

УДК 504.75:582.29 (571.63)

**ИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ГОРОДА УССУРИЙСКА С ПОМОЩЬЮ ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)****<sup>1</sup>Родникова И.М., <sup>2</sup>Недоросткова И.Г., <sup>1</sup>Киселёва А.Г.***<sup>1</sup>ФГБУН «Тихоокеанский институт географии» Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, e-mail: rodnikova\_ilona@mail.ru;**<sup>2</sup>Филиал Дальневосточного федерального университета, Школа педагогики Уссурийск*

В работе проводится оценка качества воздушной среды в г. Уссурийске по видовому составу, особенностям распространения и состоянию эпифитных лишайников. На территории города было заложено 34 лишайноиндикационных участка. Видовой состав эпифитных лишайников насчитывает 23 вида, что является достаточно низким показателем. Наиболее чувствительные к загрязнению кустистые виды отсутствуют. На территории города чаще встречаются лишайники, устойчивые к высокому и среднему уровню загрязнения. В центральной, наиболее загрязненной части города наблюдается снижение разнообразия накипных видов. На основании состояния эпифитного лишайникового покрова все исследованные участки были разделены на четыре группы по уровням загрязнения. На участках первой группы (максимальное загрязнение) лишайники отсутствуют. Эти участки находятся в центральной части города. Большая часть участков относится ко второй группе – сильного загрязнения. Здесь отмечено низкое видовое разнообразие, проективное покрытие и жизненное состояние лишайников. Третья группа участков подвержена среднему уровню загрязнения и находится на территории парковых зон и ближе к окраинам города. На этих участках видовое разнообразие и проективное покрытие немного выше. Четвертая группа участков испытывает низкую степень загрязнения и характеризуется наилучшим состоянием эпифитных лишайников. В этой группе преобладают виды, устойчивые к низкому и среднему уровням загрязнения, отмечается более высокое видовое разнообразие и проективное покрытие. Угнетенные лишайники встречаются реже, чем на предыдущих участках. Участки четвертой группы расположены на восточной окраине города. В пределах города зоны загрязнения представляют собой локальные участки, переходящие из одной зоны в другую. Это обусловлено наличием множества источников загрязнения, рельефом, особенностями ветрового режима. Лишайноиндикационные данные на территории г. Уссурийска свидетельствуют о наличии значительного воздушного загрязнения даже на удаленных от центральной части города участках.

**Ключевые слова:** биоиндикация, лишайники, загрязнение воздуха, Уссурийск, Приморский край**INDICATION OF AIR QUALITY IN THE CITY OF USSURIYSK USING EPYPHTIC LICHENS****<sup>1</sup>Rodnikova I.M., <sup>2</sup>Nedorostkova I.G., <sup>1</sup>Kiseleva A.G.***<sup>1</sup>Pacific geographical institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: rodnikova\_ilona@mail.ru;**<sup>2</sup>Branch of the Far Eastern Federal University, School of Education, Ussuriysk*

Air quality in the city of Ussuriysk according to species composition of epiphytic lichens, their distribution patterns and vitality is considered in the paper. Thirty-four plots were set in the city. A total of 23 epiphytic lichens were found in the study area, which is quite low. Fruticose lichen species, which are the most sensitive to air pollution, are absent. High tolerant lichen species are common in the city. The diversity of crustose lichens decreases in the central, most polluted part of the city. Based on the epiphytic lichen conditions, all the studied plots were divided into four groups according to the level of pollution. There are no lichens on the plots of the first group (maximal pollution) located in the central part of the city. Most of the plots belong to the second group – high polluted area. These plots are characterized by low species diversity, projective cover, and vitality of lichens. The third group of plots (medium pollution level) is located in the park areas and closer to the outskirts of the city. The species diversity and projective cover are slightly higher. The fourth group of the plots undergoes low level of pollution. It is characterized by the best conditions of epiphytic lichens, high species diversity and projective cover. Species resistant to low and medium pollution levels prevail. Injured lichen thalli are less common. The plots of the fourth group are located on the eastern outskirts of the city. Within the city, pollution zones are local areas. They fluctuate from one zone to another. This is due to the presence of multiple sources of pollution, relief, wind regime features. The lichenindication data in Ussuriysk indicates the presence of significant air pollution, even at remote parts of the city.

