

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.108>

НАКОПЛЕНИЕ СЛЕДОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛИШАЙНИКЕ ВИДА *PARMELIA SULCATA* TAYLOR В
ГОРОДЕ КАЛИНИНГРАД

Научная статья

Бикташева Э.А.^{1*}, Королева Ю.В.², Романчук А.Ю.³

¹ORCID : 0000-0001-7845-5361;

²ORCID : 0000-0001-7612-4454;

³ORCID : 0000-0001-9595-7515;

¹ Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Российская Федерация

² Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (elina.b2000[at]gmail.com)

Аннотация

Обсуждаются уровни накопления железа, марганца, цинка, никеля, стронция, кальция, рубидия и брома в талломах лишайника вида *Parmelia sulcata* Taylor в городских условиях. Методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии установлено содержание микроэлементов, определены их фоновые концентрации в условиях города Калининграда, а также в удаленной от городской агломерации части региона, по сравнению с которой содержание Br, Sr, Rb и Fe в 2-3 раза выше. Основываясь на результатах элементного анализа, методов математической статистики, факторного анализа, определили две ассоциации элементов, объединенных по принципу вероятного происхождения. Первая ассоциация состоит из элементов антропогенного происхождения, связанного с загрязнением атмосферного воздуха (Fe, Zn, Mn, Ni, Rb) вторая, вероятно, обусловлена физиологическими особенностями лишайника (Ca, Sr, Br, Zn)

Ключевые слова: лишеноиндикация, микроэлементы, загрязнение воздуха.

ACCUMULATION OF TRACE ELEMENTS IN LICHEN OF THE *PARMELIA SULCATA* TAYLOR SPECIES IN
KALININGRAD

Research article

Biktasheva E.A.^{1*}, Koroleva Y.V.², Romanchuk A.Y.³

¹ORCID : 0000-0001-7845-5361;

²ORCID : 0000-0001-7612-4454;

³ORCID : 0000-0001-9595-7515;

¹ не работаю, Kaliningrad, Russian Federation

² Immanuel Kant Baltic federal university, Kaliningrad, Russian Federation

* Corresponding author (elina.b2000[at]gmail.com)

Abstract

The levels of accumulation of iron, manganese, zinc, nickel, strontium, calcium, rubidium and bromine in the thallomes of lichen of the *Parmelia sulcata* Taylor species in urban conditions are discussed. The content of trace elements was determined by X-ray fluorescence spectroscopy, their concentration was determined in Kaliningrad, as well as in a part of the region remote from the urban agglomeration, compared with which the content of Br, Sr, Rb and Fe is 2-3 times higher. Based on the results of elemental analysis, methods of mathematical statistics, factor analysis, two associations of elements united by the principle of probable origin were identified. The first association consists of elements of anthropogenic origin associated with atmospheric air pollution (Fe, Zn, Mn, Ni, Rb) the second is probably due to the physiological characteristics of lichen (Ca, Sr, Br, Zn)

Keywords: lichenoidindication, trace elements, air pollution.

Введение

В связи с ростом населения городов происходит соразмерный рост производств и автотранспорта, которые являются главными источниками поступления токсичных элементов, в том числе металлов, в атмосферный воздух. Металлы накапливаются во всех живых организмах, нарушая развитие и вызывая отравление [1]. Проблемой является отсутствие повсеместного мониторинга металлов, поступающих в атмосферу [2], [3].

Способом раннего контроля является метод индикации состояния атмосферного воздуха, основанный на использовании лишайников, за счет их способности к аккумуляции загрязняющих веществ. Доступность, простота, возможность пространственно-временного моделирования изменений в окружающей среде – несомненные достоинства лишеноидндикации [14].

К приоритетным контролируемым загрязнителям, содержащимся в атмосферном воздухе городов, относят взвешенные вещества, оксиды серы, углерода, азота, сероводород, формальдегид, аммиак, бензапирен, при этом, не уделяя должного внимания металлам, которые присутствуют в воздухе города. Проблема загрязнения воздушной среды металлами стоит остро [5], [7], [9], [11].

