

УДК 504.75.05(470.26)

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДА КАЛИНИНГРАДА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ЛИХЕНОИНДИКАЦИОННОГО КАРТИРОВАНИЯ****Пунгин А.В., Чайка К.В., Федурев П.В., Парфенова Д.А.***ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», Калининград,  
e-mail: APungin@kantiana.ru*

Ввиду своей симбиотической природы и морфологических особенностей лишайники очень чувствительны к изменениям условий окружающей среды, они зарекомендовали себя в качестве тест-объекта для оценки состояния атмосферной среды. В настоящее время во многих областях мира наблюдается эффект эвтрофикации воздуха, вызванный поступлением в атмосферу большого количества химически активных соединений азота (аммиак, оксиды азота, аммоний, нитраты). Повышенное осаждение соединений азота оказывает негативное воздействие на функционирование наземных экосистем. Особенно остро проблема загрязнения ощущается в городах: так, например, в Калининграде ежегодно фиксируются превышения допустимых концентраций по содержанию диоксида азота и взвешенных веществ. В связи с тем, что физико-химические методы дают качественные и количественные характеристики состояния загрязнения атмосферного воздуха, но не позволяют судить о биологических последствиях загрязнения, перспективным является применение современных лишайноиндикационных методов, позволяющих в сочетании со стандартным подходом, получить наиболее полную информацию о состоянии воздушного бассейна города. Для биоиндикационного исследования был выбран стандартизированный метод оценки разнообразия эпифитных лишайников – VDI 3957 Part 13. По результатам исследования было показано, что на территории города увеличивается доля видов-индикаторов эвтрофикации (нитрофитов) и снижается доля референтных видов по сравнению с фоновыми территориями. Согласно лишайноиндикационному картированию, большая часть обследованной городской территории характеризуется низким качеством воздуха (62%, 24 квадрата). Наименьшую долю (5%, 2 квадрата) составляют зоны с высоким качеством атмосферного воздуха, покрывающие территории городских парков. Очень сильное влияние эвтрофицирующих соединений установлено в подавляющем числе квадратов – 95%. Таким образом, для большей части обследованной территории г. Калининграда характерно очень низкое качество воздуха с очень сильным воздействием эвтрофицирующих соединений.

**Ключевые слова:** лишайники, лишайноиндикация, качество воздуха, Калининград**GEOECOLOGICAL EVALUATION OF THE ATMOSPHERIC AIR CONDITION OF THE CITY OF KALININGRAD WITH THE APPLICATION OF THE LICHEN INDICATION MAP METHOD****Pungin A.V., Chayka C.V., Feduraev P.V., Parfenova D.A.***Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, e-mail: APungin@kantiana.ru*

Due to their symbiotic nature and morphological features, lichens are very sensitive to changes in environmental conditions, they have proven themselves as a test object for assessing the status of the atmospheric environment. At present, in many regions of the world, the effect of air eutrophication is observed, caused by the entry into the atmosphere of a large number of chemically active nitrogen compounds (ammonia, nitrogen oxides, ammonium, nitrates). Increased deposition of nitrogen compounds has a negative impact on the functioning of terrestrial ecosystems. The problem of pollution is especially acute in cities, for instance, in Kaliningrad, the excess of permissible concentrations of nitrogen dioxide and suspended matter is recorded annually. As physical and chemical methods give qualitative and quantitative characteristics of the status of atmospheric air pollution, but do not allow one to judge the biological consequences of pollution, it is promising to use modern lichen indication methods that, in combination with a standard approach, could obtain the most complete information on the state of air in the city. For the lichen indication study, a standardized method for assessing the diversity of epiphytic lichens, VDI 3957 Part 13, was chosen. The study showed that the proportion of eutrophication indicator types (nitrophytes) increases in the city and the proportion of reference species decreases compared to the background territories. According to the lichen indication method, most of the surveyed urban area is characterized by poor air quality (62%, 24 squares). The smallest proportion (5%, 2 squares) are zones with high quality of atmospheric air covering the territory of city parks. A very strong effect of eutrophication compounds is found in the overwhelming number of squares – 95%. The most part of the city of Kaliningrad is characterized by a very low air quality with a very strong effect of eutrophication compounds.