**Keywords:** bioindication, lichens, air pollution, Ussuriysk, Primorsky krai

Уссурийск – второй по величине город Приморского края, с населением 173 тыс. чел., расположен в 112 км севернее Владивостока в котловине между сопками на реках Раковка и Комаровка. Город является центром пищевой, перерабатывающей, легкой, металлообрабатывающей, дерево-

обрабатывающей и строительной промышленности. На его территории насчитывается более 250 котельных, значительное количество автономных источников отопления, в том числе и дымовые трубы частного сектора, работающие в 90% случаев на твердом топливе низкого качества или мазуте.

В основном источники выбросов не имеют пылегазоочистных сооружений, либо они технически устаревшие, высоты труб также невелики (30 м и менее). Более двадцати предприятий города размещены в жилой застройке. По количеству выбросов загрязняющих веществ автотранспортом г. Уссурийск занимает второе место после г. Владивостока. Основные загрязняющие вещества от этого источника – диоксид серы, оксиды азота, оксид углерода, аммиак, метан [1]. В 1960–1970-х гг. г. Уссурийск был признан одним из самых зеленых городов страны. Растительность города выполняет как эстетическую роль, так и функциональную – поглощает углекислый газ, химикаты и токсины, улавливает пыль, что способствует очищению атмосферы. Городское озеленение началось с середины 1950-х гг. в связи с высокими темпами роста города и имело хаотичный характер без генеральной схемы озеленения. Основу рекреационного потенциала зелёной зоны составляют леса Уссурийского городского округа; 87% занимают естественные насаждения дуба монгольского и 13% – искусственные (сосна корейская 7%, сосна обыкновенная 2%, орех маньчжурский 1,2%, ясень маньчжурский 2%, бархат амурский 0,3%, тополь Максимовича 0,5%) [2, 3].

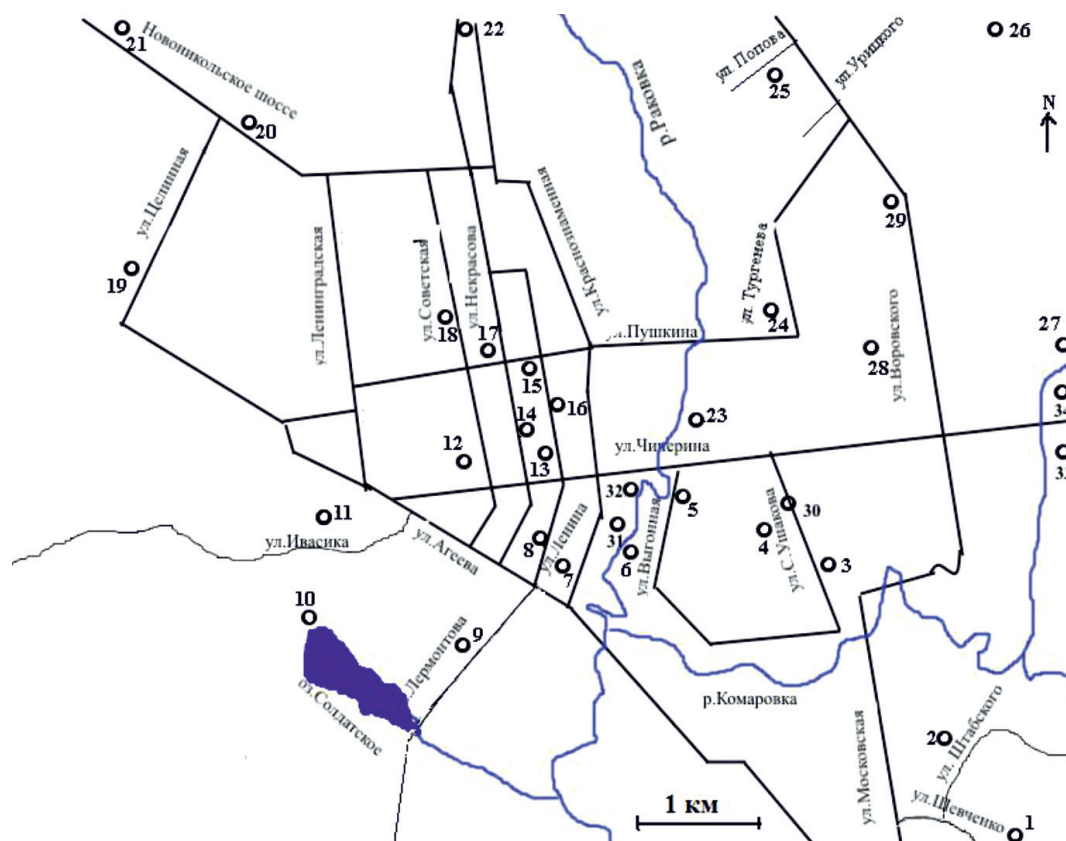
Сейчас Уссурийск является одним из наиболее загрязнённых городов в Приморском крае. По данным Примгидромета в течение десяти лет в городе отмечается высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха [4, 5]. Более всего воздух загрязнён бенз(а)пиреном, окислами азота и взвешенными веществами. Так, среднегодовые концентрации бенз(а)пирена в 2018 г. превысили допустимую норму в г. Уссурийске в 2,8 раза, диоксида азота в 2,3 раза, а среднее содержание пыли составило 1 ПДК. Следует отметить тенденцию к снижению показателей загрязняющих веществ, превышающих ПДК. Закрытие четырех мазутных котельных в центре города, замена на котельные пылегазоочистного оборудования, ввод в эксплуатацию объездной дороги вокруг Уссурийска заметно снизили показатели загрязнения атмосферного воздуха [6].

