

ОБЗОРЫ

ДИНАМИКА ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЛИХЕНОБИОТЫ БЕЛАРУСИ
КАК ИНДИКАТОР СОВРЕМЕННЫХ БИОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ© 2019 г. А. Г. Цуриков^{1,2,*}¹ Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины
ул. Советская, 104, г. Гомель, 246019, Беларусь² Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева
Московское шоссе, 34, г. Самара, 443086, Россия

*e-mail: tsurykau@gmail.com

Поступила в редакцию 07.07.2019 г.

После доработки 26.07.2019 г.

Принята к публикации 30.07.2019 г.

В статье представлены результаты изучения географической структуры лишенобиоты Республики Беларусь. Выделено 7 географических элементов: аридный, бореальный, гипоарктомонтанный, монтанный, мультизональный, неморальный и субокеанический. Установлена тенденция неморализации и аридизации лишенобиоты Беларуси, проявляющаяся в увеличении доли неморальных и аридных лишайников, а также в увеличении частоты встречаемости аридных видов. Данный тренд характерен для 2000–2019 гг. и, по-видимому, связан с изменением климатических характеристик изучаемой территории в данный период. Выявлено сокращение числа видов гипоарктомонтанного и монтанного географических элементов, являющихся уязвимыми лишайниками в спектре климатических условий последних десятилетий.

Ключевые слова: лишайники, лишенофильные грибы, географический анализ, изменение климата

DOI: 10.1134/S000681361908012X

Анализ географической структуры лишенобиоты является неотъемлемой частью изучения разнообразия лишайников определенной территории (Biazrov, 2013). С момента заложения основ мико- и лишеногеографии в середине XX века результаты географического анализа использовали для реконструкции истории формирования биоты лишайников региона, установления механизмов и закономерностей ее становления (Oksner, 1940–42, 1944, 1948; Urbanavichus, 1999).

Результаты последних лишенофлористических и лишеногеографических исследований показали, что реакция лишайников на макроклиматические изменения, в частности на глобальное потепление, является более быстрой по сравнению с сосудистыми растениями (Lenoir et al., 2008; Chen et al., 2011), и данные лишеногеографии могут быть использованы для проверки и прогнозирования последствий глобального потепления (Braidwood, Ellis, 2012; Nascimbene et al., 2018).

Географический анализ лишенобиоты Беларуси до настоящего времени не проводился. Имеются лишь разрозненные данные о географической структуре лишайников отдельных природных (Kobzar, 1985; Golubkov, 1992) или административных регионов страны (Kobzar, 2004; Tsurykau, 2013), а также некоторых растительных формаций ее территории (Yatsyna, 2014; Bely, 2016).

В связи с вышеизложенным представляется актуальным выявление современной географической структуры лишайников Республики Беларусь, а также выявление тенденций ее изменения в спектре климатических условий последних десятилетий.

Настоящая работа основана на анализе опубликованных списков видов лишайников и лишенофильных грибов Беларуси (Tsurukau, 2017, 2018), составленных по результатам собственных полевых исследований 2003–2017 гг., проведенных ревизий отдельных систематических групп лишайников (роды *Cetrelia*, *Hypotrachyna*, *Lepraria*, *Parmotrema*, *Punctelia*, *Xanthoparmelia*, группа *Cladonia chlorophaea-rukidata*) (Bely et al. 2014; Tsurukau, Golubkov, 2015; Tsurukau et al., 2015a, 2016, 2018a), а также анализе содержания 386 статей и материалов конференций, опубликованных за почти 240-летнюю историю изучения лишайников Беларуси (1781–2017).

Согласно Е.Э. Мучник (Muchnik, 2003), в настоящей работе термин “географический элемент” используется в классическом понимании как группа видов, имеющих более или менее общие черты распространения и совпадающие центры (или области) массовости в пределах крупных растительно-климатических зон и их высотных аналогов (пооясов) в горах (Trass, 1970; Oksner, 1974 и др.). Названия видов приведены согласно списку лишайников Беларуси (Tsurukau, 2018).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В лишенобиоте Республики Беларусь выделено 7 географических элементов, из которых 3 (бореальный, неморальный и аридный) связаны с определенными природными зонами и 4 (гипоарктомонтанный, монтанный, субокеанический и мультizonальный) имеют азональный, часто дизъюнктивный характер распространения.

Неморальный элемент включает виды лишайников, центры массовости которых связаны с зоной широколиственных лесов Голарктики, а также аналогичными местобитаниями других флористических царств (Trass, 1970; Golubkova, 1983). В лишенобиоте Беларуси этот элемент является ведущим, объединяя 205 (30.9%) видов лишайников (рис. 1).

Согласно результатам исследований предыдущих лет, для географической структуры лишенобиоты различных регионов (Kobzar, 1985, 2004; Golubkov, 1992; Tsurukau, Khramchankova, 2007; Tsurukau, 2013) или растительных формаций (Bely, 2012a, 2016; Yatsyna, 2013a, 2014) Беларуси отмечалось преобладание бореального географического элемента, что является типичным для умеренной зоны Голарктики (Muchnik, 2003).

Изучение динамики представленности бореального и неморального географических элементов в лишенобиоте Беларуси за последние 50 лет (рис. 2) выявило, что увеличение доли видов лишайников неморального географического элемента произошло в течение второй декады XXI века (2011–2020 гг.).

С конца 1980-х гг. на территории Республики Беларусь начался период потепления, не имеющий себе равных по продолжительности и интенсивности за весь период метеонаблюдений. В результате средняя годовая температура воздуха повысилась на 1.2°C (рис. 3), продолжительность периода со снежным покровом сократилась в среднем на 10–11 дней, увеличились продолжительность (10–12 дней) и теплообеспеченность (150–200°C) вегетационного периода (Padhornaya et al., 2015).

Известно, что для лишайников, как пойкилогидрических организмов, характерна тесная связь между их экофизиологией и температурой окружающей среды (Green et al., 2008). Например, исследования распределения лишайников в поясах гор показали, что некоторые бореальные виды (*Bryoria fuscescens* (Gyelnik) Brodo & D. Hawksw., *Calicium viride* Pers. и др.) достаточно быстро реагируют на повышение средних годовых температур, заселяя более высокие пояса гор и снижая свою численность в более низких (Bässler et al., 2015; Nascimbene, Spitale, 2017; Nascimbene et al., 2018). Однако, если в горах подобные сдвиги эпифитных лишайников могут быть затруднены из-за

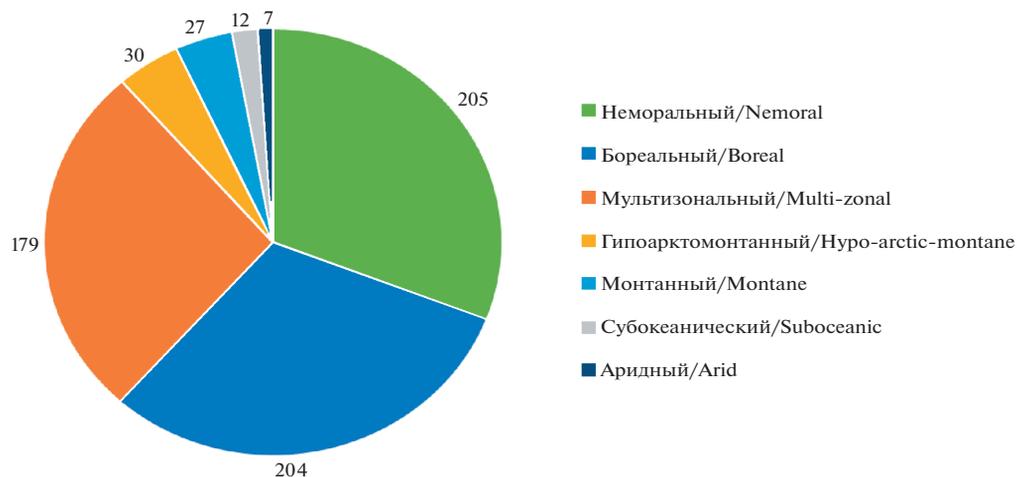


Рис. 1. Географическая структура лишайной биоты Беларуси.

Fig. 1. Geographical structure of the lichen biota of Belarus.

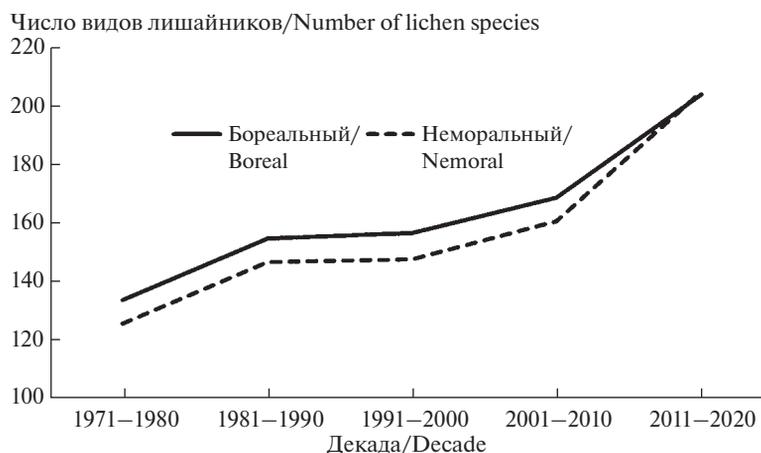


Рис. 2. Динамика представленности бореального и неморального географических элементов в лишайной биоте Беларуси за последние 50 лет.

Fig. 2. Dynamics of the shares of boreal and nemoral geographic elements in the lichen biota of Belarus over the past 50 years.

временного отсутствия необходимых видов деревьев-форофитов в более высоких поясах (Greenwood et al., 2016), на территории Беларуси изменение структуры лесов в пределах геоботанических подзон носит характер постепенного замещения (Yurkevich et al., 1979) и не препятствует распространению неморальных видов лишайников в северном направлении.