**Keywords:** lichens, lichen indication method, air quality, Kaliningrad

Лишайники очень чувствительны к изменениям условий окружающей среды, особенно, вызванным загрязнением атмосферы, эвтрофикацией (химически активными формами азота) и изменением климата [1, 2].

Высокая чувствительность лишайников объясняется тем, что таллом лишайника представляет собой комплексную симбиотическую ассоциацию между грибом (микобионт) и зеленой водорослью и/или ци-

анобактерией (фотобионт). В отличие от высших растений, у лишенизированных грибов отсутствует какой-либо защитный слой (кутикула), поэтому загрязняющие компоненты могут легко проникнуть в гифы гриба и клетки водорослей [3, 4].

Лишайники зарекомендовали себя в качестве объекта для проведения биомониторинговых исследований и в данной области активно используются уже более пятидесяти лет [4]. Видовое разнообразие лишенобиоты является индикатором состояния атмосферной среды [5–7]. В настоящее время во многих областях мира наблюдается эффект эвтрофикации воздуха, вызванный поступлением в атмосферу большого количества эвтрофирующих соединений. К ним относятся химически активные формы азота: аммиак ( $\text{NH}_3$ ), монооксид азота ( $\text{NO}$ ), диоксид азота ( $\text{NO}_2$ ), закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ), аммоний ( $\text{NH}_4^+$ ), нитраты ( $\text{NO}_3^-$ ) и другие соединения, которые в воздухе находятся в растворенном виде и в составе твердых частиц, являются крайне подвижными и трансформируются друг в друга. Загрязнение эвтрофирующими соединениями – результат деятельности промышленных и мусороперерабатывающих предприятий, птице- и животноводческих ферм, сельскохозяйственного сектора, а также автотранспорта [8, 9].

По составу загрязняющих веществ атмосферный воздух Калининграда является типичным для современных городов с развитой транспортной инфраструктурой. В городе мониторинг загрязнения воздуха осуществляется на 16 постах, ежегодно регистрируются превышения допустимых концентраций по содержанию диоксида азота, взвешенных веществ, формальдегиду, бенз(а)пирену [10]. Согласно государственному докладу об экологической обстановке в Калининградской области [10], основными источниками загрязнения атмосферного воздуха города Калининграда являются автотранспорт, предприятия жилищно-коммунального хозяйства, машиностроения и судоремонта, электроэнергетики, строительной, мебельной и пищевой промышленности. Физико-химические методы дают качественные и количественные характеристики состояния загрязнения атмосферного воздуха, но не позволяют судить о биологических последствиях загрязнения. Кроме того, посты мониторинга не покрывают равномерной сетью всю территорию города, а располагаются то-

ечно. В связи с этим для оценки качества воздуха перспективным является применение современных лишеноиндикационных методов, что позволит, в сочетании с физико-химическими методами контроля, получить наиболее полную информацию о состоянии воздушного бассейна административного центра региона. Цель исследования – оценить качество атмосферного воздуха города Калининграда лишеноиндикационным методом.

### Материалы и методы исследования

Для учета загрязнения атмосферного воздуха в г. Калининграде был выбран стандартизированный метод оценки разнообразия эпифитных лишайников, разработанный Союзом немецких инженеров (VDI). Данный метод предназначен для определения качества воздуха и оценки влияния эвтрофирующих соединений [3]. Территория Калининграда была разбита на сеть квадратов площадью один квадратный километр ( $1 \times 1$  км), где производился учет видового разнообразия и встречаемости лишайников на 5–10 отдельно стоящих, прямостоящих, здоровых деревьях таких видов, как *Fraxinus excelsior* L., *Tilia cordata* Mill., *Acer platanoides* L., *A. pseudoplatanus* L., *A. saccharinum* L. и др. Обследование проводилось в весенне-осенний период 2016–2018 гг. в 39 квадратах на территории города Калининграда.