Цель исследования – изучение накопления железа, марганца, никеля, цинка, рубидия, стронция, кальция в талломах лишайника *Parmelia sulcata* Taylor.

Методы и принципы исследования

Лихенаиндикационное исследование проводили в Калининградской области на территории самого западного областного центра Российской Федерации г. Калининграда и на фоновом участке – лесном массиве, расположенном на северо-востоке региона и граничащем с Литвой. Климат региона – переходный от морского к умеренно-континентальному, территория большую часть времени находится под влиянием циклонов, с доминирующим западным направлением ветров, вследствие чего загрязняющие вещества, мигрирующие с воздушными массами, осаждаются на территории региона. Пространственные и количественные характеристики атмосферных осадков определяются степенью удаленности от моря и рельефом местности, среднее количество осадков 750-800 мм, с тенденцией к снижению с запада на восток. Областной центр располагается в западной части региона, в устье реки Преголя, на побережье Балтийского моря. Город Калининград – крупный промышленный центр и транспортный узел. Несмотря на быстрое развитие и глобальную застройку в городской черте сохранились зеленые зоны, старинные парки и скверы.

Для проведения лихенационного исследования территория города Калининграда была разделена на 24 квадрата размерами 2 x 2 км. Реперные участки выбирали в узлах пересечения квадратов. На каждом участке при обследовании выбирали представителя – древесную породу - наиболее устойчивую к загрязнению, чаще всего клен остролиственный [12]. На 5 из 24 участках лишайника вида не обнаружено, всего количество проб 19. В качестве эталонного выбрали наиболее удаленный от города участок, расположенный в лесном массиве на северо-востоке региона (3 пробы).

Проботбор проводился преимущественно в сухую погоду без осадков. На высоте около 1,5 м по периферии дерева собирали с помощью пинцета таллом лишайника и упаковывали в герметичный пакет. В лабораторных условиях образцы растительных материалов высушивали при температуре 40°C в сушильном шкафу до постоянной массы, измельчали до состояния порошка и формировали с помощью пресса таблетки – излучатели на подложке из борной кислоты. Содержание микроэлементов в сухом веществе растений определяли методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на спектрометре СПЕКТРОСКАН МАКС- G (НПО Спектрон, Санкт-Петербург) по методике ФР.1.31.2014.17343. Предел обнаружения спектрометра данной модификации позволяет определить с допустимой погрешностью 8 элементов: Fe, Mn, Zn, Ni, Sr, Rb, Ca, Br. Условия измерения интенсивности флуоресценции, анод – Ag, кристалл – анализатор – LiF(200), напряжение – 40 кВ, сила тока 0,1 А, экспозиция – 100 с (для железа 50 с).

Статистическую обработку результатов анализа проводили с использованием программных продуктов Microsoft Excel и SPSS Statistic 23.

Основные результаты

Для общего представления результатов рентгено-флуоресцентного анализа массив данных обработали, вычислив минимальное, максимальное, медианное значение в выборке, а также фоновую концентрацию (табл. 1). Фоновые значения содержания марганца, никеля, цинка, бария, рубидия, брома и железа в лишайниках города и на эталонном участке вычислили как среднее по выборке за исключением минимально-аномальных значений. За аномальные приняли те значения, которые отличались от среднефоновых более чем на два стандартных отклонения [13]. Полученные фоновые значения сравнили с уровнем накопления этих элементов лишайником вида *Parmelia sulcata* в естественных условиях, на значительном удалении от городской агломерации – в лесном массиве на границе региона. Поскольку выборка данных по удаленному участку была крайне мала (n=3), фоновую концентрацию элементов в лишайнике лесного массива не имело смысла вычислять, в качестве сравниваемой использовали среднее ее значение. Проверив с помощью критерия Фишера обе выборки, убедились в том, что значимая разница в накоплении микроэлементов лишайником *Parmelia sulcata* в городских условиях и на эталонном участке наблюдается только для железа и рубидия (табл. 1). И для городских условий, и для удаленных участков характерен широкий диапазон содержаний микроэлементов в лишайниках, высокая вариабельность и неоднородность, о чем свидетельствуют результаты статистического анализа (табл. 1)

