова А.С. Флуктуирующая асимметрия – показатель дестабилизации или поиск путей адаптивного морфогенеза? // Вестник Башкирского университета. – 2014. – Т. 19, № 3. – С. 831–834.
3. Krupnova T., Mashkova I., Kostryukova A. Using birch leaves to indicate air pollution // International Journal of GEOMATE. – 2017. – № 13 (40). – С. 54–59.
4. Кушбокова Д.А. Биоиндикация как метод исследования экосистем // Достижения вузовской науки. – 2013. – № 4. – С. 14–17.
5. Выходцева И.С., Рыхлова Т.А. Биоиндикация как метод оценки окружающей среды: Актуальность и перспективы исследования // Вестник ландшафтной архитектуры. – 2015. – № 6. – С. 44–46.
6. Акатьева Т.Г. Оценка качества атмосферного воздуха в с. Армизонское Тюменской области методом биоиндикации // Вестник Нижневартовского государственного университета. – 2020. – № 2. – С. 151–156.
7. Зорина А.А., Коросов А.В. Изменчивость показателей и индексов асимметрии признаков листа в кроне *Betula pendula* (Betulaceae) // Ботанический журнал. – 2009. – Т. 94, № 8. – С. 1172–1192.
8. Зорина А.А., Коросов А.В. Оценка флуктуирующей асимметрии // Специальные методы биометрии. – Петрозаводск, 2007. – С. 79–88.
9. Зорина А.А., Коросов А.В. Характеристика флуктуирующей асимметрии листа двух видов берез в Карелии // Экология. Экспериментальная генетика и физиология: труды Карельского научного центра РАН. – Петрозаводск, 2007. – Вып. 11. – С. 28–36.
10. Опекунова М.Г., Башарин Р.А. Применение флуктуирующей асимметрии листьев березы (*betula pubescens* ehrh.) для оценки загрязнения окружающей среды в районе Костомукши // Вестник СПбГУ. – 2014. – Сер. 7, вып. 3. – С. 58–70.
11. Балашкевич Ю.А. Изменение флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой на неиспользуемых сельскохозяйственных землях // Нива Поволжья. – 2010. – № 1 (14). – С. 14–18.
12. Баранов С.Г. Изучение признаков для оценки флуктуирующей асимметрии листовой пластины липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) южной части Московской области // Фундаментальные медико-биологические науки и практическое здравоохранение. – Томск: СибГМУ, 2010. – С. 43–46.
13. Мелехова О.П., Егорова Е.И., Евсеева Т.И. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. – Москва: Академия, 2007. – 288 с.
14. Зарубин С.Л., Цветков И.Л. Принципы сбора тест-объекта и тест-показателя при биоиндикации и биотестировании сточных и природных вод. Биологические исследования в Ярославском гос. ун-те. – Ярославль, 1997. – С. 62–65.
15. Здоровье среды: практика оценки / В.М. Захаров, А.Т. Чубинишвили, С.Г. Дмитриев [и др.]. – Москва: Центр экологической политики России, 2000. – 318 с.
16. Развитие методики биоиндикационной оценки здоровья (качества) окружающей среды / А.Б. Стрельцов, И.Н. Лыков, Е.Л. Константинов, А.А. Логинов // Вестник Калужского ун-та. – Калуга: Изд-во КГУ им. К.Э. Циолковского, 2016. – № 2. – С. 100–104.

17. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). Утверждены Распоряжением МПР от 16.10.2003 № 460-р. – Москва, 2003. – Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901879474> (дата обращения: 15.01.2022).
18. Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений: учеб. пособие. – Санкт-Петербург: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2016. – 300 с.
19. Алексеева Т.Н. Исследование окружающей среды методом биоиндикации // Экологічна безпека. – 2008. – № 3, 4. – С. 46–49.