Решетки для учета лишайников размещались в четырех сегментах на высоте полутора метров от земли, с экспозицией по сторонам света (север, восток, юг, запад). Решетка для учета лишайников состоит из пяти квадратов, каждый из которых имел размер  $10 \times 10$  см. В каждом квадрате были идентифицированы виды лишайников и посчитана частота встречаемости по всем видам в сегменте. Лишайники, идентификация видовой принадлежности которых была затруднена в полевых условиях, были определены с использованием стандартных лишенологических методов на базе Гербария (KLGU) Института живых систем БФУ им. И. Канта. Виды-индикаторы эвтрофикации (нитрофиты) рассматривались отдельно от других лишайников – референтных видов. Был произведен расчет значения разнообразия лишайников (FDW) отдельно для референтных ( $\text{FDW}_{\text{Ref}}$ ) и видов-индикаторов эвтрофикации ( $\text{FDW}_{\text{Eu}}$ ). Комбинированный индекс качества воздуха (LGI) определялся по матрице (рис. 1).

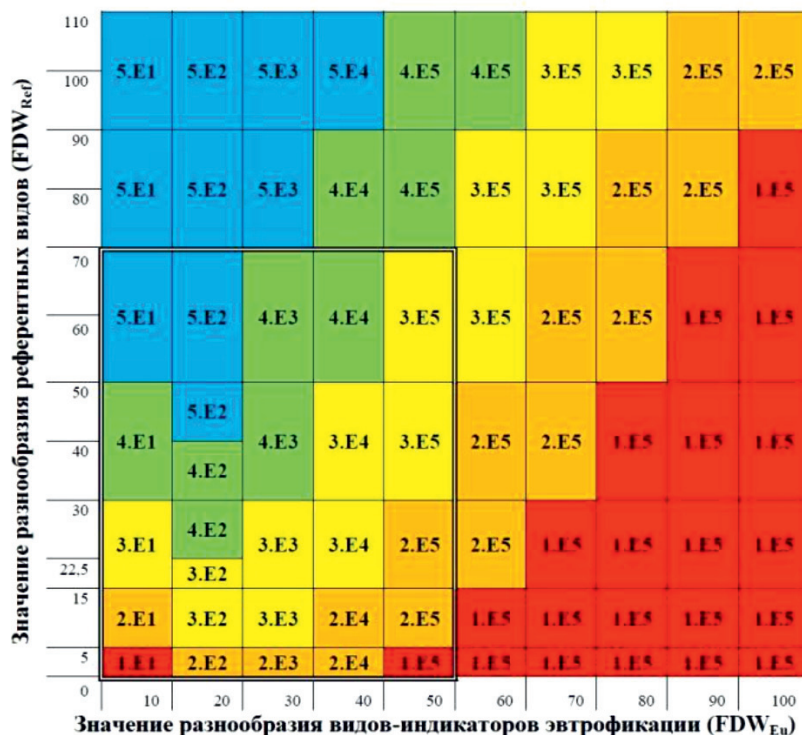


Рис. 1. Матрица оценки качества воздуха (LGI) путем комбинации значений разнообразия референтных видов и видов-индикаторов эвтрофикации [3, 6, 11]

Показатели, входящие в состав комбинированного индекса качества воздуха

| Первый показатель | Качество воздуха | Второй показатель | Влияние эвтрофицирующих соединений |
|-------------------|------------------|-------------------|------------------------------------|
| 1                 | очень низкое     | E5                | очень сильное                      |
| 2                 | низкое           | E4                | сильное                            |
| 3                 | среднее          | E3                | среднее                            |
| 4                 | высокое          | E2                | низкое                             |
| 5                 | очень высокое    | E1                | очень низкое                       |

Интерпретация комбинированного индекса качества воздуха (LGI) проводилась согласно таблице [5]. Для сравнения полученных по г. Калининграду данных с фоновой территорией, где условно антропогенное воздействие ниже, были заложены пробные площадки на северо-восточной окраине города Зеленоградска (в основании Куршской косы), в лесопарковой зоне города Светлогорска и в окрестностях поселка Гастеллово Славского района Калининградской области.

Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2010, IBM SPSS Statistics Base, для проверки достоверности различий использовали U-критерий Манна – Уитни.

### Результаты исследования и их обсуждение

В г. Калининграде было обследовано 313 деревьев в 39 квадратах и 25 деревьев на фоновых территориях. В результате проведенных исследований по учету видового разнообразия лишайников, был составлен список эпифитных лишайников г. Калининграда, насчитывающий 68 видов [11–13], среди которых 18 видов, согласно методике [3], относятся к группе индикаторов эвтрофикации (нитрофитные лишайники). На фоновых территориях выявлено 43 вида (12 видов нитрофитов): на северо-восточной окраине г. Зеленоградска обнаружено 30 видов лишайников, на пробной площадке в лесопарковой зоне Светлогорска – 15 видов, в окрестностях пос. Гастеллово – 34 вида.