Однако низменное расположение города, окруженного сопками, невысокая скорость ветров, преобладание однонаправленности ветра в течение сезона, штили и туманы, высокая повторяемость приземных инверсий, а также застроенность его территории способствуют созданию неблагоприятной экологической ситуации.

В то же время контроль состояния воздушной среды проводится всего на двух станциях мониторинга, что не позволяет в полной мере оценить качество воздуха на территории города. Одним из методов оценки качества воздушной среды является использование биологических индикаторов. Благодаря высокой чувствительности к изменениям среды лишайники широко применяются в качестве биоиндикаторов [7]. В условиях городской среды видовое разнообразие и распределение лишайников в первую очередь определяется загрязнением воздуха, кроме этого влияет локальное изменение микроклиматических условий (повышение температуры и снижение влажности), а также наличие источников, откуда могут расселяться лишайники [8, 9]. Цель нашей работы – выявить видовой состав, особенности распространения и состояние эпифитных лишайников на территории г. Уссурийска для индикации качества воздушной среды в городе. В предыдущие годы лишайниковые исследования в Приморском крае были проведены в таких городах, как Владивосток, Находка, Дальнегорск, однако в городе Уссурийске подобные работы не проводились [7].

#### Материалы и методы исследования

Сбор материала осуществлялся в 2018 г. маршрутным методом с учетом физико-географических условий, архитектурной застройки и расположения источников загрязнения. Всего в городе заложено 34 пробных участка размером 20×20 м (рисунок). На каждом пробном участке проводилось описание растительности и эпифитного лишайникового покрова. Параметры лишайникового покрова фиксировались на пяти деревьях доминирующего вида одинакового диаметра, на высоте ствола 1,3 м по стандартной методике [7]. На каждом дереве учитывался видовой состав лишайников, проективное покрытие и жизненное состояние по 5-балльной шкале [7]: 1 балл – слоевище полностью разрушено; 2 балла – слоевище сильно повреждено (более 50%); 3 балла – разрушено менее 50% слоевища; 4 балла – лишайник угнетён – слоевище деформировано; 5 баллов – слоевище здоровое. При дальнейшем анализе использовалась классификация лишайников по отношению к загрязнению воздуха, включающая 4 группы: I – устойчивые к высокому уровню загрязнения, II – устойчивые к среднему загрязнению, III – к низкому, IV – неустойчивые к загрязнению воздуха [7].



Расположение лишеноиндикационных участков на территории г. Уссурийска

Для каждого вида был рассчитан коэффициент встречаемости:  $R = a \times 100 / N$ , где  $R$  – коэффициент встречаемости,  $a$  – число пробных участков, где данный вид встречается,  $N$  – общее число пробных участков. Названия видов лишайников приводятся в соответствии с [10], сосудистых растений – по электронному ресурсу [11].