Таблица 1 - Результаты рентгено-флуоресцентного анализа проб лишайника *Parmelia sulcata* (содержание Mn, Ni, Zn, Br, Sr, Rb, Fe, мкг/г сух.веса, Ca, %) , с элементами описательной статистики

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.108.1>

Элементы	Mn	Ni	Zn	Br	Sr	Rb	Fe	Ca
г. Калининград, n=19								
Мин	23	1	43	4	3	1	582	0,54
Макс	342	9	141	22	41	14	8318	2,3
Среднее	78,3	5,1	97,0	10,9	23,2	7,2	3271	1,5
Медиана	57	4	85	9	22	5,5	2611	1,4
Стандартное отклонение	48,6	2,5	32,3	6,2	11,7	4,5	2428	0,52
Коэффициент	62	67	75	64	67	62	57	74

вариации, %								
Асимметрия	0,75	0,25	0,24	0,66	0,13	0,38	0,80	0,03
Экссесс	-1,1	-1,2	-1,2	-0,9	-1,1	-1,4	-0,6	-1,2
Фоновые содержания в городских условиях	48	4	82,5	8	17	5	1887	1,2
Лесной массив (эталонный участок), n=3								
Среднее	142	3	72	4	9	2	382	0,83
Стандартное отклонение	54,9	1,5	44,9	4,2	5,5	1,0	24	0,17
Коэффициент вариации, %	39	57	63	95	63	50	6	20
Fэксп/Fтабл	0,36	0,14	0,54	0,11	0,23	1,1	9,1	0,44

Среднее содержание марганца, никеля, цинка, брома, стронция, рубидия, железа и кальция в городской черте Калининграда в основном незначительно превышает фон. Тенденция к накоплению в талломах лишайника *Parmelia sulcata* прослеживается для железа и марганца, превышение фоновых значений для этих элементов в выборке соответственно в 1,7 и 1,6 раз.

Для изучения интенсивности накопления элементов в талломах лишайника *Parmelia sulcata* рассчитали коэффициент накопления по соотношению: $K_n = C_x / K_x$, где C_x – концентрация элемента в сухой растительной массе, K_x – кларк элемента в живом веществе (А.П. Виноградов, В.В.Добровольский). Таким образом, интенсивность аккумуляции микроэлементов талломами лишайника снижается в ряду: Fe (32.7), Br (6.84), Ni (6.38), Zn (4.85), Rb (3.6), Ca (1.5), Sr (1.45), Mn (0.8)

Среднее содержание в талломах лишайника брома, стронция, рубидия, железа в городских условиях и в лесном массиве/эталонном участке отличаются в два и более раза. Однако о значимом различии можно говорить только в отношении накопления талломами лишайника рубидия и железа.

В городских условиях содержание в лишайнике варьировало в значительном диапазоне для всех определенных методом рентгено-флуоресцентного анализа элементов, в среднем коэффициент вариации составил 65,9%, показывая значительную степень изменчивости признака. Тем самым косвенно подтверждая различный уровень антропогенного воздействия на обследованных участках. Теоретически подтверждение наличия или отсутствия антропогенного влияния может быть установлено при оценивании характера распределения выборки. Критериями оценки могут быть значения асимметрии и эксцесса, отнесение к нормальному распределению, в нашем случае, может быть применено только к содержанию кальция и стронция в талломах лишайника (табл.1). Следовательно, наиболее вероятно, что только для этих двух элементов, их происхождение в тканях может быть обусловлено естественными процессами, а содержание соответствовать геохимическому фону. Анализ связей между элементами, выполненный на основании значения коэффициента корреляции Пирсона, показал общность ряда элементов между собой, вероятно связанную с единым источником их происхождения (табл. 2).