Полученные в последние годы данные о достаточно быстрой миграции многих видов лишайников вдоль зонального градиента позволяют несколько иначе взглянуть на некоторые положения, служившие основой при разработке теорий распространения

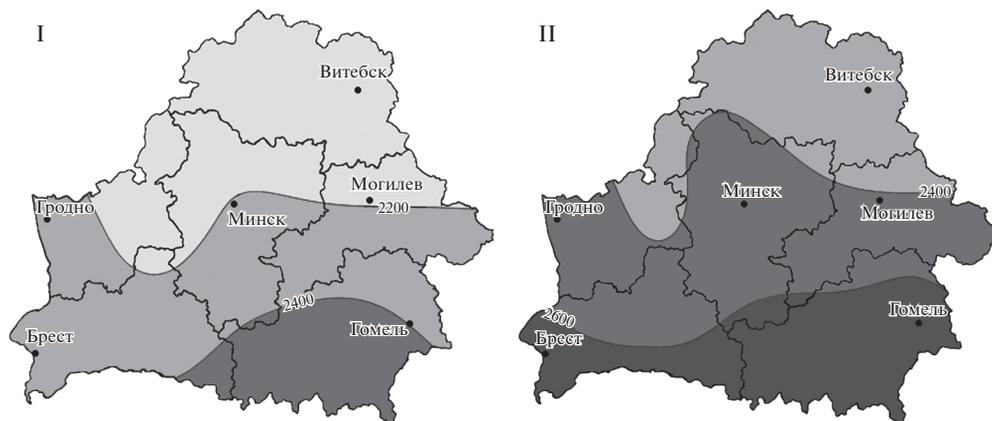


Рис. 3. Карты распределения сумм активных температур на территории Беларуси до потепления климата (I) и в период его потепления (II) с учетом только сельских метеостанций (Khomich et al., 2018).

Fig. 3. Maps of distribution of growing degree days in Belarus before (I) and during (II) climate warming by only rural weather stations (Khomich et al., 2018).

лишайников в первой половине XX века. В частности, отмечалось, что лишайники обладают большей, чем у цветковых растений, ригидностью генотипической структуры и значительно лучше сохраняют свою первоначальную связь с растительно-климатическими зонами вследствие менее энергичного видообразования и, соответственно, не столь быстрой их реакции на условия окружающей среды (Oksner, 1948; Golubkova, 1983). Результаты современных молекулярных исследований указывают, что данное утверждение справедливо лишь для некоторых таксономических групп лишайников (Printzen et al., 2003; Palice, Printzen, 2004; Werth et al., 2007; Otálora et al., 2010). Скорость миграции других, в том числе многих широко распространенных видов, оказалась намного выше ожидаемой (Hewitt, 1999; Myllys et al., 2003; Muñoz et al., 2004; Buschbom, 2007). Высокая миграционная способность лишайников в сочетании с узкой экологической пластичностью многих видов (Mies, Lösch, 1995) открывает новые перспективы для биогеографической оценки региональных лишайнобиот. По-видимому, современное сочетание видов лишайников в пределах определенной территории является следствием не только исторических связей, но и отражает спектр климатических условий последних десятилетий, т. е. может быть весьма динамичным.

Согласно прогнозным оценкам, к концу XXI века на территории Беларуси ожидается дальнейший рост среднегодовой температуры на 1.0–2.9°C (Bertosh et al., 2014), что в целом соответствует основным трендам климатических изменений в Европе (Gobiet et al., 2014). Вероятно, потепление климата окажет существенное влияние на лишайнобиоту Беларуси, способствуя дальнейшей ее неморализации.

Бореальный элемент объединяет лишайники, центры массовости которых связаны с зоной хвойных лесов Голарктики, а также аналогичными местообитаниями других флористических царств. Мы не выделяем ното-бореальные виды в качестве отдельного географического элемента (Oksner, 1944; Muchnik, 2003) или субэлемента (Trass, 1970; Golubkova, 1983), поскольку данная классификационная единица, в отличие от остальных географических элементов флоры, выделяется не на зональной, а на региональной основе, и является скорее предметом ареалогического анализа лишайнобиоты (включает мультирегиональные виды с голарктико-субантарктико-австралийским (Feurerer, Hawksworth, 2007), или биполярным распространением).

В лихенобиоте Беларуси бореальный элемент играет важную роль, лишь незначительно уступая неморальному элементу, и объединяет 204 (30.7%) вида лишайников. До начала 2010-х гг. бореальные виды занимали ведущее положение в географической структуре лихенобиоты (рис. 2), однако доля неморальных видов, найденных в Беларуси за последнее десятилетие, существенно превысила таковую бореальных лишайников. Важность данного факта возрастает в связи с тем, что основные лихенологические исследования конца 2000-х – первой половины 2010-х гг. проводились в сосновых (интразональных) (Yatsyna 2013a, 2014; Tsurukau, 2016) и еловых (бореальных) (Bely, 2011a, 2012a, b, 2016; Yatsyna, 2017) лесных формациях.

Потепление климата может негативно сказаться на частоте встречаемости многих бореальных видов лишайников. Несмотря на то, что некоторые из них (например, *Hypogymnia tubulosa* (Schaer.) Nav.) имеют отсроченную реакцию на потепление климата из-за их способности переносить достаточно широкий диапазон температур, другие являются крайне чувствительными к изменению климатических показателей и потому потенциально уязвимы в сценарии глобального потепления (Nascimbene et al., 2018). Например, целенаправленное изучение распространения бореального лишайника *Cetraria pinastri* (Scop.) Gray в Великобритании выявило существенное снижение его численности по сравнению с историческими данными, и, согласно прогнозным моделям, к 2050 году подходящие условия для его произрастания сократятся более чем на 75% (Binder, Ellis, 2008). С другой стороны, численность *C. pinastri* возросла в северной Европе. В частности, данные о встречаемости этого вида в Скандинавии продемонстрировали сдвиг его ареала на 151 км в северо-восточном направлении за период 1986–2003 гг. (Lättman et al., 2009).

Изменение погодно-климатических условий оказывает не только прямое влияние на бореальные лишайники, отрицательно сказываясь на их углеводном и водном обменах (Schroeter et al., 2000; Insarov, Schroeter, 2002; Wagner et al., 2012), но и способно косвенно снижать их численность и разнообразие, отражаясь на состоянии лесной растительности через изменение уровня грунтовых вод, пожары, размножение вредителей леса и усугубление развития болезней (Bertosh et al., 2014). Поскольку территория Беларуси расположена на стыке двух растительных зон – бореальной с господством хвойных и неморальной с преобладанием летне-зеленых лиственных лесов – изменение состава и структуры древесных насаждений может существенным образом отразиться на общем биоразнообразии. В частности, в современных погодно-климатических условиях еловые леса Беларуси испытывают негативное воздействие, сопровождающееся массовыми усыханиями и санитарными рубками (But'kovec, 2018). В результате, к настоящему времени граница сплошного распространения ели уже сместилась на 20–30 км севернее по сравнению с 1960-ми годами, и ожидается дальнейшая тенденция постепенного смещения границы сплошного ареала ели в северо-восточном направлении (Yurkevich, Geltman, 1962; Yermokhin, Puhachevsky, 2009; Bertosh et al., 2014). Это соответствует прогнозным оценкам изменения растительного покрова в результате климатических изменений, согласно которым Беларусь находится в зоне смены породного состава лесов (McCarthy et al., 2001).

Таким образом, многие бореальные лишайники Беларуси на протяжении последних нескольких десятилетий испытывают как непосредственное негативное воздействие повышенных среднегодовых температур атмосферного воздуха, так и находятся под угрозой изменения привычной среды обитания.

Гипоарктомонтанный элемент объединяет виды лишайников, центры массовости которых связаны с гипоарктической областью (Yurtsev, 1966), а также в результате значительной дизъюнкции широко представлены в хвойно-лесных поясах гор (Shustov, 2006). По данным Х.Х. Трасса (Трасс, 1970), многие виды этого элемента сравнительно часто произрастают в бореальных условиях, иногда внедряясь в зону смешанных и лиственных лесов и встречаясь на равнине не реже, чем в горных условиях.

В исследуемой лихенобиоте гипоарктомонтанный элемент представлен 30 видами (4.5%). Несмотря на то, что по числу видов этот элемент занимает четвертое место в географической структуре лихенобиоты Беларуси, уступая только неморальному, бореальному и мультizonальному элементам, гипоарктомонтанные лишайники не принимают существенного участия в структуре лихенопокрова и в современных условиях, по-видимому, являются уязвимыми видами. В частности, 7 видов (23% числа видов данного элемента) известны лишь по историческим данным (до 1980 г., согласно (Lendemeyer et al., 2017)). К таким видам относятся *Arctoparmelia centrifuga* (L.) Hale, *Megaspora verrucosa* (Ach.) Hafellner & V. Wirth, *Nephroma arcticum* (L.) Torss., *Peltigera leucophlebia* (Nyl.) Gyeln., *Rinodina conradii* Körb., *Schaereria fuscocinerea* (Nyl.) Clauzade & Roux и *Scytinium tenuissimum* (Dickson) Otálora et al. Еще 8 видов (*Buellia geophila* (Flörke ex Sommerf.) Lyng., *Cladonia cyanipes* (Sommerf.) Nyl., *C. macrophylla* (Schaer.) Stenh., *C. sulphurina* (Michx.) Fr., *Ochrolechia alboflavescens* (Wulfen) Zahlbr., *Rhizocarpon hochsteteri* (Körb.) Vain., *Tetramelas insignis* (Nägeli ex Hepp) Kalb и *Varicellaria lactea* (L.) I. Schmitt & Lumbsch) были отмечены в 1980-х гг. Таким образом, 50% гипоарктомонтанных лишайников не подтверждены находками позднее 1990 г.

Следует отметить, что большинство видов данного элемента являются эпилитными лишайниками, произрастающими на ледниковых валунах кислых, реже основных горных пород. Количество старых неповрежденных человеком (в результате механического перемещения или дробления) эрратических валунов на территории Беларуси, подобно площади малоизмененных человеческой деятельностью первичных (коренных) лесов, значительно уменьшилось, что привело к сокращению доступных мест произрастания облигатных эпилитов (Golubkov, 1997). Негативное влияние антропогенной нагрузки на гипоарктомонтанные лишайники также отмечалось и для окрестностей Санкт-Петербурга (Malysheva, 2001).

Монтанный элемент объединяет виды лишайников, центры массовости которых связаны с лесными поясами гор Голарктики, а также других флористических царств (Makarevich, 1963; Shustov, 2006). Эти виды также могут встречаться в предгорьях и на равнинах. В Беларуси монтанный элемент по числу примерно равен гипоарктомонтанному географическому элементу и представлен 27 видами, что составляет 4.1% общего числа лишайников.