В озеленении города Уссурийска участвуют 34 древесных вида как хвойных, так и лиственных пород. В связи с тем, что форофиты по территории города распределены неравномерно, сбор лишайников проводился на лиственных деревьях: берёзе плосколистной (*Betula platyphylla* Sukaczew), ильме долинном (*Ulmus japonica* (Rehder) Sarg.), ясене маньчжурском (*Fraxinus mandshurica* Rupr.), груше уссурийской (*Pyrus ussuriensis* Maxim. ex Rupr.), иве Шверина (*Salix schwerinii* E.L. Wolf). В пригородной зоне распространены дубняки леспедцево-разнотравные с лианами. Лишайниковые сообщества были описаны на дубе монгольском (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.).

### Результаты исследования и их обсуждение

В результате исследования на территории г. Уссурийска выявлено 23 вида эпифитных лишайников. Жизненные формы представлены только листоватыми (16 видов) и накипными (7 видов). Низкое видовое разнообразие и полное отсутствие кустистых лишайников, чувствительных к загрязнению среды, свидетельствует о сильном антропогенном воздействии. Так, например, для города Находка и его окрестностей было выявлено 75 видов лишайников, из которых 6 являются кустистыми [12]. По отношению к загрязнению воздуха все найденные виды относятся к трем группам [7]: 3 вида – к первой группе устойчивых к высокому уровню загрязнения воздуха (I группа), 13 видов – ко второй группе видов, устойчивых к среднему загрязнению (II группа) и 7 видов, устойчивых к низкому загрязнению (III группа) (таблица). Лишайники, относящиеся к четвертой группе, неустойчивые к загрязнению, на исследуемой территории отсутствуют.

Общая характеристика исследованных участков на территории г. Уссурийска

Номера участков	Кол-во видов	Среднее проективное покрытие, %	Жизненное состояние, баллы	I группа*	II группа*	III группа*
1	8	53	4	1	6	1
2	5	37	3	2	2	1
3	3	25	3	2	1	0
4	6	9,5	3	2	2	2
5	3	12	3	2	1	0
6	6	8	3	2	3	1
7	3	5,5	3	1	2	0
8	3	2	3	1	0	2
9	2	3	3	0	1	1
10	2	3	3	1	1	0
11	4	12,5	3	1	3	0
12	4	4,25	3	1	2	1
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	3	2,5	3	1	2	0
16	2	3	3	1	1	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	5	17,5	3	1	3	1
20	3	30	3	1	2	0
21	3	11	3	0	3	0
22	3	5	3	0	3	0
23	4	5,6	3	2	1	1
24	2	2,5	3	1	1	0
25	1	2	3	1	0	0
26	9	50	4	0	6	3
27	8	45	4	0	8	0
28	3	1,5	3	2	1	0
29	2	2	3	2	0	0
30	2	4	3	0	2	0
31	4	3	3	2	2	0
32	2	5	3	1	1	0
33	12	40	3	2	7	3
34	9	50	3	1	6	2

Примечание. \*Приводится количество видов, относящихся к соответствующей группе по отношению к загрязнению (см. текст).

Наиболее распространенными видами являются *Candelaria concolor* (Dicks.) Arnold и *Phaeophyscia hirtuosa* (Kremp.) Essl. (R > 50). Эти виды отмечены на всех исследованных форофитах. *Ph. hirtuosa* является лишайником, устойчивым к высокому уровню загрязнения, а *C. concolor* – нитрофильный лишайник, развивающийся при повышенном содержании соединений азота в воздухе [7]. Вторую по частоте встречаемости группу образуют *Oxneria fallax* (Arnold) S.Y. Kondr. & Kärnefelt, *Physciella melanchra* (Hue) Essl., *Flavopuncte-*

*lia soledica* (Nyl.) Hale, *Physciella chloantha* (Ach.) Essl., *Rinodina olivaceobrunnea* C.W. Dodge & G.E. Baker (R = 20–50). Из этой группы только *O. fallax* встречается на всех форофитах. Виды этой группы являются в основном устойчивыми к высокому и среднему уровням загрязнения. Остальные 16 видов встречаются достаточно редко (R < 20). *Parmotrema reticulatum* (Taylor) M. Choisy, включенный в Красные книги Российской Федерации и Приморского края, отмечен только на одном участке на окраине города (в районе жилого комплек-

са «Радужный»). Наибольшее число видов было отмечено на участках, расположенных на окраинах города.

