

Оценка влияния городской среды на видовое разнообразие и физиолого-биохимические особенности лишайников

© 2020. А. В. Пунгин, к. г. н., старший преподаватель,
К. В. Чайка, к. б. н., доцент,
П. В. Федурев, к. б. н., старший преподаватель,
Н. В. Николаева, студент, А. С. Коломиец, студент,
Балтийский федеральный университет им. И. Канта,
236040, Россия, г. Калининград, ул. Университетская, д. 2,
e-mail: APungin@kantiana.ru

В статье приведены результаты оценки влияния микроклиматических параметров местообитаний и эмиссии аммиака на видовое разнообразие и физиолого-биохимические особенности лишайников. Исследование проводилось в 2018–2019 гг. на 4 пробных площадках в Калининградской области (Россия) и на 14 пробных площадках, размещённых как в центральной части г. Калининграда, так и на окраине. Выявлено увеличение среднесуточной температуры и снижение влажности воздуха и температуры точки росы в местах обитания лишайников в центральной части г. Калининграда по сравнению с окраиной города, а также пробными площадками на территории региона. Вероятно, установленные различия в микроклиматических параметрах местообитаний лишайников отражают эффект городского острова тепла. На 18 пробных площадках было обнаружено 63 вида эпифитных лишайников. Установлено, что увеличение содержания аммиака в атмосферном воздухе приводит к снижению частоты встречаемости чувствительных экологических и функциональных групп лишайников, при этом повышается частота встречаемости толерантных групп. Выявлены сильные положительные корреляционные связи между содержанием аммиака в атмосферном воздухе и физиолого-биохимическими параметрами *Parmelia sulcata*, такими как содержание азота, хлорофилла *a* и хлорофилла *b*. Также была показана связь распространения отдельных видов и групп с микроклиматическими параметрами местообитаний.

Ключевые слова: лишайники, город, микроклимат, качество воздуха, аммиак.

Assessment of the influence of the urban environment on species diversity and physiological and biochemical characteristics of lichens

© 2020. A. V. Pungin ORCID: 0000-0001-8374-3907, Ch. V. Chaika ORCID: 0000-0003-1390-1476,
P. V. Feduraev ORCID: 0000-0002-7577-6132, N. V. Nikolaeva ORCID: 0000-0002-6323-4862,
A. S. Kolomiets ORCID: 0000-0002-9142-6837,
Immanuel Kant Baltic Federal University,
2, Universitetskaya St., Kaliningrad, Russia, 236040,
e-mail: APungin@kantiana.ru

The article presents the results of assessing the influence of microclimatic parameters of habitats and ammonia emissions on the species diversity and physiological and biochemical characteristics of lichens. The study was conducted in 2018–2019 at 4 sample areas in the Kaliningrad region (Russia) and at 14 sample areas located both in the central part of Kaliningrad and on the outskirts. An increase in the average daily temperature and a decrease in air humidity and dew point temperature were revealed in the habitats of lichens in the central part of Kaliningrad as compared to the outskirts of the city, as well as sample areas in the region, which reflects the presence of the urban heat island in Kaliningrad. 63 species of epiphytic lichens were found at 18 sample areas. To identify the impact of the studied factors of the urban environment, the average frequency of occurrence of both individual species and taxonomic, ecological, and functional groups of species was calculated. It was found that an increase in the ammonia content in atmospheric air leads to a decrease in the frequency of occurrence of sensitive ecological and functional groups of lichens (Spearman correlation coefficient $r_s = -0.50$; $p \leq 0.05$), while the frequency of occurrence of tolerant groups increases ($r_s = 0.52$; $p \leq 0.05$). Strong positive correlation was found between the ammonia content in atmospheric air and the physiological and biochemical parameters of *Parmelia sulcata*: with the content of chlorophyll *a* ($r_p = 0.84$; $p \leq 0.001$), chlorophyll *b* ($r_p = 0.77$; $p \leq 0.001$) and nitrogen ($r_p = 0.88$; $p \leq 0.001$). It was shown that the frequency of occurrence of individual groups and species of lichens is associated not only with the impact of ammonia emissions, but also determined by

microclimatic parameters. Thus, an analysis of data for 2018 showed a moderate positive relationship between the dew point temperature of lichen habitats and the value of the diversity value of the reference species (FDW_{Ref}) ($r_s = 0.68$, $p \leq 0.001$), air temperature, and the diversity value of the indicators of eutrophication (FDW_{Eu}) ($r_s = 0.51$, $p \leq 0.05$) and a moderate negative relationship between relative humidity and FDW_{Eu} ($r_s = -0.54$, $p \leq 0.05$). An analysis of the data for 2019 showed a weak positive relationship between air temperature and FDW_{Eu} ($r_s = 0.47$, $p \leq 0.05$). The frequency of occurrence of *Hypogymnia physodes* has a strong negative relationship with air temperature ($r_s = -0.77$, $p \leq 0.01$), in turn, species such as *Melanohalea exasperatula*, *Xanthoria candelaria* and *X. polycarpa* have a positive relationship ($r_s = 0.50$, $p \leq 0.05$). The results obtained significantly complement the understanding of the distribution process of individual species and groups of lichen species and the acting limiting factors in urban areas.