Таблица 2 - Корреляция Пирсона для элементов

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.108.2>

	Mn	Zn	Ni	Br	Sr
Mn	1				
Zn	0,737**	1			
Ni	0,734**	0,859**	1	0	
Br	0,521*	0,666**	0,454	1	
Sr	0,158	0,443	0,509*	0,458*	1
Rb	0,309	0,423	0,382	0,171	-0,042
Fe	0,796**	0,906**	0,910**	0,503*	0,389

Ca	0,315	0,522	0,506*	0,570	0,592
----	-------	-------	--------	-------	-------

Примечание: ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

Значения коэффициента корреляции $< 0,3$ указывает на наличие слабой связи, $0,3-0,4$ – средней, $0,5-0,75$ – высокой, $> 0,75$ – значительной. Отрицательное значение означает, что вклад одного элемента вызывает убыль другого. Значительная положительная корреляция ($r^2 > 0,75$) установлена между Zn-Ni, Fe-Mn; Zn-Fe, Ni-Fe, Ni-Mn. Высокая степень зависимости ($r^2 > 0,5$) характерна для ассоциаций: Br-Mn, Ni-Sr, Ni-Ca, Br-Fe, Br-Sr.

Проведенный факторный анализ выявил 2 интегрирующих фактора влияющих на аккумуляцию элементов лишайником *Parmelia sulcata*: F1 (58,05%) с ассоциацией элементов - Fe, Zn, Mn, Ni, Rb и F2 (18,05%) с ассоциацией - Ca, Sr, Br, Zn. Первый фактор, вероятно, отражает антропогенное происхождение элементов, второй – возможно связан с естественными причинами, обусловленными физиологическими особенностями лишайника. Попадание цинка в обе ассоциации неслучайно, с одной стороны, антропогенные источники вносят значительное количество этого элемента в атмосферный воздух, в нашем случае - автотранспорт. С другой стороны цинк – важнейший микроэлемент необходимый для синтеза хлорофилла.

Антропогенное загрязнение атмосферного воздуха неблагоприятно влияет на лишайнофлору города, ведь каждый элемент по-своему наносит вред организмам [15]. При накоплении железа, а точнее в организм оно попадает как оксид железа III, появляются свободные радикалы при окислении жиров, приводящие к разрушению клеточной стенки – такой процесс характерен для всех живых организмов, но проявляется он по-разному. Растения, являясь более чувствительными к малым концентрациям, быстрее проявляют признаки токсикоза: появления хлорозов, ожогов, торможение ростовых процессов. Среднее содержание железа в растительной массе составляет порядка 100 мг/кг [16]. В городских условиях лишайник *Parmelia sulcata* накапливает в среднем 32 раза больше содержания кларка железа в живом веществе. Максимум железа в талломах установлен в образцах, произрастающих на улицах с активным движением транспорта, что объясняется наличием этого элемента в составе топлива (около 6,1%).

Цинк играет важную роль в синтезе нуклеиновых кислот и белка, и необходим для правильного распределения цепочек ДНК и РНК. Среднее содержание цинка в растительной массе составляет порядка 20 - 65 мг/кг [16], [17]. На территории города в лишайниках отмечено превышение. Никель так же участвует в образовании белков, и влияет на рост корневой системы растений. По своим биохимическим свойствам так же, как и цинк схож с железом. Анализ корреляционных связей показал значительное сродство никеля и железа ($> 0,9$), что может говорить о едином источнике происхождения такого рода загрязнения. Среднее содержание никеля в растительной массе составляет порядка 0,8 мг/кг [16], [19]. В лишайниках городской среды отмечено превышение этого показателя до 11 раз.

Наиболее вероятный источник никеля и цинка в воздухе – автотранспорт: цинк является присадкой в составе дизельного топлива, а никель высвобождается при износе шин и деталей автомобиля.

Кальций и стронций, согласно данным факторного анализа, можно отнести к элементам естественного происхождения. Действительно, концентрации этих веществ в составе сырой массы превышают кларк концентраций в растениях (Ca - 1,0 %, Sr - 16 мг/кг) в среднем в полтора раза и занимают последние позиции в ряде накопления [16], [18]. Все эти элементы принимают активное участие в росте и развитии клеток корневой системы, и избыток или недостаток данных элементов приводит к нарушениям развития (растяжение клеток, утолщение стенок, приводящее к замедленному поступлению питательных веществ).