На основании данных о видовом составе эпифитных лишайников, проективном покрытии, жизненном состоянии, чувствительности к загрязнению все участки были разделены на четыре группы.

Первая группа участков (13, 14, 17, 18) испытывает максимальное загрязнение. На данных участках лишайники отсутствуют. Участки находятся в центральной части города и в непосредственной близости к основным автомагистралям.

Вторая группа участков включает большую часть территории города (3, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 16, 20, 22, 23, 24, 25, 28, 29, 30, 31, 32). Эти участки испытывают сильное загрязнение. Здесь отмечено низкое видовое разнообразие (в среднем 2,6 вида) с небольшим проективным покрытием (6,3%), преобладание видов, устойчивых к высокому и среднему уровням загрязнения. Жизненное состояние 2–3 балла, преобладают лишайники с 3 баллами. Как правило, форофиты здесь произрастают в непосредственной близости от проезжей части дорог, в районе жилой многоквартирной застройки, новостроек, а также окруженные домами с автономным отоплением (участки 3, 7, 9, 10, 12, 16, 28, 29).

Третья группа участков (2, 4, 6, 11, 19, 21) находится в условиях меньшего антропогенного воздействия. Среднее видовое разнообразие на этих участках – 4,8 вида, среднее проективное покрытие – 16%. Здесь преобладают виды средней и низкой степени загрязнения. Жизненное состояние в среднем 3 балла. Эти участки расположены в удалении от основных жилых построек города и дорог с большим грузопотоком, представляя собой небольшие микрорайоны или парки.

Четвертая группа участков (1, 26, 27, 33, 34) испытывает наименьшее загрязнение. Для этих участков характерно максимальное видовое разнообразие (9,2 вида в среднем) и максимальное проективное покрытие (47,6%). На этих участках виды, устойчивые к высокому уровню загрязнения, отсутствуют или встречаются единично. Жизненное состояние лишайников наиболее часто соответствует 4 баллам, при этом встречаются угнетенные виды. Участки этой группы находятся на восточной окраине города, форофиты представлены естественной растительностью.

В целом отмечено, что в пределах города зоны загрязнения представляют собой

локальные участки, переходящие из одной зоны в другую. Это обусловлено наличием множественных источников загрязнения, рельефом, особенностями ветрового режима. На изученных деревьях наблюдался эффект, отмеченный И.Ф. Скириной с соавторами [13], когда на деревьях, находящихся в непосредственной близости к автотрассе лишайниковый покров характеризуется более высоким видовым разнообразием и лучшим жизненным состоянием, чем находящийся на удалении 150–200 м вглубь дворов. Это можно объяснить тем, что вблизи автотрассы активные воздушные потоки способствуют рассеянию загрязняющих веществ, которые в свою очередь накапливаются и осаждаются, задерживаясь стенами строений в глубине дворов. В наиболее загрязненной части города отмечен обедненный видовой состав накипных видов. Такое же снижение участия накипных видов в составе лишайниковых сообществ было отмечено для г. Находка [12].

### Заключение

Эпифитный лишайниковый покров г. Уссурийска отличается низким видовым разнообразием. В самом городе и ближайшем пригороде в лишайниковом покрове преобладают виды, устойчивые к высокому и среднему уровню загрязнения. Данные лишеноиндикации на территории города свидетельствуют о наличии сильного воздушного загрязнения, что проявляется в крайне обедненном видовом составе, низком проективном покрытии и сильном угнетении лишайников. Даже удаленные участки с естественной древесной растительностью характеризуются невысоким разнообразием лишайников.