Keywords: lichens, urban ecosystem, microclimate, air quality, ammonia.

Известно, что на урбанизированных территориях формируются особые климатические условия, которые связаны с изменением рельефа, присутствием искусственных потоков тепла, загрязнением воздуха, снижением испарения, что формирует эффект городского острова тепла, характеризующийся более высокой средней температурой, более низкой влажностью воздуха и более редкой конденсацией влаги, чем на окраине города и прилегающих территориях [1–3].

Лишайники, заселяющие городские районы, чутко реагируют на изменения различных факторов местообитаний [4–7]. Значительное количество исследований посвящается оценке степени воздействия экотоксикантов на видовой состав и функционирование объектов лишайнобиоты, в то время как работ, направленных на изучение роли климатических факторов городской среды (влажность воздуха, температура, инсоляция) неоправданно мало [4, 6]. Суровые условия городских территорий могут быть важным ограничивающим фактором для распространения пойкилогидридных организмов – лишайников, чей метаболизм зависит от воды, поступающей из окружающей среды [5, 6, 8]. Поскольку условия на урбанизированных территориях характеризуются многофакторностью и сочетанностью воздействий загрязнения воздуха и микроклиматических параметров, целью нашей работы являлось изучение воздействия загрязнения воздуха и микроклиматических параметров урбанизированных территорий на видовое разнообразие и физиолого-биохимические особенности лишайников.

Материалы и методы

Исследование проводили на 18 пробных площадках в Калининградской области (Россия), с акцентом на г. Калининград, где 13 пробных площадок были размещены в центральной части города и одна площадка (№ 10) – на его окраине (рис. 1). Также были исследованы по две территории на западе региона:

на окраинах приморских городов-курортов – лесопарковая зона в г. Светлогорске (№ 11) и Зеленоградске (№ 15) и на востоке области – в окрестностях пос. Пугачево (№ 17, 18). Выбор пробных площадок был основан на ранее проведенных исследованиях [9] и рекогносцировочном обследовании 2018–2019 гг.

Оценку видового разнообразия лишайников, а также биоиндикационную оценку качества воздуха осуществляли с применением стандартизированной методики [8], были рассчитаны значения разнообразия лишайников для видов-индикаторов эвтрофикации (FDW_{Eu}) и для референтных видов (FDW_{Ref}), определен индекс качества воздуха (LGI).

Оценку микроклиматических параметров мест произрастания лишайников, таких как относительная влажность (RL), температура воздуха (Lt) и температура точки росы (Tr), осуществляли на каждой площадке с применением датчика UNI-T UT330C USB. Параметры фиксировали каждые 5 мин с 17 июля по 3 августа 2018 г. и с 2 августа по 14 августа 2019 г. Параллельно осуществляли сбор данных по эмиссии аммиака (NH_3) с применением адсорбционного метода пассивного сбора аммиака (Radiello–RAD168). Изменения физиологических показателей анализировали путём определения содержания фотосинтетических пигментов (хлорофилла a и хлорофилла b) и азота в талломе *Parmelia sulcata* Taylor (98 проб). Экстракцию 99% раствором диметилсульфоксида и расчёт содержания фотосинтетических пигментов производили по методике Барнеса [11]. Определение общего содержания азота в пробах выполняли на CHNS-анализаторе «Elementar Vario EL cube».

Статистический анализ проводили с использованием программы IBM SPSS Statistics 23 (ANOVA с критерием HSD, коэффициент корреляции Спирмена (r_s) и Пирсона (r_p)). Канонический анализ соответствия (CCA) был выполнен с использованием программы