Значимая корреляция антропогенных элементов Zn-Mn, Fe-Mn, Ni-Mn, Ni-Zn, также связано с антагонизмом и синергизмом по отношению друг к другу. Величина соотношения Fe/Mn является решающей в нормальном развитии растения и составляет от 1,5 до 2,5 [16], [17]. Соотношение Fe/Mn в талломах лишайника *Parmelia sulcata*, собранного на изучаемой территории (в черте города Калининграда), варьирует от 25 до 44, на эталонном участке это значение несколько ниже - 2,45.

Исключением из списка коррелируемых элементов является рублидий, который не показал значимой или умеренной связи по отношению к исследуемым элементам (что, возможно, связано с отсутствием антагониста или синергиста среди исследуемых элементов, но является антагонистом калия) но относится к фактору антропогенного поступления. Нормальная концентрация рублидия для растений - до 2 мг/кг. Превышения этой концентрации в лишайниках исследуемой территории отмечено в среднем в 3 раза. Основным источником поступления рублидия в лишайники являются выбросы от тепловых электростанций, работающих на мазутном или угольном топливе, которых в Калининграде насчитывается 24 предприятия (2 мазутных и 22 угольных станции).

Закключение

Среднее содержание марганца, никеля, цинка, брома, стронция, рублидия, железа и кальция лишайнике в *Parmelia sulcata* в городской черте Калининграда в основном незначительно превышает фон, который формируется под воздействием антропогенных факторов.

Фоновый уровень вышеперечисленных элементов в городской агломерации выше средних значений их на эталонном участке, однако значимые различия в накоплении характерны только для железа и рублидия.

Интенсивность накопления микроэлементов (Кб) в талломах лишайника *Parmelia sulcata* уменьшается в ряду Fe, Br, Ni, Zn, Rb, Ca, Sr, Mn.