Следует отметить, что монтанные виды не достигают значительного развития на исследуемой территории. Большинство видов известны из единичных локалитетов, другие демонстрируют снижение численности в современных условиях. Так, четыре вида лишайников – *Brianaria tuberculata* (Sommerf.) S. Ekman & M. Svensson, *Byssolema subdiscordans* (Nyl.) P. James, *Rhizocarpon subpostumum* (Nyl.) Arnold и *Verrucaria floerkeana* Dalla Torre & Sarnth. – вероятно, к настоящему времени уже исчезли на территории Беларуси, поскольку известны лишь по литературным данным начала XX века (Savicz, 1911; Savicz, Savicz, 1924; Bachmann, Bachmann, 1920). Последние находки других семи видов – *Arthonia fuliginosa* (Schaer.) Flot., *Lecanora phaeostigma* (Körb.) Almb., *Lepraria neglecta* (Nyl.) Erichsen, *Micarea cinerea* (Schaer.) Hedl., *Pertusaria alpina* Hepp ex Ahles, *P. constricta* Erichsen и *P. coronata* (Ach.) Th. Fr. – были сделаны в 1970–1980-х годах, и их современный статус требует уточнения (Tsurukau, 2018). Тем не менее, произрастание указанных монтанных лишайников на территории Беларуси вполне вероятно. Примером тому является *Leptogium saturninum* (Dicks.) Nyl., известный лишь по данным конца XIX – начала XX веков (Błoński, 1889; Kreyer, 1913; Bachmann, Bachmann, 1920; Savicz, Savicz, 1924; Savicz 1925), и найденный снова в середине 2010-х годов (Yatsyna, 2017).

Большинство монтанных лишайников, подтвержденных современными находками, являются крайне редкими и известны из одного (*Rhizocarpon viridiatrum* (Wulfen) Körb., *Staurothele caesia* (Arnold) Arnold и *Thelidium minutulum* Körb.), двух (*Biatora ocelliformis* (Nyl.) Arnold, *Brianaria sylvicola* (Flot. ex Körb.) S. Ekman & M. Svensson, *Dimelaena*

oreina (Ach.) Norman, *Lepraria rigidula* (B. de Lesd.) Tønsberg и *Staurothele drummondii* (Tuck.) Tuck.) или трех (*Biatora beckhausii* (Körb.) Tuck.) локалитетов (Tsurukau, 2018). Несколько шире распространены *Biatora vernalis* (L.) Fr., *Chaenotheca gracilentia* (Ach.) J.-E. Mattsson & Middelb., *C. laevigata* Nád., *Menegazzia terebrata* (Hoffm.) A. Massal., *Peltigera horizontalis* (Huds.) Baumg. и *P. lepidophora* (Nyl. ex Vain.) Bitter, однако характерной чертой их распространения в условиях Беларуси, как и многих других монтанных видов, является приуроченность к переходным (экотонным) биотопам, где в значительной мере ослаблены факторы фитоценотической конкуренции (Golubkov, 1986). Необходимость охраны таких видов была обоснована ранее (Golubkov, 1988, 1993b, 2002), и четыре из упомянутых видов (*Chaenotheca gracilentia*, *Menegazzia terebrata*, *Peltigera horizontalis* и *P. lepidophora*) включены в Красную книгу Республики Беларусь (Krasnaya... 2015).

Таким образом, участие монтанных лишайников в сложении лишайнопокрова Беларуси невелико и, вероятно, ниже, чем предполагалось ранее (Gorbach, 1981). Монтанные виды не играют существенной роли в современных ценозах, являясь крайне редкими на всей территории республики. Являясь представителями азональной биоты, монтанные лишайники, тем не менее, крайне уязвимы в современных климатических условиях и нуждаются в специальных мерах охраны.

Субокеанический элемент объединяет лишайники, центры массовости которых связаны с океаническими и субокеаническими регионами материков (Golubkova, 1983; Shustov, 2006). В лишайнобиоте Беларуси представлен 12 видами, что составляет 1.8% от общего числа видов лишайников. Низкая представленность данного элемента соответствует природным условиям региона. Согласно данным (Jäger, 1968; Horvat et al., 1974; Leuschner, Ellenberg, 2017), Беларусь располагается восточнее границы оптимума распространения субокеанических видов. Большая часть республики характеризуется условиями, благоприятствующими произрастанию субконтинентальных, в меньшей степени континентальных видов, но все еще обеспечивающими присутствие небольшого числа субокеанических представителей флоры (рис. 4).

Сложно оценить уязвимость и современное состояние на территории Беларуси субокеанических видов лишайников в целом. Все лишайники субокеанического элемента являются редкими видами, некоторые из которых известны из одного (*Lecania hutchinsiae* (Nyl.) A.L. Sm., *Ramalina subfarinacea* (Nyl. ex Cromb.) Nyl., *Usnea fragilesces* Nav. и *U. rubicunda* Stirt.) (Insarov, Pchelkin, 1982; Yatsyna, 2013b) или трех–четырёх локалитетов (*Cladonia polydactyla* (Flörke) Spreng., *C. scabriuscula* (Delise) Leight. и *Pyrrhospora quernea* (Dicks.) Körb.) (Tsurukau, 2018). Последнее упоминание *Lobaria scrobiculata* (Scop.) DC. для Беларуси датируется 1957 годом (Gorbach, 1957) и, вероятно, этот вид уже исчез на территории республики. Другие виды, такие как *Cladonia incrassata* Flörke, *C. portentosa* (Dufour) Coem. и *C. tenuis* (Flörke) Harm., sporadически встречаются в различных областях республики и подтверждены находками в течение последнего десятилетия (Tsurukau, 2018), а вид *Cladonia norvegica* Tønsberg & Holien был впервые указан в 2011 году (Bely, 2011b; Yatsyna, 2011) и с тех пор неоднократно приводился для различных регионов Беларуси.

Согласно Ellis (2015), чувствительность океанических и субокеанических видов лишайников к изменению климата до настоящего времени остается неясной. Результаты биоклиматического моделирования не позволили выявить каких-либо четких тенденций изменения встречаемости и распространения океанических видов в Великобритании (Ellis, Coppins, 2007; Ellis et al., 2007, 2009). Считается, что частота осадков является наиболее важным фактором, влияющим на распространение океанических и субокеанических видов лишайников. Поэтому благоприятное воздействие более высоких среднегодовых температур на океанические виды лишайников компенсируется негативным влиянием увеличения продолжительности засушливых периодов (Ellis, 2015).



Рис. 4. Океанический градиент в Европе (на основе сосудистых растений): I – зона проникновения некоторых субокеанических видов за пределы восточной границы их распространения; составлено на основе данных Leuschner, Ellenberg (2017).

Fig. 4. Oceanic gradient in Europe (based on vascular plants): I – zone of presence of some suboceanic species east of their range limit; based on data by Leuschner, Ellenberg (2017).

В Беларуси за период потепления количество выпадающих осадков изменилось незначительно. За последние десятилетия на большей части территории республики отмечен небольшой рост годовых сумм осадков, более заметный в юго-восточных регионах (108% климатической нормы), в то время как на юго-западе страны количество выпадающих атмосферных осадков соответствует климатической норме (Padhornaya et al., 2015). По-видимому, современные тенденции в изменении основных климатических характеристик (температуры воздуха и осадков) пока не отразились существенным образом на распространении редких субокеанических видов лишайников в условиях Беларуси. Тем не менее, сложно предсказать, сохранятся ли в будущем сложившиеся гидрометеорологические условия в регионе, и как дальнейший тренд глобального потепления отразится на произрастающих за пределами своего климатического оптимума представителях субокеанической биоты.

Аридный элемент объединяет лишайники, центры массовости которых связаны с засушливыми (аридными) областями Голарктики, а также аналогичными местообитаниями других флористических царств (Lazarenko, 1956; Golubkova, 1983; Shustov, 2006).

В лишайнобиоте Беларуси к аридному элементу относятся 7 видов лишайников (1.1% от общего числа видов) – *Circinaria sphaerothallina* (J. Steiner) Sohrabi, *C. foliacea* (Huds.) Willd., *C. pocillum* (Ach.) O.J. Rich., *C. symphycarpa* (Flörke) Fr., *Variospora aurantia* (Pers.) Arup, Søchting & Frödén, *Verrucaria fusca* Pers. и *Xanthoparmelia pulla* (Ach.) Crespo et al. Все эти виды являются редкими на территории Беларуси. В качестве примера можно привести *Xanthoparmelia pulla*, до недавнего времени считавшийся обычным видом, известным для всех областей республики. В результате проведенной ревизии большинство образцов, ранее приводимых под этим названием, оказались принадлежащими другому, морфологически схожему виду – *X. delisei* (Duby) O. Blanco et al. В Беларуси *X. pulla* имеет ограниченное распространение и является относительно редким, из-

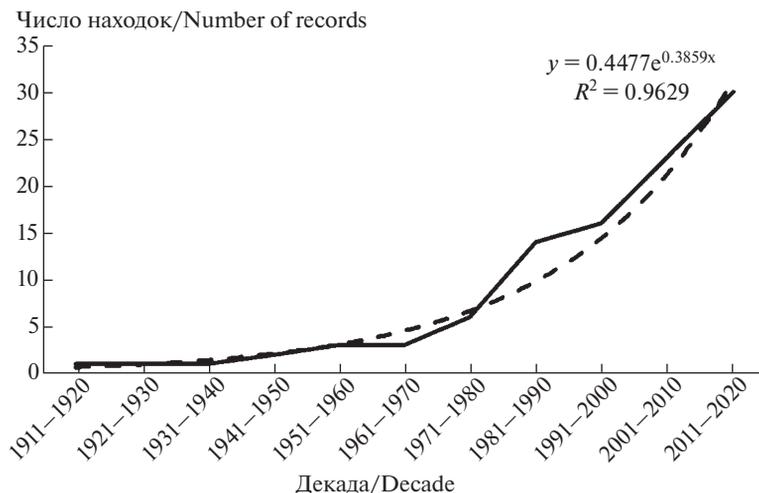


Рис. 5. Частота находок аридных видов лишайников на территории Беларуси (накопительный график).

Fig. 5. Frequency of the records of arid lichen species in Belarus (cumulative graph).

вестным только на северо-западе республики видом (Tsurukau et al., 2018a, b). Такая приуроченность аридного лишайника к северной части Беларуси связана исключительно с доступностью валунного материала ледникового происхождения, отсутствующего в южных регионах страны (Golubkov, 1992, 1996; Tsurukau et al., 2018b).