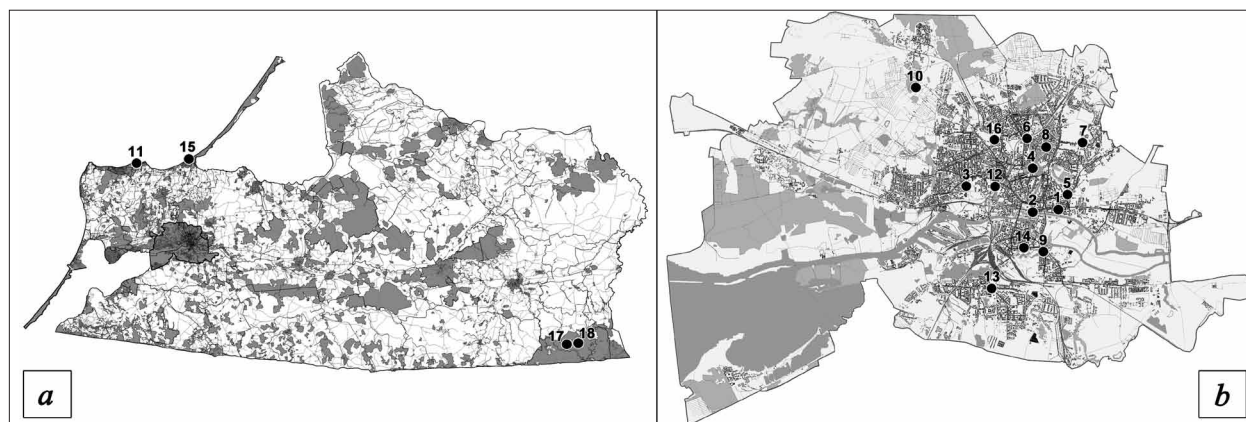


Рис. 1. Расположение пробных площадок в Калининградской области (а) и в городе Калининграде (b)
 Fig. 1. Position of the sample areas in the Kaliningrad region (a) and in the Kaliningrad city (b)

XLSTAT 2018.7. Для выявления связей между лишенобиотой и микроклиматическими параметрами местообитаний и эмиссией аммиака были произведены расчёты средней частоты встречаемости отдельных видов и функциональных групп видов, которые максимально распространены на исследуемых территориях (минимум 6 пробных площадок). На основании ранее проведённых исследований [3, 5, 12], были выделены следующие группы видов, экологические и функциональные группы лишайников: группа *Candelariella reflexa* (*ref*); группа *Phaeophyscia* и *Hypophyscia* (*phhy*); экологические группы – холодолюбивые (*kühl*) и теплолюбивые (*wärm*); сциофиты (*sci*) и гелиофиты (*hel*); мезогигрофиты (*hyg*), мезофиты (*mes*), ксерофиты (*xer*); ацидофилы (*acid*) и нейтрофилы (*neut*); олиготрофы (*olig*) и нитрофиты (индикаторы эвтрофикации) (*eutr*); суммарно нейтрофилы и нитрофиты (*NeEu*), а также ацидофилы и олиготрофы (*AcOl*); накипные (*Kru*), кустистые (*Str*) и листоватые, которые разделили на широколопастные (*grBl*) и узколопастные (*scBl*); суммарно кустистые и крупнолопастные (*StBl*); функциональные группы индикаторов эвтрофикации (*VDIeu*) и референтных видов (*VDIref*) [10]. Также были рассчитаны такие переменные, как общее число видов на пробной площадке (*sum_alle*), сумма частот всех лишайников (*mF_alle*) и частота встречаемости эпифитных лишайников (*mA_Ep*).

Результаты и обсуждение

В результате проведённых исследований на всех пробных площадках было обнаружено 63 вида эпифитных лишайников. Максимальное видовое разнообразие – 28 видов, установ-

лено на пробной площадке № 3 (Центральный парк). В городе большая часть обследованных площадок (64%) имеет очень низкое качество воздуха (LGI 1.E5).

Оценка микроклиматических параметров мест произрастания лишайников в 2019 и 2018 гг. показала различия: в 2018 г. установлена более высокая среднесуточная температура воздуха, температура точки росы и несколько меньшая влажность воздуха ($p \leq 0,05$) [12] по сравнению с 2019 г., что, вероятно, связано с более прохладной и влажной погодой [13]. За два года наблюдений фиксировались достоверные различия ($p \leq 0,05$) в значениях микроклиматических параметров местообитаний лишайников в городе Калининграде и на окраине города. Так, в 2019 г. отмечено повышение среднесуточной температуры $19,3 \pm 3,2$ °С, снижение влажности воздуха $76,2 \pm 15,7\%$ и температуры точки росы $14,6 \pm 2,1$ °С в г. Калининграде, по сравнению с окраиной города (пробная площадка № 10), где среднесуточная температура составляет $18,4 \pm 3,5$ °С, влажность воздуха $81,9 \pm 10,9\%$ и температура точки росы $14,9 \pm 2,1$ °С (рис. 2, см. цв. вкладку). Заметна разница между исследуемыми параметрами в городе, приморских районах и на востоке области (рис. 2), где установлена наиболее низкая влажность воздуха ($67,9 \pm 15,3\%$) и температура точки росы ($12,1 \pm 3,4$ °С), что отражает континентальный характер климата восточной части региона [14]. Установленные различия в микроклиматических параметрах местообитаний лишайников, вероятнее всего, отражают эффект городского острова тепла [2].