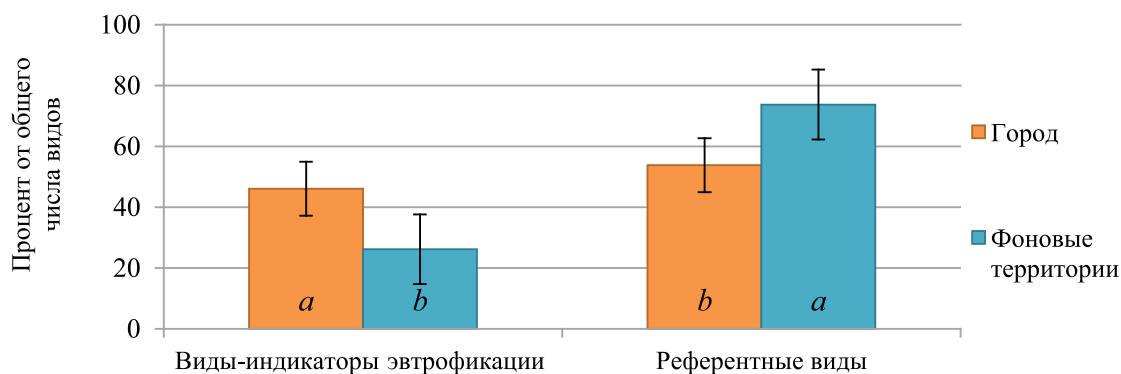


Рис. 2. Процентное соотношение видов – индикаторов эвтрофикации и референтных видов в г. Калининграде и на фоновых территориях (индексами *a* и *b* обозначены достоверно различающиеся данные  $p < 0,01$ )

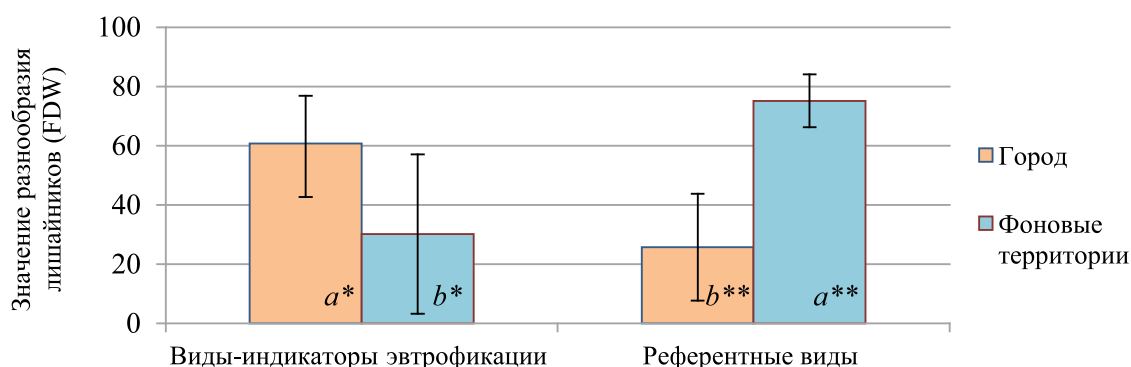


Рис. 3. Разнообразие видов – индикаторов эвтрофикации и референтных видов в г. Калининграде и на фоновых территориях (индексами *a* и *b* обозначены достоверно различающиеся данные, \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ )

В городе распределение количества видов лишайников в квадратах учета неравномерно и колеблется от 9 до 32 видов, со средним показателем  $23,2 \pm 6,16$ . В г. Калининграде среднее число видов эпифитных лишайников на одном дереве (форофите) составляет  $11,1 \pm 3,4$  с вариацией от 3 до 25 видов на одном форофите, что достоверно ниже ( $p < 0,001$ ) по сравнению с фоновыми территориями –  $15,4 \pm 3,9$ , где наименьшее разнообразие эпифитов на одном дереве обнаружено в лесопарковой зоне на территории города Светлогорска – 8 видов, а максимальное (23 вида) на окраине города Зеленоградска и в окрестностях пос. Гастеллово. В Калининграде число видов-индикаторов эвтрофикации варьирует от 5 до 14 видов, что составляет 25,0–66,7% в пересчете на процентное отношение от общего числа видов в квадрате, со средним значением для города  $46,1 \pm 8,9\%$  (рис. 2). Число референтных