Другим крайне редким видом лишайников, ранее приводимым из многих локалитетов республики (Golubkov, 1993a, 2013), является *Cladonia pocillum*. Большинство образцов нами были переопределены и отнесены к другим видам лишайников (преимущественно *C. monomorpha* Aptroot, Sipman & van Herk) в ходе проведенной ревизии лишайников группы *Cladonia chlorophaea-pyxidata*, и на данный момент *C. pocillum* известен только из одного локалитета в западной части страны (Tsurukau, Golubkov, 2015; Tsurukau et al., 2015b).

Несмотря на незначительное участие аридных видов в структуре лишайносообществ республики, эти лишайники, обладая выраженными зональными признаками распространения, могут служить индикаторными (сигнальными) видами в условиях изменяющегося климата. Следует отметить, что более половины аридных видов лишайников были приведены для территории Беларуси после 2000 г. (Golubkov, 2002; Yurchenko, 2011; Yatsyna, 2015; Tsurukau, Golubkov, 2015). На тот же период приходится 47% находок аридных лишайников за весь период изучения лишайнобиоты Беларуси (рис. 5) (Tsurukau, Golubkov, 2015; Tsurukau et al., 2018b; Tsurukau, 2018).

Увеличение разнообразия и встречаемости аридных видов лишайников соответствует общей динамике ксерофитизации флоры и фауны Беларуси. С конца XX века в республике были обнаружены растения и животные более южного происхождения (характерные для лесостепных и степных сообществ соседней Украины), которые ранее в стране не отмечались (Stsepanovich, 1997; Puhachevsky et al., 2011; Khomich et al., 2018). Расширение ареала степных видов растений и животных и их экспансия на территорию Беларуси являются результатом увеличения среднегодовых температур и появления гидротермических условий степной зоны (Khomich et al., 2018).

В условиях Беларуси аридные лишайники приурочены к хорошо освещаемым и прогреваемым локалитетам, заселяя каменистые субстраты силикатной или карбонатной природы, а также участки с легкими, преимущественно песчаными почвами.

Таким образом, выявленные особенности встречаемости ксеротермных лишайников соответствуют тенденциям аридизации климата Беларуси.

Мультизональный элемент объединяет лишайники, широко распространенные во многих растительно-климатических зонах Голарктики, а также других флористических царств (Golubkova, 1983). В лишайнобиоте Беларуси мультизональный элемент играет важную роль, занимая третье место, и насчитывает 179 (27.0%) видов.

Выделение мультизонального элемента неоднократно подвергалось критике (Kondratyuk, 1988; Urbanavichus, 2001; Muchnik, 2003). Однако, ввиду различных причин (недостаточные сведения об экологии, таксономические проблемы, широкая экологическая пластичность), для многих видов лишайников затруднительно определить конкретные фитогеографические признаки, которые позволили бы однозначно выявить их центр массовости. Поэтому выделение мультизональных видов было предложено рассматривать как вынужденное, временное явление (Muchnik, 2003), пока новые данные лишайногеографии, экологии и молекулярной филогенетики не позволят с большой долей вероятности определить конкретный географический элемент для мультизональных видов лишайников.

Важную роль при определении центра массовости вида представляют данные о его ареале. 141 вид (79% от числа видов мультизонального элемента) произрастает в различных флористических царствах, т.е. характеризуется мультирегиональным типом ареала. Результаты молекулярных исследований показали генетическую неоднородность многих мультирегиональных видов. Ярким примером является *Lepraria incana* (L.) Ach., до недавнего времени считавшийся типичным космополитным лишайником, распространенным на всех континентах, исключая Арктические широты и Антарктиду (Saag et al., 2009). Однако таксономическая ревизия североамериканских образцов *L. incana* показала, что они генетически отличны от европейских и представляют 2 отдельных, ранее не описанных вида лишайников – *L. pacifica* Lendemer, распространенный на тихоокеанском побережье Северной Америки, и *L. hodkinsoniana* Lendemer, произрастающий на востоке Североамериканского континента (Lendemer, 2011). Позже *L. incana* s. str. была исключена из списка видов лишайников Южной Америки (образцы были переопределены как *L. aff. hodkinsoniana*) (Guzow-Krzemińska et al., 2019). Произрастание данного вида в Юго-Восточной Азии и Австралии было также поставлено под сомнение после того, как видовая принадлежность образцов из Непала и Новой Зеландии, ранее опубликованных под названием *Lepraria incana*, была также переопределена (Kukwa, 2006). Таким образом, к настоящему времени ареал *L. incana* s. str. охватывает Европу и северную часть азиатского субконтинента. Такое значительное сужение географического распространения этого вида позволяет пересмотреть его зональную приуроченность. Однако, по всей видимости, даже европейский материал *Lepraria incana* является генетически неоднородным (Knudsen, персональное сообщение), что подтверждается его высокой морфологической вариабельностью (Saag et al., 2009), не характерной представителям данного рода.

Следует также отметить, что в Беларуси 45% мультизональных лишайников связаны с каменистым субстратом, и более половины (55%) узкоспециализированных эпилитов являются мультизональными видами (Tsurgykau, 2018). Очевидно, имеющиеся данные об экологии эпилитных лишайников, а также неравномерное распространение каменистого субстрата в пределах умеренной зоны Голарктики не позволяют к настоящему времени отнести эти виды к определенному географическому элементу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В лишайнобиоте Беларуси выделено 7 географических элементов. Наиболее представлены неморальный (205 видов лишайников), бореальный (204 вида) и мультизо-

нальный (178 видов). Вместе эти три элемента объединяют 88.3% лишенобиоты. Представители гипоарктомонтанного (30), монтанного (27), субокеанического (12) и аридного (7 видов) географических элементов незначительно представлены в структуре лишенобиоты и не играют существенной роли в современных ценозах, являясь преимущественно редкими видами лишайников на всей территории республики.

Установлена тенденция неморализации и аридизации лишенобиоты Беларуси, проявляющаяся в увеличении доли неморальных и аридных лишайников в ее структуре, а также в увеличении частоты встречаемости многих аридных видов. Данный тренд соответствует динамике изменения растительного и животного мира республики и связан, по-видимому, с изменением климатических характеристик изучаемой территории.

Выявлено сокращение числа видов гипоарктомонтанного и монтанного географических элементов, являющихся уязвимыми лишайниками в спектре климатических условий последних десятилетий. Сохранение этих лишайников может потребовать применения природоохранных мер.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаю глубокую благодарность д.б.н., доценту Евгении Эдуардовне Мучник (Институт лесоведения РАН), Prof. Dr. Silke Werth (Ludwig Maximilians University of Munich) и к.г.н., в.н.с. Геннадия Пранасовичу Урбанавичюсу (Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН) за неоценимую консультативную помощь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Bachmann E., Bachmann F. 1920. Litauische Flechten. — *Hedwigia*. 61 (6): 308–342.
- Bässler C., Cadotte M.W., Beudert B., Heibl C., Blaschke M., Bradtka J.H., Langbehn T., Werth S., Müller J. 2015. Contrasting patterns of lichen functional diversity and species richness across an elevation gradient. — *Ecography*. 39: 689–698.
<https://doi.org/10.1111/ecog.01789>
- [Bely] Белый П.Н. 2011а. Состав и особенности систематической структуры лишайников еловых лесов Беларуси. — *Веснік МДПУ імя І.П. Шамякіна*. 4: 9–17.
- [Bely] Белый П.Н. 2011б. Аннотированный список лишайников и лишенофильных грибов еловых экосистем Беларуси. — С сб.: Особо охраняемые природные территории Беларуси. Исследования. Вып. 6. Минск. С. 146–178.
- [Bely] Белый П.Н. 2012а. Географическая структура лишенофлоры еловых лесов Беларуси. — *Веснік МДПУ імя І.П. Шамякіна*. 1: 3–10.
- [Bely] Белый П.Н. 2012б. Хорологические особенности еловых лесов Беларуси: широтное распределение лишайников. — *Веснік МДПУ імя І.П. Шамякіна*. 3: 3–10.
- [Bely] Белый П.Н. 2016. Лишайники еловых лесов Беларуси. Минск. 230 с.
- Bely P., Golubkov V., Tsurykau A., Sidorovich E. 2014. The lichen genus *Cetrelia* in Belarus: distribution, ecology and conservation — *Bot. Lith.* 20 (2): 69–76.
<https://doi.org/10.2478/botlit-2014-0010>
- [Bertosh et al.] Бертош Е., Русаков Д., Лукашевич Т. 2014. Национальный доклад: Уязвимость и адаптация к изменению климата в Беларуси. Минск. 45 с.
- [Biazrov] Бязров Л.Г. 2013. Формулы ареалов лишенизированных грибов семейства Umbilicariaceae из Монголии на основе общемировой карты экорегионов суши. — *Новости сист. низш. раст.* 47: 179–199.
- Binder M.D., Ellis C.J. 2008. Conservation of the rare British lichen *Vulpicida pinastri*: Changing climate, habitat loss and strategies for mitigation. — *Lichenologist*. 40: 63–79.
<https://doi.org/10.1017/S0024282908007275>
- Błoński F. 1888. Spis roślin skrytokwiatowych zebranych w r. 1887 w puszczy Białowiejskiej. — *Pam. fizyogr.* 8: 75–119.

Braidwood D., Ellis C.J. 2012. Bioclimatic equilibrium for lichen distributions on disjunct continental landmasses. — *Botany*. 90: 1316–1325.
<https://doi.org/10.1139/b2012-103>

Buschbom J. 2007. Migration between continents: geographical structure and long-distance gene flow in *Porpidia flavicunda* (lichen-forming Ascomycota). — *Mol. Ecol.* 16: 1835–1846.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03258.x>

[But'kovec] Бутьковец В.В. 2018. Распределение *Picea abies* в лесных насаждениях южной части Беларуси. — В сб.: Проблемы лесоведения и лесоводства. 78. Гомель. С. 133–140.

Chen I.C., Hill J.K., Ohlemuller R., Roy D.B., Thomas C.D. 2011. Rapid range shifts of 469 species associated with high levels of climate warming. — *Science*. 333: 1024–1026.
<https://doi.org/10.1126/science.1206432>

Ellis C. 2015. Biodiversity Climate change impacts report card technical paper. 8. Implications of climate change for UK bryophytes and lichens. — *Biodiversity Report Card Paper*. 8: 1–18.