Корреляционный анализ данных за 2018 г. показал умеренную положительную связь между температурой точки росы и FDW_{Ref}

**А. В. Пунгин, К. В. Чайка, П. В. Федуряев,
Н. В. Николаева, А. С. Коломиец**
**«Оценка влияния городской среды на видовое разнообразие
и физиолого-биохимические особенности лишайников». С. 72.**

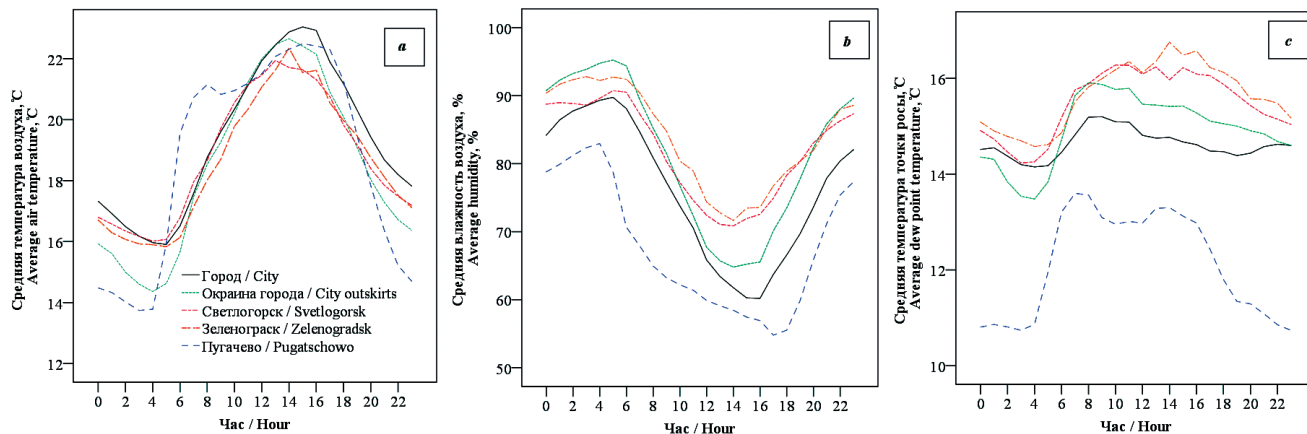


Рис. 2. Средние значения температуры (a), относительной влажности воздуха (b) и температуры точки росы (c) в течение суток на пробных площадках в разных местностях в 2019 г.
Fig. 2. Average values of temperature (a), relative humidity (b) and dew point temperature (c) during the day in sample areas in different places in 2019