лишайников варьирует от 4 до 24 видов, что в процентном отношении составляет 33,3 – 75,0%, со средним –  $53,9 \pm 8,9\%$ . В свою очередь, на фоновых территориях число видов-индикаторов эвтрофикации варьирует от 2 до 12 видов (13,3–35,3%), со средним значением в  $26,2 \pm 11,5\%$ ; видовое разнообразие референтных видов находится в пределах 13–22 видов (64,7–86,7%), со средним  $73,8 \pm 11,5\%$ . При проведении сравнительного анализа процентного соотношения видов-индикаторов эвтрофикации и референтных видов в Калининграде и на фоновых территориях было установлено наличие достоверных различий на уровне  $p < 0,01$ .

Значение разнообразия референтных видов лишайников ( $FDW_{Ref}$ ) в городе Калининграде колебалось от 2,2 до 92,5 со средним значением  $25,7 \pm 18,1$ . На фоновых территориях  $FDW_{Ref}$  составил  $75,1 \pm 8,9$ , что, согласно оценки разли-

чий с применением U-критерия Манна – Уитни, достоверно больше ( $p < 0,01$ ) по сравнению с городской территорией. Как видно из рис. 3, разнообразие видов – индикаторов эвтрофикации ( $60,8 \pm 16,1$ ; от 20,8 до 91,6) значительно ( $p < 0,05$ ) превышает фоновые территории, где  $FDW_{Eu}$  колебалось от 0,4 до 52,7 со средним значением  $30,2 \pm 26,9$ . Таким образом, на территории города, ввиду наличия особой экологической обстановки, связанной с загрязнением атмосферного воздуха и изменением микроклиматических условий, увеличивается доля видов-индикаторов эвтрофикации и снижается доля референтных видов по сравнению с фоновыми территориями.

На основании проведенных расчетов значений разнообразия видов-индикаторов эвтрофикации и референтных видов для каждого обследованного квадрата, а также определенных по матрице индексов LGI, была построена растровая картосхема качества атмосферного воздуха и влияния

эвтрофицирующих соединений на территории г. Калининграда (рис. 4).

Как видно из рис. 4, территорий с очень высоким качеством воздуха в г. Калининграде выявлено не было. Большая часть обследованной городской территории характеризуется низким качеством воздуха (62% от обследованной территории, 24 квадрата). Квадраты с низким и средним качеством воздуха занимают соответственно 20% и 13% обследованной территории, наименьшую долю (5%, 2 квадрата) составляют зоны с высоким качеством атмосферного воздуха, покрывающие территории городских парков. В подавляющем числе квадратов (95%) установлено очень сильное влияние эвтрофицирующих соединений. На основании полученных нами результатов лишеноиндикационного картирования г. Калининграда можно заключить, что для большей части обследованной территории характерно очень низкое качество воздуха с очень сильным воздействием эвтрофицирующих соединений.