References

1. Makarova V.N., Tklich V.M., Derkachenko P.P. Assessment of the impact of pollutants on atmospheric air (on the example of the enterprise of the Primorsky branch of Rostelecom LLC, Ussuriysk) // The territory of new opportunities. Bulletin of Vladivostok State University of Economics and Service 2021. – Vol. 13, № 2. – P. 99–108.
2. Rakhmangulov R.S., Ishbirdin A.R., Salpagarova A.S. Fluctuating asymmetry-an indicator of destabilization or the search for ways of adaptive morphogenesis? // Bulletin of Bashkir University. – 2014. – Vol. 19? № 3. – P. 831–834.
3. Krupnova T., Mashkova I., Kostryukova A. Using birch leaves to indicate air pollution // International Journal of GEOMATE. – 2017. – № 13 (40). – P. 54–59.
4. Kushbokova D.A. Bioindication as a method of ecosystem research // Achievements of university science. – 2013. – № 4. – P. 14–17.
5. Vykhodtseva I.S., Rykhlova T.A. Bioindication as a method of environmental assessment: Relevance and prospects of research // Bulletin of Landscape Architecture. – 2015. – № 6. – P. 44–46.
6. Akatieva T.G. Assessment of atmospheric air quality in Armizonskoye village of Tyumen region by bioindication method // Bulletin of Nizhnevartovsk State University. – 2020. – № 2. – P. 151–156.
7. Zorina A. A., Korosov A.V. Variability of indicators and indices of asymmetry of leaf features in the crown of *Vetula pendula* (Betulaceae) // Botanical Journal. – 2009. – Vol. 94, № 8. – P. 1172–1192.
8. Zorina A. A., Korosov A.V. Evaluation of fluctuating asymmetry // Special methods of biometrics. – Petrozavodsk, 2007. – P. 79–88.
9. Zorina A. A., Korosov A.V. Characteristics of fluctuating leaf asymmetry of two types of birch trees in Karelia // Ecology. Experimental genetics and physiology. Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – Petrozavodsk, 2007. – Issue 11. – P. 28–36.
10. Opekunova M. G. , Basharin R. A. Application of fluctuating asymmetry of birch leaves (*betula pubescens* ehrh. to assess environmental pollution in the Kostomuksha area) // Bulletin of St. Petersburg State University. – 2014. – Ser. 7, Issue 3. – P. 58–70.
11. Balashkevich Yu. A. Change in fluctuating asymmetry of birch leaves hanging on unused agricultural lands // Niva of the Volga region. – 2010. – № 1 (14). – P. 14–18.
12. Baranov S.G. The study of signs for assessing the fluctuating asymmetry of the leaf plate of small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) in the Southern part of the Moscow region // Fundamental medical and biological sciences and practical healthcare. – Tomsk: SibSMU, 2010. – P. 43–46.
13. Melekhova O.P., Egorova E.I., Evseeva T.I. Biological control of the environment: bioindication biotesting. – Moscow: Academy, 2007. – 288 p.

14. Zarubin S. L., Tsvetkov I. L. Principles of collecting a test object and a test indicator for bioindication and biotesting of wastewater and natural waters. Biological research in Yaroslavl State University. University-Yaroslavl, 1997. – P. 62–65.
15. Environmental health: assessment practice. / V.M. Zakharov, A.T. Chubinishvili, S.G. Dmitriev [et al.] – Moscow: Center for Environmental Policy of Russia, 2000. – 318 p.
16. Development of the bioindicational assessment of the health (quality) of the environment. / A.B. Streltsov, I.N. Lykov, E.L. Konstantinov, A.A. Loginov // Bulletin of the Kaluga University. Kaluga: Publishing House of K.E. Tsiolkovsky KSU. – 2016. – № 2. – P. 100–104.
17. Methodological recommendations for assessing the quality of the environment according to the state of living beings (assessment of the stability of the development of living organisms by the level of asymmetry of morphological structures). Approved by the Order of MPR №460-r of 16.10.2003. – Moscow, 2003. – Text: electronic // Electronic Fund of legal and regulatory and technical documents: [site]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901879474> (date of application: 15.01.2022).
18. Опекунова М. Г. Bioindication of pollution: studies. stipend. – St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg University, 2016. – 300 p.
19. Alekseeva T.N. Environmental research by bioindication method//Environmental safety. – 2008. – № 3-4. – P. 46–49.

Информация об авторах:

Макарова Вера Николаевна, канд. техн. наук, доцент кафедры туризма и экологии ВГУЭС, г. Владивосток. E-mail: Vera.Makarova@vvsu.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0575-2901>

Пчелкин Александр Михайлович, студент кафедры туризма и экологии ВГУЭС, г. Владивосток. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5673-3981>

Исаева Ирина Вячеславовна, студент кафедры туризма и экологии ВГУЭС, г. Владивосток. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5629-5851>

DOI: <https://doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2022-1/109-120>

Дата поступления:
15.02.2021

Одобрена после рецензирования:
10.03.2022

Принята к публикации:
15.03.2022