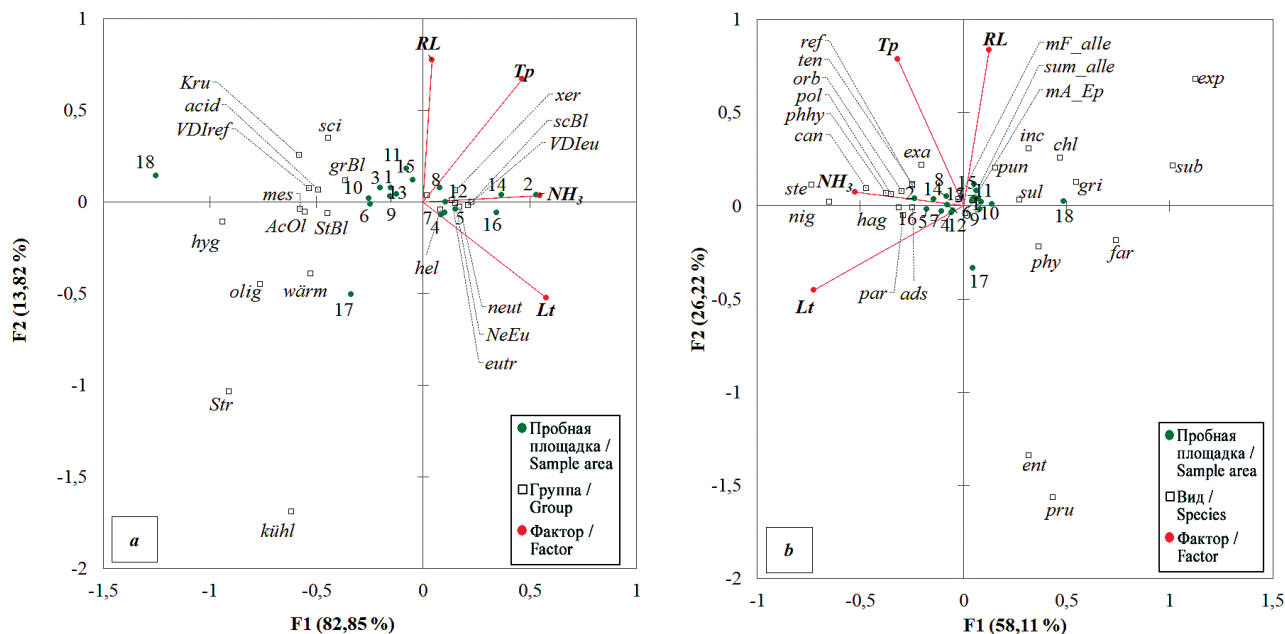


Рис. 3. Канонический анализ соответствия (ССА) ординации экологических и функциональных групп (a), видов лишайников (b) и факторов среды на пробных площадках: содержание аммиака в атмосферном воздухе (NH_3), относительная влажность (RL), температура воздуха (Lt) и температура точки росы (Tp)
Fig. 3. Canonical correspondence analysis of ordination of groups (a), lichen species (b) and environmental factors at sample areas: ammonia content in atmospheric air (NH_3), relative humidity (RL), air temperature (Lt) and dew point temperature (Tp)

($r_s = 0,68, p \leq 0,001$); температурой воздуха и FDW_{Eu} ($r_s = 0,51, p \leq 0,05$) и умеренную отрицательную связь между относительной влажностью и FDW_{Eu} ($r_s = -0,54, p \leq 0,05$). Анализ данных за 2019 г. показал наличие слабой положительной связи между температурой воздуха и FDW_{Eu} ($r_s = 0,47, p \leq 0,05$).

Максимальная концентрация аммиака в воздухе за два года наблюдений установлена на пробной площадке № 2 ($8,78 \pm 0,04$ мкг/м³), минимальная – № 11 ($0,42 \pm 0,05$ мкг/м³). В 2018 г. корреляционный анализ эмиссии NH_3 и FDW_{Ref} выявил значительную отрицательную связь ($r_s = -0,92, p \leq 0,001$), несколько ниже с температурой точки росы ($r_s = -0,74, p \leq 0,001$); средняя связь FDW_{Ref} с эмиссией NH_3 ($r_s = -0,55, p \leq 0,05$) обнаружена в 2019 г.

При минимальной концентрации NH_3 в лесопарковой зоне в г. Светлогорске выявлено более низкое содержание хлорофилла *a* ($1,03 \pm 0,13$ мг/г), хлорофилла *b* ($0,27 \pm 0,05$ мг/г) азота ($0,94 \pm 0,08\%$) в *P. sulcata*. Выявлены сильные положительные корреляции между содержанием NH_3 в 2018 г. и физиолого-биохимическими параметрами *P. sulcata*: с содержанием хлорофилла *a* ($r_p = 0,84; p \leq 0,001$), хлорофилла *b* ($r_p = 0,77; p \leq 0,001$) и азота ($r_p = 0,88; p \leq 0,001$). Установлена сильная положительная связь между содержанием азота и хлорофиллом *a* ($r_p = 0,93; p \leq 0,001$) и хлорофиллом *b* ($r_p = 0,77; p \leq 0,01$). При этом содержание пигментов и азота в *P. sulcata* коррелировало с температурой точки росы и влажностью воздуха ($r_p < -0,52; p \leq 0,05$). Полученные данные согласуются с тем, что с ростом накопления аммония в талломе лишайники активно включают его в процесс метаболизма для нейтрализации неблагоприятных цитотоксических эффектов, что также связано с увеличением фотосинтетической способности за счёт повышения концентрации хлорофиллов [6, 15, 16].