Ellis C.J., Coppins B.J. 2007. Changing climate and historic-woodland structure interact to control species diversity of the 'Lobarion' epiphyte community in Scotland. — *J. Veg. Sci.* 18: 725–734.
<https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2007.tb02587.x>

Ellis C.J., Coppins B.J., Dawson T.P., Seaward M.R.D. 2007. Response of British lichens to climate change scenarios: trends and uncertainties in the projected impact for contrasting biogeographic groups. — *Biol. Conserv.* 140: 217–235.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.08.016>

Ellis C.J., Yahr R., Coppins B.J. 2009. Local extent of old-growth woodland modifies epiphyte response to climate change. — *J. Biogeogr.* 36: 302–313.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.01989.x>

Feurerer T., Hawksworth D.L. 2007. Biodiversity of lichens, including a world-wide analysis of checklist data based on Takhtajan's floristic regions. — *Biodivers. Conserv.* 16 (1): 85–98.
<https://doi.org/10.1007/s10531-006-9142-6>

Gobiet A., Kotlarski S., Beniston M., Heinrich G., Rajczak J., Stoffel M. 2014. 21st century climate change in the European Alps — a review. — *Sci. Total Environ.* 493: 1138–1151.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.050>

[Golubkov] Голубков В.В. 1986. Эколого-географическая характеристика некоторых редких и реликтовых видов лишайников, произрастающих на охраняемых природных территориях Белорусской ССР. — *Ботаника (Исследования)*. 27: 139–141.

[Golubkov] Голубков В.В. 1988. Охрана редких и исчезающих видов лишайников в Белоруссии. — *Микологические исследования*. 16: 125–128.

[Golubkov] Голубков В.В. 1992. Лишайники охраняемых природных территорий Беларуси (флористическая и эколого-географическая характеристика): Дис. ... канд. биол. наук. Минск. 503 с.

Golubkov V.V. 1993a. About some new and rare lichen species for the territory of Belarus. — In: Abstracts of the 12th International Conference "Fungi and lichens in the Baltic region". Vilnius. P. 137–138.

[Golubkov] Голубков В.В. 1993b. Вопросы охраны лишайников Белоруссии. — В сб.: Материалы VI съезда БРБО "Проблемы ботаники". Ч. 1. Минск. С. 97–98.

[Golubkov] Голубков В.В. 1996. Влияние антропогенной трансформации ландшафтов на особенности распространения и разнообразия лишайников в Белорусском Поозерье. — В сб.: Тез. докл. регион. науч.-практ. конф. "Сохранение биологического разнообразия Белорусского Поозерья". Витебск. С. 81–82.

[Golubkov] Голубков В.В. 1997. Лишайники как компоненты ландшафтов и геологических структур некоторых проектируемых и существующих памятников природы Беларуси. — В сб.: Матэрыялы канф. "Актуальныя праблемы прыродазнаўства". Мінск. С. 63–65.

[Golubkov] Голубков В.В. 2002. Солологический анализ лишайнобиоты бассейна р. Днепр (Беларусь). — В сб.: Материалы респ. науч. конф. "Красная книга Республики Беларусь: состояние, проблемы, перспективы". Витебск. С. 69–71.

[Golubkov] Голубков В.В. 2013. Новые, редкие и малоизвестные таксоны лишайников, обнаруженные на территории Беларуси (краткое сообщение). — В сб.: Материалы IX междунар. конф. "Актуальные проблемы экологии". Гродно. С. 22–24.

[Golubkova] Голубкова Н.С. 1983. Анализ флоры лишайников Монголии. Ленинград. 281 с.

[Gorbach] Горбач Н.В. 1957. Материалы к флоре лишайников Белоруссии (Лишайники Беловежской пуши). — Бюл. Ин-та биологии за 1956 год. 2: 43–46.

[Gorbach] Горбач Н.В. 1981. Лишайники монтанного географического элемента в лишайно-флоре Белоруссии. — В сб.: Брио-лихенологические исследования высокогорных районов и севера СССР. Апатиты. С. 86–87.

Green T.G.A., Nash III T.H., Lange O.L. 2008. Physiological ecology of carbon dioxide exchange. — In: Lichen Biology. Cambridge. P. 152–181.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511790478.010>

Greenwood S., Chen J.C., Chen C.T., Jump A.S. 2016. Community change and species richness reductions in rapidly advancing tree lines. — J. Biogeogr. 43: 2274–2284.
<https://doi.org/10.1111/jbi.12776>

Guzow-Krzemińska B., Jabłońska A., Flakus A., Rodriguez-Flakus P., Kosecka M., Kukwa M. 2019. Phylogenetic placement of *Lepraria cryptovouauxii* sp. nov. (Lecanorales, Lecanoromycetes, Ascomycota) with notes on other *Lepraria* species from South America. — MycoKeys. 53: 1–22.
<https://doi.org/10.3897/mycokeys.53.33508>

Hewitt G.M. 1999. Post-glacial re-colonization of European biota. — Biol. J. Linn. Soc. 68: 87–112.
<https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1999.tb01160.x>

Horvat I., Glavac V., Ellenberg H. 1974. Vegetation Südosteuropas. Stuttgart. 752 p.

[Inсаров, Pchelkin] Инсаров Г.Э., Пчелкин А.В. 1982. Количественные характеристики состояния эпифитной лишайнофлоры биосферных заповедников. Березинский заповедник. Москва. 58 с.

Inсаров G., Schroeter B. 2002. Lichen monitoring and climate change. — In: Monitoring with lichens — Monitoring lichens. Dordrecht. P. 183–201.
https://doi.org/10.1007/978-94-010-0423-7_13

Jäger E. 1968. Die pflanzengeographische Ozeanitätsgliederung der Holarktis und die Ozeanitätsbindung der Pflanzenareale. — Feddes Repert. 79: 157–335.
<https://doi.org/10.1002/fedr.19680790302>

[Khomich et al.] Хомич В.С., Логинов В.Ф., Мельник В.И., Табальчук Т.Г., Семенченко В.П., Кулак А.В., Степанович И.М. 2018. Признаки остепенения южной части Беларуси. — В сб.: Материалы VIII междунар. симпозиума “Степи Северной Евразии”. Оренбург. С. 1051–1054.

[Kobzar] Кобзарь Н.Н. 1985. Географический анализ лишайнофлоры Березинского государственного биосферного заповедника. — В сб.: Тезисы докл. “Грибы и лишайники в экосистеме”. Т. 2. Рига. С. 72–74.

[Kobzar] Кобзарь Н.Н. 2004. Биоразнообразие и географический анализ лишайнофлоры центральной части Беларуси. — В сб.: Материалы Междунар. конф. “Биология, систематика и экология грибов в природных экосистемах и агрофитоценозах”. Минск. С. 125–128.

[Konдрatyuk] Кондратюк С.Я. 1988. Некоторые проблемы географического анализа лишайнофлоры. — В сб.: Тез. докл. XI симпозиума микологов и лишайнологов Прибалтийских республик и Белоруссии. Таллин. С. 133–136.

Kukwa M. 2006. The lichen genus *Lepraria* in Poland. — Lichenologist. 38 (4): 293–305.
<https://doi.org/10.1017/S0024282906005962>

[Krasnaya...] Красная книга Республики Беларусь: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений. 2015. Минск. 448 с.

[Kreyer] Крейер Г.К. 1913. К флоре лишайников Могилевской губернии. Сборы 1908–1910 годов. — Труды Импер. ботан. сада. 31 (2): 263–440.

Lättman H., Milberg P., Palmer M.W., Mattson J.-E. 2009. Changes in the distribution of epiphytic lichens in southern Sweden using a new statistical method. Nord. J. Bot. 27: 418–418.
<https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.2009.00425.x>

[Lazarenko] Лазаренко А.С. 1956. Основні засади класифікації ареалів листяних мохів Радянського Далекого Сходу. — Укр. бот. журн. 13 (1): 31–40.

Lendemer J.C. 2011. A taxonomic revision of the North American species of *Lepraria* s.l. that produce divaricatic acid, with notes on the type species of the genus *L. incana*. — Mycologia. 103 (6): 1216–1229.

<https://doi.org/10.3852/11-032>

Lendemer J.C., Anderson Stewart C.R., Besal B., Goldsmith J., Griffith H., Hoffman J.R., Kraus B., LaPoint P., Li L., Muscavitch Z., Schultz J., Schultz R., Allen J.L. 2017. The lichens and allied fungi of Mount Mitchell State Park, North Carolina: a first checklist with comprehensive keys and comparison to historical data. — *Castanea*. 82 (2): 69–97.
<https://doi.org/10.2179/17-126>

Lenoir J., Gégout J.C., Marquet P.A., De Ruffray P., Brisse H. 2008. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. — *Science*. 320: 1768–1771.
<https://doi.org/10.1126/science.1156831>

Leuschner C., Ellenberg H. 2017. Ecology of central European forests, vegetation ecology of Central Europe. Vol. 1. Cham. 971 p.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-43042-3>

[Makarevich] Макаревич М.Ф. 1963. Анализ лишенофлоры Украинских Карпат. Київ. 262 с.

[Malysheva] Малышева Н.В. 2001. Изменение окрестностей Санкт-Петербурга. 5. Изменение видового состава лишайников парка “Осиновая роща” за 200 лет. — *Новости сист. низш. раст.* 34: 162–166.

McCarthy J.J., Canziani O.F., Leary N.A., Dokken D.J., White K.S. 2001. TAR Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge. 1042 p.

Mies B., Lösch R. 1995. Relative habitat constancy of lichens on the Atlantic islands. — *Cryptogamic Botany* 5: 192–198.

[Muchnik] Мучник Е.Э. 2003. Лишенофлора Центрального Черноземья: таксономический и эколого-географический анализы, вопросы охраны: Дис. ... докт. биол. наук. Воронеж. 485 с.

Muñoz J., Felicísimo A.M., Cabezas F., Burgaz A.R., Martínez I. 2004. Wind as a long-distance dispersal vehicle in the southern hemisphere. — *Science*. 304: 1144–1147.
<https://doi.org/10.1126/science.1095210>

Myllys L., Stenroos S., Thell A., Ahti T. 2003. Phylogeny of bipolar *Cladonia arbuscula* and *Cladonia mitis* (Lecanorales, Euascomycetes). — *Mol. Phylogenet. Evol.* 27: 58–69.
[https://doi.org/10.1016/S1055-7903\(02\)00398-6](https://doi.org/10.1016/S1055-7903(02)00398-6)

Nascimbene J., Spitale D. 2017. Patterns of beta-diversity along elevational gradients inform epiphyte conservation in alpine forests under a climate change scenario. — *Biol. Conserv.* 216: 26–32.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.09.021>

Nascimbene J., Nimis P.L., Mair P., Spitale D. 2018. Climate warming effects on epiphytes in spruce forests of the Alps. — *Herzogia*. 31: 374–384.
<https://doi.org/10.13158/hea.31.1.2018.374>

[Oksner] Окснер А.Н. 1940–1942. Анализ и история происхождения лишенофлоры Советской Арктики: Дис. докт. биол. наук. Киев–Киров. 318 с.