### Список литературы / References

1. Коломейцева О.Л. Загрязнение атмосферы городов Приморского края Уссурийска и Спасска-Дальнего и его влияние на заболеваемость населения: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2013. 18 с.
2. Kolomejceva O.L. Air pollution of the cities of Primorsky krai Ussuriisk and Spassk-Dal'niy and its influence on illness rate: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Petrozavodsk, 2013. 18 p. (in Russian).
3. Розломий Н.Г., Острошенко В.В., Краткая характеристика зелёной зоны г. Уссурийска // Вестник Красноярского ГАУ. 2009. № 9. С. 83–86.
4. Rozlomy N.G., Ostroshenko V.V. Short characteristics of the Ussuriisk public green area // Vestnik KrasGAU. 2009. № 9. P. 83–86 (in Russian).
5. Сидоренко А.Н. Оценка жизненного состояния древесных растений города Уссурийска // Вестник КрасГАУ. 2017. № 7. С. 166–174.
6. Sidorenko A.N. The assessment of vital condition of woody plants of the city of Ussuriisk // Vestnik KrasGAU, 2017. P. 166–174 (in Russian).

4. Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2017 году. Администрация Приморского края. Владивосток, 2018. 233 с.  
Report on the environmental situation in Primorsky Krai in 2017. Administraciya Primorskogo kraja. Vladivostok, 2018. 233 p. (in Russian).
5. Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2018 году. Администрация Приморского края. Владивосток, 2019. 252 с.  
Report on the environmental situation in Primorsky Krai in 2018. Administraciya Primorskogo kraja. Vladivostok, 2019. 252 p. (in Russian).
6. Котляр Е.В. Загрязнение атмосферного воздуха Уссурийска по данным социально-гигиенического мониторинга // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2016. № 3 (66). С. 197–201. DOI: 10.18411/hmes.d-2016-141.  
Kotlyar E.V. Air pollution Ussuriisk of Primorsky Region of according public health monitoring // Health. Medical ecology. Science. 2016. № 3 (66). P. 197–201 (in Russian).
7. Скирина И.Ф., Коженкова С.И., Родникова И.М. Эпифитные лишайники Приморского края и использование их в экологическом мониторинге. Владивосток: Дальнаука, 2010. 134 с.  
Skirina I.F., Kozhenkova S.I., Rodnikova I.M. Epiphytic lichens of Primorsky kray and their application in environmental monitoring. Vladivostok: Dalnauka, 2010. 134 p. (in Russian).
8. Coffey H.M.P., Fahrid L. Relative effects of vehicle pollution, moisture and colonization sources on urban lichens. *Journal of applied ecology*. 2012. Vol. 49. P. 1467–1474. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2012.02208.x.
9. Munzi S., Correia O., Silva P., Lopes N., Freitas C., Brantinho C., Pinho P. Lichens as ecological indicators in urban areas: beyond the effect of pollutants. *Journal of applied ecology*. 2014. Vol. 51. P. 1750–1757. DOI: 10.1111/1365-2664.12304.
10. CABI Bioscience Databases. [Electronic resource]. URL: <http://www.indexfungorum.org> (date of access: 02.08.2019).
11. The Plant List a working list of all plants species. [Electronic resource]. URL: <http://www.theplantlist.org> (date of access: 02.08.2019).
12. Скирина И.Ф., Коженкова С.И. Лихеноиндикация загрязнения приземного воздуха города Находка (Приморский край) // Ботанический журнал. 2005. Т. 90. № 8. С. 1184–1196.  
Skirina I.F., Kozhenkova S.I. Lichenindication of the air pollution in the city of Nakhodka (Primorskii krai) // Botanicheskii zhurnal. 2005. № 8. P. 1184–1196 (in Russian).
13. Скирина И.Ф., Родникова И.М., Скирин Ф.В., Царенко Н.А. Использование методов лихеноиндикации в приморских геосистемах юга Дальнего Востока России // Геосистемы Северо-Восточной Азии: особенности их пространственно-временных структур, районирование территории и акватории. Сборник научных статей. Владивосток: ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, 2019. С. 328–332.  
Skirina I.F., Rodnikova I.M., Skirin F.V., Tsarenko N.A. Lichenindication application in coastal geosystems of South of the Russian Far East // Geosystems of North-East Asia: the Peculiarities of their Spatialtemporal Structures, Zoning of Land and Waters. Collection of scientific articles. Vladivostok: FGBUN Tihookeanskij institut geografii DVO RAN, 2019. P. 328–332 (in Russian).