Аккумуляция элементов талломами лишайника *Parmelia sulcata* обусловлена двумя факторами: загрязнением воздушной среды (Fe, Zn, Mn, Ni, Rb) и биологическими особенностями вида (Ca, Sr, Br, Zn). Наибольший вклад в загрязнение вносит автомобильный транспорт.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Петухов А.С. Биохимические механизмы защиты при накоплении тяжелых металлов в организмах / А.С. Петухов, Г.А. Петухова // Гигиена и санитария. – 2017.
2. Рахманин Ю.А. Совершенствование системы социально-гигиенического мониторинга территорий крупных городов / Ю.А. Рахманин, А.В. Леванчук, О.И. Копытенкова // Гигиена и санитария. – 2017. – № 96(4). – С. 298-301
3. Леванчук А.В. Загрязнение окружающей среды продуктами эксплуатационного износа автомобильно-дорожного комплекса / А.В. Леванчук // Гигиена и санитария. – 2014. – № 93(6). – С. 17–21.
4. Турбина Е.С. Влияние загрязнения атмосферы взвешенными веществами и тяжелыми металлами на заболеваемость органов дыхания у детей / Е.С. Турбина // ЗНиСО. – 2012. – №2
5. Козлов М.В. Влияние точечных загрязнителей на наземную биоту. Сравнительный анализ 18 загрязненных территорий / М.В. Козлов, Е.Л. Зверева, В.Е. Зверев. – Дордрехт : Springer, 2009.
6. Зырина Н.Г. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами / Н.Г. Зырина, С.Г. Малахова. – М.: Гидрометеиздат, 1981. – 107 с.
7. Беус А.А. Геохимия окружающей среды / А.А. Беус, Л.И. Грабовская, Н.В. Тихонова. – М. : Недра, 1976. – 248 с.
8. Закутнова В.И. Влияние тяжелых металлов на лишайники / В.И. Закутнова, Т.А. Пилипенко // Вестник ОГУ. – 2004. – № 12.
9. Брукенхильм С. Пространственная и временная изменчивость эпифитов водорослей и лишайников на деревьях в связи с осаждением загрязняющих веществ в Швеции / С. Брукенхильм, Ц. Лю // Загрязнение воды, воздуха и почвы. – 1995. – № 79. – С. 61-74.
10. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Кх. Пендиас. – Москва, 1989. – 439 с.
11. Кравченко И.В. Содержание цинка в лекарственных растениях, произрастающих на территории Сургутского района Ханты-Мансийского автономного округа – Югры / И.В. Кравченко, Л.Ф. Шепелева // Экология урбанизированных территорий. – 2021. – № 2.
12. Леоничева Е.В. Некоторые особенности динамики кальция в системе «побеги-листья-плоды яблони» / Е.В. Леоничева, Т.А. Роева, Л.И. Леонтьева // Современное садоводство. – 2018. – №3 (27).
13. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю.В. Алексеев. – Л. : Агропромиздат, 1987. – 142 с.
14. Koroleva Y. Air Pollution Monitoring in the south-east baltic using the epiphytic lichen hypogymnia physodes / Y. Koroleva, V. Revunkov // Atmosphere. – 2017. – № 8. – P. 119.
15. Anishchenko L.N. Bryoindication of the general state of atmosphere in an urban ecosystem: The example of the city of Bryansk / L.N. Anishchenko // Russ J Ecol. – 2009. – № 40. – P. 247-253.
16. Ammann K. Multivariate correlation of deposition data of 8 different air pollutants to lichen data in a small town in Switzerland, in Advances in Aerobiology / K. Ammann, R. Herzig, L. Liebendoerfer et al. – Basel : Birkhäuser, 1987. – P.401-406.
17. Asta J. Mapping lichen diversity as an indicator of environmental quality / J. Asta, W. Erhardt, M. Feretti et al. // Monitoring with Lichens. – Dordrecht : Kluwer, 2002. – P. 273-279.
18. Doug A. Glavich and Linda H. Geiser Potential Approaches to Developing Lichen-Based Critical Loads and Levels for Nitrogen, Sulfur and Metal-Containing Atmospheric Pollutants in North America / A. Doug, H. Glavich, H Linda // The Bryologist. – 2008. – № 111(4). – P. 638-649.
19. Bargagli R. Guidelines for the use of epiphytic lichens as biomonitors of atmospheric deposition of trace elements / R. Bargagli, P.L. Nimis // Monitoring with Lichens. – 2002. – P. 295–299.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Petuhov A.S. Biohimicheskie mehanizmy zashhity pri nakoplenii tzhzhelyh metallov v organizmah [Biochemical mechanisms of protection during the accumulation of heavy metals in organisms] / A.S. Petuhov, G.A. Petuhova // Gigiena i sanitariya [Hygiene and sanitation]. – 2017. [in Russian]
2. Rahmanin Ju.A. Sovershenstvovanie sistemy social'no-gigienicheskogo monitoringa territorij krupnyh gorodov [Improvement of the system of social and hygienic monitoring of territories of large cities] / Ju.A. Rahmanin, A.V. Levanchuk, O.I. Kopytenkova // Gigiena i sanitariya [Hygiene and sanitation]. – 2017. – № 96(4). – P. 298-301 [in Russian]
3. Levanchuk A.V. Zagryaznenie okruzhajushhej sredy produktami jekspluatacionnogo iznosa avtomobil'no-dorozhnogo kompleksa [Environmental pollution by products of operational wear of the automobile and road complex] / A.V. Levanchuk // Gigiena i sanitariya [Hygiene and sanitation]. – 2014. – № 93(6). – P. 17–21. [in Russian]
4. Turbina E.S. Vlijanie zagryaznenija atmosfery vzveshennymi veshhestvami i tzhzhelymi metallami na zaboлеваemost' organov dyhaniya u detej [The influence of atmospheric pollution by suspended substances and heavy metals on the incidence of respiratory organs in children] / E.S. Turbina // ZNiSO. – 2012. – № 2. [in Russian]