[Oksner] Окснер А.Н. 1944. О происхождении ареала биполярных лишайников. — *Бот. журн.* 29 (6): 243–256.

[Oksner] Окснер А.М. 1948. Арктичний елемент в лишенофлорі радянського сектора Полярної області. — *Укр. бот. журн.* 5 (1): 65–82.

[Oksner] Окснер А.Н. 1974. Определитель лишайников СССР. Вып. 2. Морфология, систематика и географическое распространение. Ленинград. 281 с.

Otáloro M.A.G., Martínez I., Aragón G., Molina M.C. 2010. Phylogeography and divergence date estimates of a lichen species complex with a disjunct distribution pattern. — *Am. J. Bot.* 97: 216–223.
<https://doi.org/10.3732/ajb.0900064>

[Padhornaya et al.] Подгорная Е.В., Мельник В.И., Комаровская Е.В. 2015. Особенности изменения климата на территории Республики Беларусь за последние десятилетия. — *Труды Гидрометцентра России*. 358: 112–120.

Palice Z., Printzen C. 2004. Genetic variability in tropical and temperate populations of *Trapeliopsis glaucolepidea*: Evidence against long range dispersal in a lichen with disjunct distribution. — *Mycotaxon*. 90: 43–54.

Printzen C., Ekman S., Tønsberg T. 2003. Phylogeography of *Cavernularia hulthenii*: evidence of slow genetic drift in a widely disjunct lichen. — *Mol. Ecol.* 12: 1473–1486.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.2003.01812.x>

[Puhachevsky et al.] Пугачевский А., Степанович И., Ермохин М. 2011. Растительность в новых природных условиях. — *Наука и инновации*. 4: 21–24.

Saag L., Saag A., Randlane T. 2009. World survey of the genus *Lepraria* (Stereocaulaceae, lichenized Ascomycota). — *Lichenologist*. 41 (1): 25–60.
<https://doi.org/10.1017/S0024282909007993>

[Savicz] Савич В.П. 1911. Материалы к флоре Полесья. Список лишайников, собранных в Минской губернии в 1910 г. Л.И. Любичской. — Труд. студ. науч. кружк. Физ.-Мат. фак. СПБ унив. 3: 57–66.

[Savicz] Савич В.П. 1925. Результаты лихенологических исследований 1923 года в Белорусии. — Зап. Инст. С. X. 4: 1–33.

[Savicz, Savicz] Савич В.П., Савич Л.И. 1924. Краткий предварительный отчет об исследовании флоры мхов и лишайников Белоруссии летом 1923 г. — Зап. Инст. С. X. 3: 57–72.

Schroeter B., Kappen L., Schulz F., Sancho L.G. 2000. Seasonal variation in the carbon balance of lichens in the maritime Antarctic: long-term measurements of photosynthetic activity in *Usnea aurantiaco-atra*. — In: Antarctic ecosystems: models for wider ecological understanding. Christchurch. P. 258–262.

[Shustov] Шустов М.В. 2006. Лишайники приволжской возвышенности. Москва. 237 с.

[Stsepanovich] Сцепановіч І.М. 1997. Ксератэрмныя (астэпаваныя) лугавыя супольніцтвы Беларусі. — Весці АН Беларусі. Сер. біял. навук. 2: 12–20.

[Trass] Трасс Х.Х. 1970. Элементы и развитие лихенофлоры Эстонии. — Учен. зап. ун-та Тарту. Труды по ботанике. 9: 5–259.

[Tsurykau] Цуриков А.Г. 2013. Лишайники юго-востока Беларуси. Гомель. 276 с.

Tsurykau A. 2016. Epiphytic lichens in differently aged and climatic *Pinus sylvestris* plantations in Belarus. — In: Abstracts of the 8th IAL Symposium “Lichens in Deep Time”. Helsinki. P. 127.

Tsurykau A. 2017. New or otherwise interesting records of lichens and lichenicolous fungi from Belarus. III. With an updated checklist of lichenicolous fungi. — *Herzogia*. 30: 152–165.
<https://doi.org/10.13158/hea.30.1.2017.152>

Tsurykau A. 2018. A provisional checklist of the lichens of Belarus. — *Opuscula Philolichenum*. 17: 374–479.

Tsurykau A., Golubkov V. 2015. The lichens of the *Cladonia pyxidata-chlorophaea* complex in Belarus. — *Folia Cryptog. Estonica*. 52: 63–71.
<https://doi.org/10.12697/fce.2015.52.08>

Tsurykau A., Golubkov V., Bely P. 2015a. The genera *Hypotrachyna*, *Parmotrema* and *Punctelia* (Parmeliaceae, lichenized Ascomycota) in Belarus. — *Herzogia*. 28 (2): 736–745.
<https://doi.org/10.13158/hea.28.2.2015.736>

[Tsurykau et al.] Цуриков А.Г., Голубков В.В., Цурикова Н.В. 2015b. Ревизия лишайников группы видов *Cladonia pyxidata* в Беларуси. — *Веснік ВДУ*. 2–3: 47–52.

Tsurykau A., Golubkov V., Bely P. 2016. The genus *Lepraria* (Stereocaulaceae, lichenized Ascomycota) in Belarus. — *Folia Cryptog. Estonica*. 53: 43–50.
<https://doi.org/10.12697/fce.2016.53.06>

Tsurykau A., Golubkov V., Bely P. 2018a. The lichen genus *Xanthoparmelia* (Parmeliaceae) in Belarus. — *Folia Cryptog. Estonica*. 55: 125–132.
<https://doi.org/10.12697/fce.2018.55.13>

[Tsurykau et al.] Цуриков А.Г., Голубков В.В., Белый П.Н. 2018b. Ревизия лишайников рода *Xanthoparmelia* Беларуси: *X. delisei* и *X. pulla*. — *Журнал Белорусского государственного университета. Биология*. 3: 21–27.

[Tsurykau, Khramchankova] Цуриков А.Г., Храмченкова О.М. 2007. Географический анализ лихенофлоры Гомельского Полесья. — *Веснік МДПУ імя І.П. Шамякіна*. 1: 48–52.

[Urbanavichus] Урбанавічюс Г.П. 1999. Биогеографические закономерности формирования флоры лишайников Южного Прибайкалья: Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Москва. 26 с.

[Urbanavichus] Урбанавічюс Г.П. 2001. Как определить географический элемент лишайников. — В сб.: Труды Первой Российской лихенологической школы. Петрозаводск. С. 223–237.

Wagner S., Zotz G., Allen N.S., Bader M.Y. 2012. Altitudinal changes in temperature responses of net photosynthesis and dark respiration in tropical bryophytes. — *Annals Bot.* 111: 455–465.
<https://doi.org/10.1093/aob/mcs267>

Werth S., Gugerli F., Holderegger R., Wagner H.H., Csencsics D., Scheidegger C. 2007. Landscape-level gene flow in *Lobaria pulmonaria*, an epiphytic lichen. – *Mol. Ecol.* 16: 2807–2815. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03344.x>

[Yatsyna] Яцына А.П. 2011. Новые находки лишайников и нелихенизированных грибов на территории Беларуси. – В сб.: Материалы VII Междунар. конф. “Актуальные проблемы экологии”. Гродно. С. 31–32.

[Yatsyna] Яцына А.П. 2013а. Влияние региональных факторов на широтное распределение лишайников сосновой формации Беларуси: географические и таксономические особенности. – *Вестник ВДУ.* 6: 29–35.

[Yatsyna] Яцына А.П. 2013б. Новые виды лишайников и нелихенизированных грибов НП “Браславские озера”. – *Вестник ВДУ.* 2: 53–59.

[Yatsyna] Яцына А.П. 2014. Таксономический состав, эколого-фитоценотическая, биоморфологическая и географическая структура лишайнобиоты основных лесов Беларуси: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Минск. 26 с.

[Yatsyna] Яцына А.П. 2015. Лихенобиота фортов Гродненской крепости (Беларусь). – В сб.: Тезисы докладов III (XI) Междунар. ботанической конф. молодых ученых в Санкт-Петербурге. СПб. С. 46.

[Yatsyna] Яцына А.П. 2017. Лихенобиота спелых еловых насаждений двух особо охраняемых природных территорий Витебской области. – *Вестник ВДУ.* 3: 74–79.

[Yermokhin, Puhachevsky] Ермохин М.В., Пугачевский А.В. 2009. Современная динамика южной границы сплошного распространения ели (*Picea abies* Karst.) в Беларуси. – *Известия НАН Беларуси.* 1: 51–55.

Yurchenko E.O. 2011. Lichens of Belarus: an illustrated electronic handbook. Minsk. 1 CD.

[Yurkevich, Geltman] Юркевич И.Д., Гельтман В.С. 1962. Распространение ели в БССР. – В сб.: Лесоводственная наука и практика. Минск. С. 53–78.

[Yurkevich et al.] Юркевич И.Д., Голод Д.С., Адерихо В.С. 1979. Растительность Белоруссии, ее картографирование, охрана и использование. Минск. 248 с.

[Yurtsev] Юрцев Б.А. 1966. Гипоарктический ботанико-географический пояс и происхождение его флоры. – *Комаровские чтения.* 19: 1–94.

DYNAMICS OF THE GEOGRAPHIC STRUCTURE OF LICHEN BIOTA OF BELARUS AS INDICATOR OF MODERN BIOCLIMATIC CONDITIONS

A. G. Tsurykau^{a,b,#}

^a Francisk Skorina Gomel State University
Sovetskaja str., 104, Gomel, 246019, Belarus

^b Samara National Research University
Moskovskoye shosse, 34, Samara, 443086, Russia

[#] e-mail: tsurykau@gmail.com

The biogeographical structure of the lichen biota of Belarus was studied in order to understand its distribution patterns (floristic elements) against the background of modern ecogeographical and historical factors. Seven floristic elements are distinguished, namely arid, boreal (cool-temperate), hypo-arctic-montane, montane, multi-zonal, nemoral (mild-temperate) and suboceanic. Nemoral element is the most diverse in the country, counting 205 (30.9%) species. The share of arid and mild-temperate species has increased over the past 20 years due to the climate warming. In contrast, hypo-arctic-montane and montane lichens are vulnerable to warming and may soon experience local extinction. For the suboceanic and multi-zonal species, sensitivity to climate change remains unknown.