Канонический анализ соответствия (ССА) при анализе данных за 2019 г. показал, что большая часть распределения экологических групп и жизненных форм лишайников на исследуемых территориях связана с воздействием аммиака (рис. 3а, см. цв. вкладку), вектор которого расположился вдоль первой оси (82,85%). Для экологических и функциональных групп, расположенных противоположно вектору воздействия эмиссии аммиака, установлена средняя отрицательная корреляционная связь ($r_s > -0,50; p \leq 0,05$), для однонаправленных – средняя положительная связь ($r_s > 0,52; p \leq 0,05$). Корреляционный анализ не показал значимых связей экологических и функциональных групп лишайников с микро-

климатическими факторами. В то же время на рисунке 3а видно, что первая ось отделила экологические группы, такие как ксерофиты, гелиофиты, нейтрофилы, нитрофиты и узколопастные листоватые лишайники, а также функциональную группу видов-индикаторов эвтрофикации, которые расположились в правой положительной зоне. В данной зоне на первую ось падают, помимо аммиака, проекции векторов температуры воздуха и температуры точки росы, а, следовательно, можно предположить, что данные факторы оказывают воздействие на указанные группы и виды лишайников (рис. 3б, см. цв. вкладку). Полученная слабая положительная связь ($r_s = 0,47, p \leq 0,05$) между температурой воздуха и значением разнообразия видов-индикаторов эвтрофикации, подтверждает наше предположение. Сопоставимые результаты были получены при анализе данных за 2018 г. [12].

Распределение видов лишайников также связано с воздействием аммиака (рис. 3б). Установлена отрицательная связь с концентрацией аммиака в воздухе для *Evernia prunastri* (L.) Ach. ($r_s = -0,88; p \leq 0,01$), *Melanelixia subaurifera* (Nyl.) O. Blanco & al. ($r_s = -0,61; p \leq 0,01$) и *Ramalina farinacea* (L.) Ach. ($r_s = -0,51; p \leq 0,05$). Частота встречаемости *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. имеет сильную отрицательную связь с температурой воздуха ($r_s = -0,77; p \leq 0,01$), в свою очередь *Melanohalea exasperatula* (Nyl.) O. Blanco & al. ($r_s = 0,63; p \leq 0,05$) *Xanthoria candelaria* (L.) Th. Fr. и *X. polycarpa* (Hoffm.) Th. Fr. ex Rieber ($r_s = 0,56; p \leq 0,05$) имеют положительную связь. Средняя корреляционная связь выявлена у *Lepraria incana* (L.) Ach. с температурой точки росы ($r_s = 0,55; p \leq 0,05$). Частота встречаемости *Lecanora expallens* Ach. и сциофитных видов, вероятнее всего, связана как со снижением загрязнения воздуха аммиаком, так и с высокой влажностью воздуха, хотя корреляционный анализ не подтвердил наличие связи.

Полученные результаты о видовом разнообразии лишайников, физиолого-биохимическим параметрам и лишеноиндикационной оценке указывают на наличие загрязнения атмосферного воздуха и влияния азотсодержащих поллютантов. Согласно официальным данным [14], в г. Калининграде среди поллютантов преобладают оксид азота (среднегодовая концентрация в 2018 г. – 6 мкг/м³), диоксид азота (47 мкг/м³) и аммиак (11 мкг/м³), а также взвешенные вещества (130 мкг/м³). Нами было показано, что ча-

стота встречаемости отдельных видов и групп лишайников связана не только с воздействием эмиссии аммиака, но также и с микроклиматическими параметрами, которые в свою очередь, определяют доступность атмосферной влаги для лишайников. Известно, что роса и туман играют важную роль для развития эндолитных и эпилитных лишайников в умеренном климате [17]. В городских условиях с характерным островом тепла и загрязнением атмосферы, по-видимому, в выигрышной ситуации оказываются толерантные к эвтрофикации атмосферного воздуха виды, обладающие морфологическими и физиологическими приспособлениями для эффективного получения влаги из атмосферы [3]. В целом, загрязнение атмосферного воздуха, являясь доминирующим ограничивающим фактором распространения лишайников на урбанизированных территориях, часто скрывает влияние климатических параметров [3].

Заключение

За два года наблюдений получены данные о микроклиматических параметрах местообитаний лишайников и концентрации аммиака в атмосферном воздухе на территории города Калининграда и Калининградской области. Анализ данных показал наличие эффекта городского острова тепла в г. Калининграде: наблюдается увеличение среднесуточной температуры и снижение влажности воздуха и температуры точки росы в местах обитания лишайников в центральной части города по сравнению с окраиной города. На 18 пробных площадках было обнаружено 63 вида эпифитных лишайников. Анализ частоты встречаемости отдельных видов, таксономических, экологических и функциональных групп видов показал, что с увеличением содержания аммиака в атмосферном воздухе происходит снижение встречаемости чувствительных к эвтрофикации видов и групп видов лишайников, при этом частота встречаемости толерантных лишайников возрастает. Выявлено воздействие аммиака на физиолого-биохимическими параметрами лишайников: установлены сильные положительные корреляционные связи ($r_p > 0,75$; $p \leq 0,001$) между содержанием NH_3 , которое в исследованных местообитаниях варьировало 0,42 до 8,78 мкг/м^3 , с содержанием азота, хлорофилла *a* и хлорофилла *b* в талломе лишайника *Parmelia sulcata*. Канонический анализ соответствия и корреляционный анализ показали, что частота встречаемости отдельных