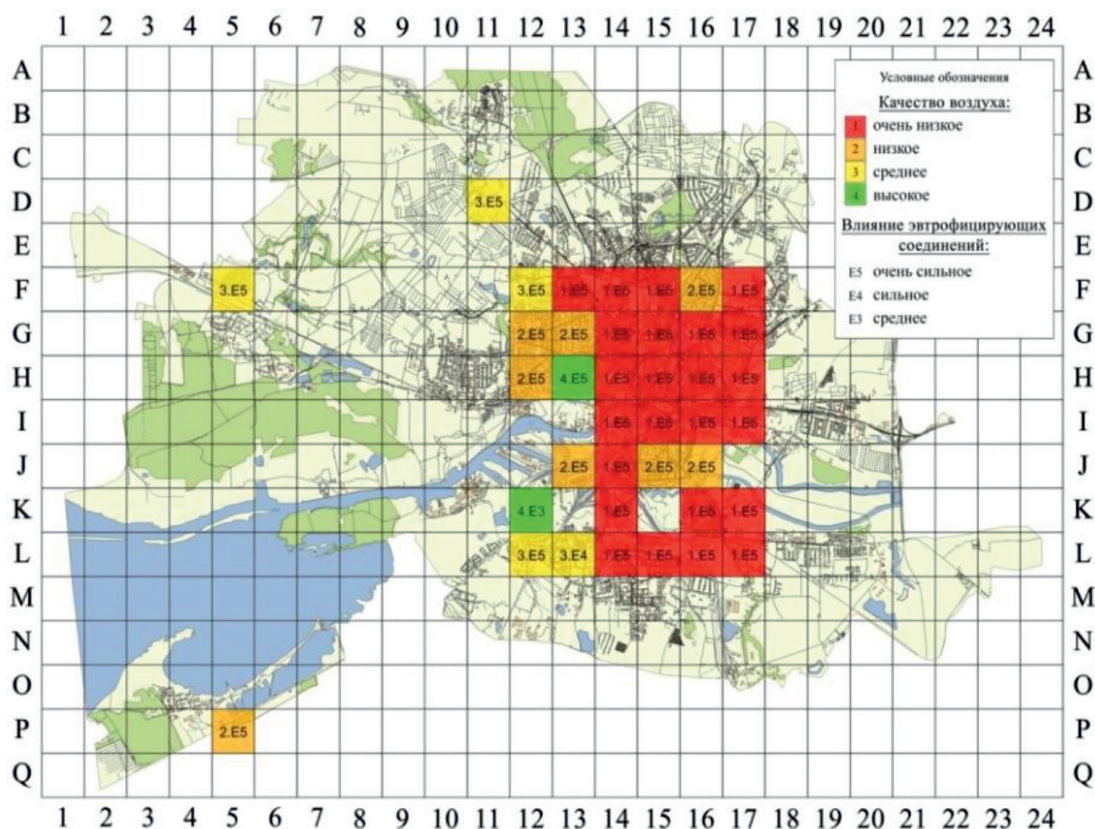


Рис. 4. Картосхема качества атмосферного воздуха и влияния эвтрофицирующих соединений на территории г. Калининграда согласно лишеноиндикационному картированию

В исследовании с применением данной методики в Германии в земле Гессен были получены схожие результаты, исследование проводилось на 20 пробных площадках, расположенных в г. Гиссен, Вецлар и на фоновых территориях [6]. В центральных частях городов и вблизи крупных автомагистралей качество воздуха было очень низким, в удалении от центра города происходило увеличение видового разнообразия лишенобиоты, а, следовательно, на повышении уровня качества воздуха до «среднего». Наилучший уровень качества воздуха – очень высокое качество воздуха со средним воздействием эвтрофицирующих соединений (5.E3) установлен в поселке Шлоссборн, расположенном на северо-западе от Франкфурта-на-Майне, в горном массиве Таунус. Исследователи пришли к выводу, что удаленность от городских агломераций, интенсивного автопотока и землепользования, расположение в лесистой, горной местности вносят существенный вклад в качество атмосферного воздуха данного населенного пункта. Очень важно отметить тот факт, что на всех обследованных территориях, кроме Шлоссборн, было отмечено очень сильное влияние эвтрофицирующих соединений (E5). Таким образом, авторами было показано, что как в сельских, так и в городских местностях в атмосферном воздухе присутствует избыток биодоступных соединений для лишайников [6].

В центральной части г. Калининграда имеется густая сеть автомобильных дорог, в том числе с очень высокой транспортной нагрузкой: улица Александра Невского, Советский, Ленинский и Московский проспекты. Таким образом, в настоящее время наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха с привнесением эвтрофицирующих соединений на территорию города, вносит автомобильный транспорт, что подтверждено рядом исследований [6, 14].

Для улучшения качества атмосферного воздуха в г. Калининграде необходимо провести модернизацию транспортной схемы; при строительстве, реконструкции и ремонте автомобильных дорог проводить мероприятия по озеленению автомагистралей – осуществлять высадку не только деревьев, но и кустарников для абсорбции поллютантов, увеличить долю муниципального электротранспорта; выделять специальные полосы для движения велосипедистов; проводить политику экологического просвещения населения, подчеркивая необходимость

перехода на велотранспорт. Реализация данных мер позволит существенно улучшить состояние воздушной среды в административном центре Калининградской области.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-34-00149.*