Keywords: lichens, lichenicolous fungi, geographic analysis, climate change

ACKNOWLEDGEMENTS

I am grateful to DSc E.E. Muchnik (Institute of Forest Science RAS), Prof. Dr. S. Werth (Ludwig Maximilians University of Munich) and Dr. G.P. Urbanavichus (Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS) for the valuable advice.

REFERENCES

- Bachmann E., Bachmann F. 1920. Litauische Flechten. — *Hedwigia*. 61 (6): 308–342.
- Bässler C., Cadotte M.W., Beudert B., Heibl C., Blaschke M., Bradtka J.H., Langbehn T., Werth S., Müller J. 2015. Contrasting patterns of lichen functional diversity and species richness across an elevation gradient. — *Ecography*. 39: 689–698.
<https://doi.org/10.1111/ecog.01789>
- Bely P.N. 2011a. Sostav i osobennosti sistematicheskoi struktury lishainikov yelovykh lesov Belarusi [Composition and features of the systematic structure of the lichens of spruce forests of Belarus]. — *Vesnik MDPU imya I.P. Shamyakina*. 4: 9–17. (In Russ.).
- Bely P.N. 2011b. Annotated list of lichens and lichenicolous fungi of spruce forests of Belarus. — In: *Osobo okhranyayemye prirodnyye territorii: Issledovaniya*. Iss. 6. Minsk. P. 146–178 (In Russ.).
- Bely P.N. 2012a. Geograficheskaya struktura likhenoflory yelovykh lesov Belarusi [Geographic structure of lichen flora of spruce forests of Belarus]. — *Vesnik MDPU imya I.P. Shamyakina*. 1: 3–10 (In Russ.).
- Bely P.N. 2012b. Khorologicheskiye osobennosti yelovykh lesov Belarusi: shirotnoye raspredeleniye lishainikov [Horological features of the spruce forests of Belarus: the latitudinal distribution of lichens]. — *Vesnik MDPU imya I.P. Shamyakina*. 3: 3–10. (In Russ.).
- Bely P.N. 2016. Lishainiki yelovykh lesov Belarusi [Lichens of spruce forests of Belarus]. Minsk. 230 p. (In Russ.).
- Bely P., Golubkov V., Tsurykau A., Sidorovich E. 2014. The lichen genus *Cetrelia* in Belarus: distribution, ecology and conservation — *Bot. Lith.* 20 (2): 69–76.
<https://doi.org/10.2478/botlit-2014-0010>
- Bertosh E., Rusakov D., Lukashevich T. 2014. Natsional'nyi doklad: Uyazvimost' i adaptatsiya k izmeneniyu klimata v Belarusi [National report: Vulnerability and adaptation to climate change in Belarus]. Minsk. 45 p. (In Russ.).
- Biazrov L.G. 2013. Range formulas of lichenized fungi of the family Umbilicariaceae from Mongolia on the base of the world terrestrial ecoregions map. — *Novosti Sist. Nizsh. Rast.* 47: 179–199 (In Russ.).
- Binder M.D., Ellis C.J. 2008. Conservation of the rare British lichen *Vulpicida pinastri*: Changing climate, habitat loss and strategies for mitigation. — *Lichenologist*. 40: 63–79.
<https://doi.org/10.1017/S0024282908007275>
- Błoński F. 1888. Spis roślin skrytokwiatowych zebranych w r. 1887 w puszczy Białowieskiej. — *Pam. fizyogr.* 8: 75–119.
- Braidwood D., Ellis C.J. 2012. Bioclimatic equilibrium for lichen distributions on disjunct continental landmasses. — *Botany*. 90: 1316–1325.
<https://doi.org/10.1139/b2012-103>
- Buschbom J. 2007. Migration between continents: geographical structure and long-distance gene flow in *Porpidia flavicunda* (lichen-forming Ascomycota). — *Mol. Ecol.* 16: 1835–1846.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03258.x>
- But'kovec V.V. 2018. Distribution of *Picea abies* in forest plantations of the southern part of Belarus. — In: *Problemy lesovedeniya i lesovodstva*. 78. Gomel. P. 133–140 (In Russ.).
- Chen I.C., Hill J.K., Ohlemuller R., Roy D.B., Thomas C.D. 2011. Rapid range shifts of 469 species associated with high levels of climate warming. — *Science*. 333: 1024–1026.
<https://doi.org/10.1126/science.1206432>
- Ellis C. 2015. Biodiversity Climate change impacts report card technical paper. 8. Implications of climate change for UK bryophytes and lichens. — *Biodiversity Report Card Paper 8*: 1–18.
- Ellis C.J., Coppins B.J. 2007. Changing climate and historic-woodland structure interact to control species diversity of the 'Lobarion' epiphyte community in Scotland. — *J. Veg. Sci.* 18: 725–734.
<https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2007.tb02587.x>

Ellis C.J., Coppins B.J., Dawson T.P., Seaward M.R.D. 2007. Response of British lichens to climate change scenarios: trends and uncertainties in the projected impact for contrasting biogeographic groups. — *Biol. Conserv.* 140: 217–235.

<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.08.016>

Ellis C.J., Yahr R., Coppins B.J. 2009. Local extent of old-growth woodland modifies epiphyte response to climate change. — *J. Biogeogr.* 36: 302–313.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.01989.x>

Feuerer T., Hawksworth D.L. 2007. Biodiversity of lichens, including a world-wide analysis of checklist data based on Takhtajan's floristic regions. — *Biodivers. Conserv.* 16 (1): P. 85–98.

<https://doi.org/10.1007/s10531-006-9142-6>

Gobiet A., Kotlarski S., Beniston M., Heinrich G., Rajczak J., Stoffel M. 2014. 21st century climate change in the European Alps – a review. — *Sci. Total Environ.* 493: 1138–1151.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.050>

Golubkov V.V. 1986. Ekologo-geograficheskaya kharakteristika nekotorykh redkikh i reliktovykh vidov lishainikov, proizrastayushchikh na okhranyayemykh prirodnykh territoriyakh Belorusskoi SSR [Ecological and geographical characteristics of some rare and relict species of lichens growing in protected natural areas of the Belarusian SSR]. — *Botanika (Issledovaniya)*. 27: 139–141 (In Russ.).

Golubkov V.V. 1988. Okhrana redkikh i ischezayushchikh vidov lishainikov v Belorussii [Protection of rare and endangered lichen species in Belarus]. — *Scripta mycologica*. 16: 125–128 (In Russ.).

Golubkov V.V. 1992. Lichainiki okhranyayemykh prirodnykh territorii Belarusi (floristicheskaya i ekologo-geograficheskaya kharakteristika) [Lichens of protected natural territories of Belarus (floristic and ecogeographical characteristic)]: Diss. ... Kand. Sci. Minsk. 503 p. (In Russ.).

Golubkov V.V. 1993a. About some new and rare lichen species for the territory of Belarus. — In: Abstracts of the 12th International Conference “Fungi and lichens in the Baltic region”. Vilnius. P. 137–138.

Golubkov V.V. 1993b. Voprosy okhrany lishainikov Belorussii [Lichen protection issues in Belarus]. — In: *Problemy botaniki. Materialy VI s'ezda BRBO. Part 1*. Minsk. P. 97–98 (In Russ.).

Golubkov V.V. 1996. Vliyaniye antropogennoi transformatsii landshaftov na osobennosti raspromaneniya i raznoobraziya lishainikov v Belorusskom Poozer'e [Influence of anthropogenic transformation of landscapes on the distribution and diversity of lichens in the Belarusian Lakeland]. — In: *Sokhraneniye biologicheskogo raznoobraziya Belorusskogo Poozerya. Abstracts of the regional conference*. Vitebsk. P. 81–82 (In Russ.).

Golubkov V.V. 1997. Lichainiki kak komponenty landshaftov i geologicheskikh struktur nekotorykh proektiruyemykh i sushchestvuyushchikh pamyatnikov prirody Belarusi [Lichens as components of landscapes and geological structures of some projected and existing nature monuments of Belarus]. — In: *Aktual'nyye problemy pryrodaznavstva. Materialy konferentsii*. Minsk. P. 63–65 (In Russ.).

Golubkov V.V. 2002. Sozologicheskii analiz lichenobioty basseina r. Dnepr (Belarus') [Sozological analysis of lichen biota of the Dnieper river basin (Belarus)]. — In: *Krasnaya kniga Respubliki Belarus': sostoyaniye, problemy, perspektivy. Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Vitebsk. P. 69–71 (In Russ.).

Golubkov V.V. 2013. Novyye, redkiye i maloizvestnyye taksony lishainikov, obnaruzhennyye na territorii Belarusi (kratkoye soobshcheniye) [New, rare and little-known lichen taxa found on the territory of Belarus (short report)]. — In: *Aktual'nyye problemy ekologii. Materialy IX mezhdunarodnoi konferentsii*. Grodno. P. 22–24 (In Russ.).

Golubkova N.S. 1983. Analiz flory lishainikov Mongolii [Analysis of the lichen flora of Mongolia]. Leningrad. 281 p. (In Russ.).

Gorbach N.V. 1957. Materialy k flore lishainikov Belorussii (Lichainiki Belovezhskoi pushchi) [Materials for the lichen flora of Belarus (Lichens of Belovezhskaya Pushcha)]. — *Bul. In-ta biologii za 1956 god*. 2: 43–46 (In Russ.).

Gorbach N.V. 1981. Lichainiki montannogo geograficheskogo elementa v likhenoflore Belorussii [Lichens of mountain geographic element in lichen flora of Belarus]. — In: *Brio-likhenologicheskie issledovaniya vysokogornyykh raionov severa SSSR. Apatity*. P. 86–87 (In Russ.).

Green T.G.A., Nash III T.H., Lange O.L. 2008. Physiological ecology of carbon dioxide exchange. — In: *Lichen Biology*. Cambridge. P. 152–181.

<https://doi.org/10.1017/CBO9780511790478.010>

Greenwood S., Chen J.C., Chen C.T., Jump A.S. 2016. Community change and species richness reductions in rapidly advancing tree lines. – *J. Biogeogr.* 43: 2274–2284.
<https://doi.org/10.1111/jbi.12776>

Guzow-Krzemińska B., Jabłońska A., Flakus A., Rodriguez-Flakus P., Kosecka M., Kukwa M. 2019. Phylogenetic placement of *Lepraria cryptovouauxii* sp. nov. (Lecanorales, Lecanoromycetes, Ascomycota) with notes on other *Lepraria* species from South America. – *MycKeys*. 53: 1–22.
<https://doi.org/10.3897/mycokeys.53.33508>

Hewitt G.M. 1999. Post-glacial re-colonization of European biota. – *Biol. J. Linn. Soc.* 68: 87–112.
<https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1999.tb01160.x>

Horvat I., Glavac V., Ellenberg H. 1974. *Vegetation Südosteuropas*. Stuttgart. 752 p.