групп и видов лишайников связана с микроклиматическими параметрами местообитаний: температурой, влажностью воздуха и температурой точки росы. Можно заключить, что загрязнение атмосферного воздуха является доминирующим ограничивающим фактором распространения лишайников на урбанизированных территориях. Однако, не исключено, что в городских районах с пониженным уровнем загрязнения воздуха локальные климатические условия могут быть важной движущей силой разнообразия лишайников. Данный вопрос в настоящее время требует дополнительных научных изысканий.

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

Литература

1. Wilby R.L. Climate change, biodiversity and the urban environment: a critical review based on London, UK // Progress in Physical Geography. 2006. V. 30. No. 1. P. 173–198.
2. Rizwan A.M., Dennis L.Y.C., Liu C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island // Journal of Environmental Sciences. 2008. V. 20. P. 120–128.
3. Munzi S., Correia O., Silva P., Lopes N., Freitas C., Branquinho C., Pinho P. Lichens as ecological indicators in urban areas: beyond the effects of pollutants // Journal of Applied Ecology. 2014. V. 51. No. 6. P. 1750–1757.
4. Stapper N.J. Baumflechten in Düsseldorf unter dem Einfluss von Luftverunreinigungen, Stadtklima und Klimawandel // Bibliotheca Lichenologica. 2012. V. 108. P. 221–240.
5. Windisch U. Wirkungsermittlung von Stadtklimaeffekten auf Biota anhand von Flechten. Forschungsbericht des Fachzentrums Klimawandel (INKLIM-A-Projekt) // HLNUG. 2016. [Internet resource] https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/INKLIM_A/natur-und-landschaft/flechten-stadtklima.pdf (Accessed: 27.09.2019).
6. Carter T.S., Clark C.M., Fenn M.E., Jovan S., Perakis S.S., Riddell J., Schaberg P.G., Greaver T.L., Hastings M.G. Mechanisms of nitrogen deposition effects on temperate forest lichens and trees // Ecosphere. 2017. V. 8. No. 3. P. e01717.
7. Иванов А.И., Дунаева Т.А., Домнина Е.А., Ашихмина Т.Я., Дудин Г.П. Поиск информативных биохимических тестов в практике экологического мониторинга особо опасных объектов // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 4. С. 94–98.
8. Головки Т.К., Шелякин М.А., Пыстина Т.Н. Эколого-биологические и функциональные свойства лишайников таёжной зоны Европейского Северо-Востока России (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 6–13.

9. Pungin A., Windisch U., Skrypnik L., Chaika C., Feduraev P. Biomonitoring the effects of eutrophication in Kaliningrad (Russia) with lichens and tree barks // *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft*. 2017. V. 77. No. 4. P. 137–142.

10. VDI 3957 Part 13: Biological measurement procedures for determining and evaluating the effects of ambient air pollutions by means of lichens (bioindication). Mapping the diversity of epiphytic lichens as an indicator of air quality. Berlin: Beuth-Verlag, 2005. 27 p.

11. Barnes J.D., Balaguer L., Manrique E., Elvira S., Davison A.W. A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls *a* and *b* in lichens and higher plants // *Environmental and Experimental Botany*. 1992. V. 32. No. 2. P. 85–100.

12. Pungin A., Chaika Ch., Feduraev P., Parfenova D., Skrypnik L. Assessment of the impact of urban environmental factors on lichen species diversity in Kaliningrad // *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft*. 2019. V. 80. No. 3. P. 71–80.

13. Архив фактической погоды. Гидрометцентр России [Электронный ресурс] <https://meteoinfo.ru/archive-pogoda/russia/kaliningrad-area> (Дата обращения: 26.09.2019).

14. Государственный доклад «Об экологической обстановке в Калининградской области в 2018 году». Правительство Калининградской области. Министерство природных ресурсов и экологии Калининградской области. Калининград: ВИА Калининград, 2019. 200 с.

15. Головки Т.К., Дымова О.Б., Табаленкова Г.Н., Пыстина Т.Н. Фотосинтетические пигменты и азот в талломах лишайников бореальной флоры // *Теоретическая и прикладная экология*. 2015. № 4. С. 38–44.

16. Hauck M. Ammonium and nitrate tolerance in lichens // *Environmental Pollution*. 2010. V. 158. No. 5. P. 1127–1133.

17. Tretiach M. Ecophysiology of calcicolous endolithic lichens: progress and problems // *Giornale Botanico Italiano*. 1995. V. 129. No. 1. P. 159–184.