### Список литературы

1. Insarov G.E., Schroeter B. Lichen monitoring and climate change // *Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens*. NATO Science Series, IV. V. 7. Dordrecht: Kluwer, 2002. P. 183–201. DOI: 10.1007/978-94-010-0423-7\_13.
2. Nash III T.H. Nitrogen, its metabolism and potential contribution to ecosystems // *Lichen biology*. Cambridge University Press. 2010. P. 218–235. DOI: 10.1017/CBO9780511790478.
3. VDI 3957 Part 13. Biological measurement procedures for determining and evaluating the effects of ambient air pollution by means of lichens (bioindication). Mapping the diversity of epiphytic lichens as an indicator of air quality. Berlin. 2005. 27 p.
4. Бязров Л.Г. Лишайники в экологическом мониторинге / Л.Г. Бязров. – М.: Научный мир, 2002. – 336 с.
5. Van Herk C.M., Aptroot A., van Dobben H.F. Long-term monitoring in the Netherlands suggests that lichens respond to global warming // *Lichenologist* 34. 2002. P. 141–154. DOI: 10.1006/lich.2002.0378
6. Windisch U., Pungin A., Meckel T. Effects of road traffic pollution on lichen diversity as well as nitrogen and chlorophyll content of *Parmelia sulcata* in Hesse // *Gefährstoffe – Reinhaltung der Luft*. 2016. V. 76. Nr. 4. P. 128–135.
7. Цуриков А.Г. Лишайники Юго-Востока Беларуси (опыт лишеномониторинга): монография / А.Г. Цуриков. – М-во образования РБ, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2013. – 276 с.
8. Clark C.M., Bell M.D., Boyd J.W., Compton J.E., Davidson E.A., Davis C., Fenn M.E., Geiser L., Jones L., Blett T.F. Nitrogen-induced terrestrial eutrophication: cascading effects and impacts on ecosystem services // *Ecosphere*. 2017. V. 8. № 7. P. 1–17. DOI: 10.1002/ecs2.1877.
9. Bobbink R., Hicks K., Galloway J., Spranger T., Alkemade R., Ashmore M., Bustamante M., Cinderby S., Davidson E., Dentener F., Emmett B., Erisman J.-W., Fenn M., Gilliam F., Nordin A., Pardo L., De Vries W. Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis // *Ecological applications*. 2010. V. 20. № 1. P. 30–59. DOI: 10.1890/08-1140.1
10. Государственный доклад об экологической обстановке в Калининградской области в 2014 году // Правительство Калининградской области: Служба по экологическому контролю и надзору Калининградской области. – 2015. URL: [http://gov39.ru/vlast/sluzhby/ecology/zip/doklad\\_2014.pdf](http://gov39.ru/vlast/sluzhby/ecology/zip/doklad_2014.pdf) (дата обращения: 31.05.2018).
11. Pungin A., Dedkov V. Assessment of air quality by lichen indication method in the central part of Kaliningrad // *Research Journal of Chemistry and Environment*. 2017. V. 21(2). P. 32–39.
12. Пунгин А.В. Видовое разнообразие эпифитных лишайников города Калининграда / А.В. Пунгин, Д.А. Парфенова // Биоразнообразие: подходы к изучению и сохранению: материалы Международной научной конференции, посвященной 100-летию кафедры ботаники Тверского государственного университета (г. Тверь, 8–11 ноября 2017 г.). – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2017. – С. 334–339.
13. Pungin A., Windisch U., Skrypnik L., Chaika C., Fedurayev P. Biomonitoring the effects of eutrophication in Kaliningrad (Russia) with lichens and tree barks // *Gefährstoffe – Reinhaltung der Luft*. 2017. V. 77. Nr. 4. P. 137–142.
14. Nadler L., Stetzka K.M. Analysis of nitrogen contents in foliose lichens *Parmelia sulcata* and *Xanthoria parietina* and

air quality assessment according to VDI 3957 Part 13 around selected ambient air monitoring stations in Saxony (Germany) // *Gefährstoffe – Reinhaltung der Luft*. 2014. V. 74. Nr. 6. P. 255–262.