5. Kozlov M.V. Vlijanie tochechnyh zagryznitelej na nazemnuju biotu. Sravnitel'nyj analiz 18 zagryzennyh territorij [Influence of point pollutants on terrestrial biota. Comparative Analysis of 18 polluted Territories] / M.V. Kozlov, E.L. Zvereva, V.E. Zverev. – Dordrecht : Springer, 2009. [in Russian]
6. Zyrina N.G. Metodicheskie rekomendacii po provedeniju polevyh i laboratornyh issledovanij pochv i rastenij pri kontrole zagryznenija okruzhajushhej sredy metallami [Methodological recommendations for conducting field and laboratory studies of soils and plants in the control of environmental pollution by metals] / N.G. Zyrina, S.G. Malahova. – M.: Gidrometeoizdat, 1981. – 107 p. [in Russian]
7. Beus A.A. Geohimija okruzhajushhej sredy [Geochemistry of the environment] / A.A. Beus, L.I. Grabovskaja, N.V. Tihonova. – M. : Nedra, 1976. – 248 p. [in Russian]
8. Zakutnova V.I. Vlijanie tjazhelyh metallov na lishajniki [Influence of heavy metals on lichens] / V.I. Zakutnova, T.A. Pilipenko // Vestnik OGU [Bulletin of OSU]. – 2004. – № 12. [in Russian]
9. Brukenhil'm S. Prostranstvennaja i vremennaja izmenchivost' jepifitov vodoroslej i lishajnikov na derev'jah v svjazi s osazhdeniem zagryznojushchih veshhestv v Shvecii [Spatial and temporal variability of algae and lichen epiphytes on trees in connection with the deposition of pollutants in Sweden] / S. Brukenhil'm, C. Lju // Zagryznenie vody, vozduha i pochvy [Water, air and soil pollution]. – 1995. – № 79. – P. 61-74. [in Russian]
10. Kabata-Pendias A. Mikroelementy v pochvakh i rasteniiakh. [Trace elements in soils and plants] / A. Kabata-Pendias, Kh. Pendias. – Moscow, 1989. – 439 p. [in Russian]
11. Kravchenko I.V. Soderzhanie cinka v lekarstvennyh rastenijah, proizrastajushchih na territorii Surgut'skogo rajna Hanty-Mansijskogo avtonomnogo okruga – Jugry [Zinc content in medicinal plants growing on the territory of the Surgut district of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra] / I.V. Kravchenko, L.F. Shepeleva // Jekologija urbanizirovannyh territorij [Ecology of urbanized territories]. – 2021. – № 2. [in Russian]
12. Leonicheva E.V. Nekotorye osobennosti dinamiki kal'cija v sisteme "pobegi-list'ja-plody jabloni" [Some features of calcium dynamics in the "shoots-leaves-fruits of apple tree" system] / E.V. Leonicheva, T.A. Roeva, L.I. Leont'eva // Sovremennoe sadovodstvo [Modern gardening]. – 2018. – №3 (27). [in Russian]
13. Alekseev Ju.V. Tjazhelye metally v pochvakh i rastenijah [Heavy metals in soils and plants] / Ju.V. Alekseev. – L. : Agropromizdat, 1987. – 142 p. [in Russian]
14. Koroleva Y. Air Pollution Monitoring in the south-east baltic using the epiphytic lichen hypogymnia physodes / Y. Koroleva, V. Revunkov // Atmosphere. – 2017. – № 8. – P. 119.
15. Anishchenko L.N. Bryoindication of the general state of atmosphere in an urban ecosystem: The example of the city of Bryansk / L.N. Anishchenko // Russ J Ecol. – 2009. – № 40. – P. 247-253.
16. Ammann K. Multivariate correlation of deposition data of 8 different air pollutants to lichen data in a small town in Switzerland, in Advances in Aerobiology / K. Ammann, R. Herzig, L. Liebendoerfer et al. – Basel : Birkhäuser, 1987. – P.401-406.
17. Asta J. Mapping lichen diversity as an indicator of environmental quality / J. Asta, W. Erhardt, M. Feretti et al. // Monitoring with Lichens. – Dordrecht : Kluwer, 2002. – P. 273-279.
18. Doug A. Glavich and Linda H. Geiser Potential Approaches to Developing Lichen-Based Critical Loads and Levels for Nitrogen, Sulfur and Metal-Containing Atmospheric Pollutants in North America / A. Doug, H. Glavich, H Linda // The Bryologist. – 2008. – № 111(4). – P. 638-649.
19. Bargagli R. Guidelines for the use of epiphytic lichens as biomonitors of atmospheric deposition of trace elements / R. Bargagli, P.L. Nimis // Monitoring with Lichens. – 2002. – P. 295–299.