References

1. Wilby R.L. Climate change, biodiversity and the urban environment: a critical review based on London, UK // *Progress in Physical Geography*. 2006. V. 30. No. 1. P. 173–198. doi: 10.1191/0309133306pp470ra

2. Rizwan A.M., Dennis L.Y.C., Liu C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island // *Journal of Environmental Sciences*. 2008. V. 20. P. 120–128. doi: 10.1016/S1001-0742(08)60019-4

3. Munzi S., Correia O., Silva P., Lopes N., Freitas C., Branquinho C., Pinho P. Lichens as ecological indicators in urban areas: beyond the effects of pollutants // *Journal of Applied Ecology*. 2014. V. 51. No. 6. P. 1750–1757. doi: 10.1111/1365-2664.12304

4. Stapper N.J. Baumflechten in Düsseldorf unter dem Einfluss von Luftverunreinigungen, Stadtklima und Klimawandel // *Bibliotheca Lichenologica*. 2012. V. 108. P. 221–240.

5. Windisch U. Wirkungsermittlung von Stadtklimaefekten auf Biota anhand von Flechten. Forschungsbericht

des Fachzentrums Klimawandel (INKLIM-A-Projekt) // HLNUG. 2016. [Internet resource] https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/INKLIM_A/natur-und-landschaft/flechten-stadtklima.pdf (Accessed: 27.09.2019).

6. Carter T.S., Clark C.M., Fenn M.E., Jovan S., Perakis S.S., Riddell J., Schaberg P.G., Greaver T.L., Hastings M.G. Mechanisms of nitrogen deposition effects on temperate forest lichens and trees // *Ecosphere*. 2017. V. 8. No. 3. P. e01717. doi: 10.1002/ecs2.1717

7. Ivanov A.I., Dunayev T. A., Domnina E.A., Ashihmina T.Y., Dudin G.P. Searching of informative biochemical tests in the practice environmental monitoring of particularly dangerous objects // *Theoretical and Applied Ecology*. 2011. No. 4. P. 94–98 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2011-4-094-098

8. Golovko T.K., Shelyakin M.A., Pystina T.N. Ecological and biological, and functional traits of lichens in Taiga zone of European Northeast of Russia (review) // *Theoretical and Applied Ecology*. 2020. No. 1. P. 6–13 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2020-1-006-013

9. Pungin A., Windisch U., Skrypnik L., Chaika C., Feduraev P. Biomonitoring the effects of eutrophication in Kaliningrad (Russia) with lichens and tree barks // *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft*. 2017. V. 77. No. 4. P. 137–142.

10. VDI 3957 Part 13: Biological measurement procedures for determining and evaluating the effects of ambient air pollutions by means of lichens (bioindication). Mapping the diversity of epiphytic lichens as an indicator of air quality. Berlin: Beuth-Verlag, 2005. 27 p.

11. Barnes J.D., Balaguer L., Manrique E., Elvira S., Davison A.W. A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls *a* and *b* in lichens and higher plants // *Environmental and Experimental Botany*. 1992. V. 32. No. 2. P. 85–100. doi: 10.1016/0098-8472(92)90034-Y

12. Pungin A., Chaika Ch., Feduraev P., Parfenova D., Skrypnik L. Assessment of the impact of urban environmental factors on lichen species diversity in Kaliningrad // *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft*. 2019. V. 80. No. 3. P. 71–80.

13. Archive of actual weather. Hydrometcenter of Russia [Internet resource] <https://meteoinfo.ru/archive-pogoda/russia/kaliningrad-area> (Accessed: 26.09.2019) (in Russian).

14. The National report on the environmental situation in the Kaliningrad region in 2018. The Government of the Kaliningrad region, the Department of Environmental Monitoring of the Kaliningrad region. Kaliningrad: VIA Kaliningrad, 2019. 200 p. (in Russian).

15. Golovko T.K., Dymova O.V., Tabalenkova G.N., Pystina T.N. Photosynthetic pigments in the thalli of lichens of boreal flora // *Theoretical and Applied Ecology*. 2015. No. 4. P. 38–44 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2015-4-038-044

16. Hauck M. Ammonium and nitrate tolerance in lichens // *Environmental Pollution*. 2010. V. 158. No. 5. P. 1127–1133.

17. Tretiach M. Ecophysiology of calcicolous endolithic lichens: progress and problems // *Giornale Botanico Italiano*. 1995. V. 129. No. 1. P. 159–184. doi: 10.1080/11263509509436118