### References

1. Insarov G.E., Schroeter B. Lichen monitoring and climate change // *Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens*. NATO Science Series, IV. V. 7. Dordrecht: Kluwer, 2002. P. 183–201. DOI: 10.1007/978-94-010-0423-7\_13.
2. Nash III T.H. Nitrogen, its metabolism and potential contribution to ecosystems // *Lichen biology*. Cambridge University Press. 2010. P. 218–235. DOI: 10.1017/CBO9780511790478.
3. VDI 3957 Part 13. Biological measurement procedures for determining and evaluating the effects of ambient air pollution by means of lichens (bioindication). Mapping the diversity of epiphytic lichens as an indicator of air quality. Berlin. 2005. 27 p.
4. Byazrov L.G. Lishajniki v e'kologicheskom monitoringe / L.G. Byazrov. – M.: Nauchny'j mir, 2002. – 336 p.
5. Van Herk C.M., Aptroot A., van Dobben H.F. Long-term monitoring in the Netherlands suggests that lichens respond to global warming // *Lichenologist* 34. 2002. P. 141–154. DOI: 10.1006/lich.2002.0378
6. Windisch U., Pungin A., Meckel T. Effects of road traffic pollution on lichen diversity as well as nitrogen and chlorophyll content of *Parmelia sulcata* in Hesse // *Gefährstoffe – Reinhaltung der Luft*. 2016. V. 76. Nr. 4. P. 128–135.
7. Czurikov A. G. Lishajniki Yugo-Vostoka Belarusi (opy't lichenomonitoringa): monografiya / A.G. Czurikov. – M-vo obrazovaniya RB, Gomel'skij gos. un-t im. F. Skoriny'. – Gomel': GGU im. F. Skoriny', 2013. – 276 p.
8. Clark C.M., Bell M.D., Boyd J.W., Compton J.E., Davidson E.A., Davis C., Fenn M.E., Geiser L., Jones L., Blett T.F. Nitrogen-induced terrestrial eutrophication: cascading effects and impacts on ecosystem services // *Ecosphere*. 2017. V. 8. № 7. P. 1–17. DOI: 10.1002/ecs2.1877.
9. Bobbink R., Hicks K., Galloway J., Spranger T., Alkemade R., Ashmore M., Bustamante M., Cinderby S., Davidson E., Dentener F., Emmett B., Erisman J.-W., Fenn M., Gilliam F., Nordin A., Pardo L., De Vries W. Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis // *Ecological applications*. 2010. V. 20. № 1. P. 30–59. DOI: 10.1890/08-1140.1
10. Gosudarstvenny'j doklad ob e'kologicheskoy obstanovke v Kaliningradskoj oblasti v 2014 godu // *Pravitel'stvo Kaliningradskoj oblasti: Sluzhba po e'kologicheskomu kontrolyu i nadzoru Kaliningradskoj oblasti*. – 2015. URL: [http://gov39.ru/vlast/sluzhby/ecology/zip/doklad\\_2014.pdf](http://gov39.ru/vlast/sluzhby/ecology/zip/doklad_2014.pdf) (data obrashheniya: 31.05.2018).
11. Pungin A., Dedkov V. Assessment of air quality by lichen indication method in the central part of Kaliningrad // *Research Journal of Chemistry and Environment*. 2017. V. 21(2). P. 32–39.
12. Pungin A.V. Vidovoe raznoobrazie e'pifitny'x lishajnikov goroda Kaliningrada / A.V. Pungin, D.A. Parfenova // *Bioraznoobrazie: podxody' k izucheniyu i soxraneniyu: materialy' Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashhennoj 100-letiyu kafedry' botaniki Tverskogo gosudarstvennogo universiteta (g. Tver', 8–11 noyabrya 2017 g.)*. – Tver': Tver. gos. un-t, 2017. – P. 334–339.
13. Pungin A., Windisch U., Skrypnik L., Chaika C., Feduraev P. Biomonitoring the effects of eutrophication in Kaliningrad (Russia) with lichens and tree barks // *Gefährstoffe – Reinhaltung der Luft*. 2017. V. 77. Nr. 4. P. 137–142.
14. Nadler L., Stetzka K.M. Analysis of nitrogen contents in foliose lichens *Parmelia sulcata* and *Xanthoria parietina* and air quality assessment according to VDI 3957 Part 13 around selected ambient air monitoring stations in Saxony (Germany) // *Gefährstoffe – Reinhaltung der Luft*. 2014. V. 74. Nr. 6. P. 255–262.