Inсаров G.E., Pchelkin A.V. 1982. Kolichestvennyye kharakteristiki sostoyaniya epifitnoi likhenoflory biosfernykh zapovednikov. Berezinskii zapovednik [Quantitative characteristics of the state of epiphytic lichen flora of biosphere reserves. Berezinsky Reserve]. Moscow. 58 p. (In Russ.).

Inсаров G., Schroeter B. 2002. Lichen monitoring and climate change. – In: *Monitoring with lichens – Monitoring lichens*. Dordrecht. P. 183–201.
https://doi.org/10.1007/978-94-010-0423-7_13

Jäger E. 1968. Die pflanzengeographische Ozeanitätsgliederung der Holarktis und die Ozeanitätsbindung der Pflanzenareale. – *Feddes Repert.* 79: 157–335.
<https://doi.org/10.1002/fedr.19680790302>

Khomich V.S., Loginov V.F., Melnik V.I., Tabalchuk T.G., Semenchenko V.P., Kulak A.V., Stepanovich I. M. 2018. Signs of steppe in the southern part of Belarus. – In: *Steppes of Northern Eurasia. Proceedings of the 8th International Symposium*. Orenburg. P. 1051–1054 (In Russ.).

Kobzar N.N. 1985. The geographical analysis of the lichen flora of the Berezinski Governmental Biospherical Reserve. – In: *Fungi and lichens in the ecosystem. Abstracts. Vol. 2*. Riga. P. 72–74 (In Russ.).

Kobzar N.N. 2004. Biodiversity and geographical analysis of central Belarus lichen flora. – In: *Biology, systematics and ecology of fungi in natural and agricultural ecosystems. Abstracts of the International conference*. Minsk. P. 125–128 (In Russ.).

Kondratyuk S.Y. 1988. Some problems of geographical analysis of lichen flora. – In: *XI Symposium of the mycologists and lichenologists of the Baltic republics and Byelorussia. Abstracts*. Tallinn. P. 133–136 (In Russ.).

Kukwa M. 2006. The lichen genus *Lepraria* in Poland. – *Lichenologist*. 38 (4): 293–305.
<https://doi.org/10.1017/S0024282906005962>

Krasnaya kniga Respubliki Belarus': Redkiye i nakhodyashchiesya pod ugrozoi ishcheznoveniya vidy dikorastushchikh rastenii [Red Book of the Republic of Belarus: Rare and endangered species of wild plants]. 2015. Minsk. 448 p (In Russ.).

Kreyer G.K. 1913. K flore lishainikov Mogilevskoi gubernii, Sbory 1908–1910 godov [To the lichen flora of the Mogilev gubernia. Collections from 1908–1910]. – *Acta Horti Petropolitani*. 31 (2): 263–440 (In Russ.).

Lättman H., Milberg P., Palmer M.W., Mattson J.-E. 2009. Changes in the distribution of epiphytic lichens in southern Sweden using a new statistical method. *Nord. J. Bot.* 27: 418–418.
<https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.2009.00425.x>

Lazarenko A.S. 1956. Osnovni zasadi klassifikatsii arealiv listyanykh mokhiv Radyans'kogo Dalekogo Skhodu [The basic principles of classification of leaved moss areas of the Soviet Far East]. – *Ukr. Bot. Zhurn.* 13 (1): 31–40 (In Ukr.).

Lendemer J.C. 2011. A taxonomic revision of the North American species of *Lepraria* s.l. that produce divaricatic acid, with notes on the type species of the genus *L. incana*. – *Mycologia*. 103 (6): 1216–1229.
<https://doi.org/10.3852/11-032>

Lendemer J.C., Anderson Stewart C.R., Besal B., Goldsmith J., Griffith H., Hoffman J.R., Kraus B., LaPoint P., Li L., Muscavitch Z., Schultz J., Schultz R., Allen J.L. 2017. The lichens and allied fungi of Mount Mitchell State Park, North Carolina: a first checklist with comprehensive keys and comparison to historical data. – *Castanea*. 82 (2): 69–97.
<https://doi.org/10.2179/17-126>

- Lenoir J., Gégout J.C., Marquet P.A., De Ruffray P., Brisse H. 2008. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. – *Science*. 320: 1768–1771.
<https://doi.org/10.1126/science.1156831>
- Leuschner C., Ellenberg H. 2017. Ecology of central European forests, vegetation ecology of Central Europe. Vol. 1. Cham. 971 p.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-43042-3>
- Makarevich M.F. 1963. Analiz likhenoflori Ukrain's'kikh Karpat [Analysis of lichen flora of the Ukrainian Carpathians]. Kyiv. 262 p. (In Ukr.).
- Malysheva N.V. 2001. Izmeneniye okrestnostei Sankt-Peterburga. 5. Izmeneniye vidovogo sostava lishainikov parka “Osinovaya roshcha” za 200 let [Changes in St. Petersburg neighborhoods. 5. Changes in the lichen species composition of the “Osinovaya roshcha” park for 200 years]. – *Novosti Sist. Nizsh. Rast.* 34: 162–166 (In Russ.).
- McCarthy J.J., Canziani O.F., Leary N.A., Dokken D.J., White K.S. 2001. TAR Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge. 1042 p.
- Mies B., Lösch R. 1995. Relative habitat constancy of lichens on the Atlantic islands. – *Cryptogamic Botany* 5: 192–198.
- Muchnik E.E. 2003. Likhenoflora Tsentral'nogo Chernozem'ya: taksonomicheskii i ekologo-geograficheskii analizy, voprosy okhrany [Lichen flora of the Central Chernozem Region: taxonomic and ecological-geographical analyzes, protection issues]: Diss. ... Doct. Sci. Voronezh. 485 p. (In Russ.).
- Muñoz J., Felicísimo A.M., Cabezas F., Burgaz A.R., Martínez I. 2004. Wind as a long-distance dispersal vehicle in the southern hemisphere. – *Science*. 304: 1144–1147.
<https://doi.org/10.1126/science.1095210>
- Myllys L., Stenroos S., Thell A., Ahti T. 2003. Phylogeny of bipolar *Cladonia arbuscula* and *Cladonia mitis* (Lecanorales, Euascomycetes). – *Mol. Phylogenet. Evol.* 27: 58–69.
[https://doi.org/10.1016/S1055-7903\(02\)00398-6](https://doi.org/10.1016/S1055-7903(02)00398-6)
- Nascimbene J., Spitale D. 2017. Patterns of beta-diversity along elevational gradients inform epiphyte conservation in alpine forests under a climate change scenario. – *Biol. Conserv.* 216: 26–32.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.09.021>
- Nascimbene J., Nimis P.L., Mair P., Spitale D. 2018. Climate warming effects on epiphytes in spruce forests of the Alps. – *Herzogia*. 31: 374–384.
<https://doi.org/10.13158/hea.31.1.2018.374>
- Oksner A.N. 1940–1942. Analiz i istoriya proiskhozhdeniya likhenoflory Sovetskoi Arktiki [Analysis and history of the origin of lichen flora of the Soviet Arctic]: Diss. ... Doct. Sci. Kiev–Kirov. 318 p. (In Russ.).
- Oksner A.N. 1944. O proiskhozhdenii areala bipolyarnykh lishainikov [On the origin of the range of bipolar lichens]. – *Bot. Zhurn.* 29 (6): 243–256 (In Russ.).
- Oksner A.N. 1948. Arktychnyi element v likhenoflori radyans'kogo sektora Polyarnoi oblasti [Arctic element in the lichen flora of Soviet part of Polar region]. – *Ukr. Bot. Zhurn.* 5 (1): 65–82 (In Ukr.).
- Oksner A.N. 1974. Handbook of the lichens of the USSR. 2. Morphology, systematic and geographical distribution. Leningrad. 281 p. (In Russ.).
- Otálora M.A.G., Martínez I., Aragón G., Molina M.C. 2010. Phylogeography and divergence date estimates of a lichen species complex with a disjunct distribution pattern. – *Am. J. Bot.* 97: 216–223.
<https://doi.org/10.3732/ajb.0900064>
- Padhornaya E.V., Melnik V.I., Kamarouskaya E.V. 2015. Characteristic features of the climate change on the territory of the Republic of Belarus in the last decades. – *Proceedings of Hydrometcentre of Russia*. 358: 112–120 (In Russ.).
- Palice Z., Printzen C. 2004. Genetic variability in tropical and temperate populations of *Trapelopsis glaucolepidea*: Evidence against long range dispersal in a lichen with disjunct distribution. – *Mycotaxon*. 90: 43–54.
- Printzen C., Ekman S., Tønsberg T. 2003. Phylogeography of *Cavernularia hultenii*: evidence of slow genetic drift in a widely disjunct lichen. – *Mol. Ecol.* 12: 1473–1486.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.2003.01812.x>
- Puhachevsky A., Stepanovich I., Yermokhin M. 2011. Vegetation to the new environmental conditions. – *Nauka i innovatsii [The Science and Innovations]*. 4: 21–24 (In Russ.).

Saag L., Saag A., Randlane T. 2009. World survey of the genus *Lepraria* (Stereocaulaceae, lichenized Ascomycota). – *Lichenologist*. 41 (1): 25–60.
<https://doi.org/10.1017/S0024282909007993>

Savicz V.P. 1911. Materiaux relatifs à la flore de Polesjé. La liste des lichens recueillis au gouv. de Minsk l'an 1910 par M-Ile L. Ljubitzkaja. – *Trud. stud. nauch. kruzhek. Fiz.-Mat. fak. SPB univ.* 3: 57–66 (In Russ.).

Savicz V.P. 1925. Die Resultate lichenologischer Untersuchungen in Weissrussland, im Jahre 1923. – *Zap. Inst. S. Kh.* 4: 1–33 (In Russ.).

Savicz V.P., Savicz L.I. 1924. Kurzer vorläufiger Bericht über die Erforschung der Moos und Flecht-flora Weissrusslands im Sommer 1923. – *Zap. Inst. S. Kh.* 3: 57–72 (In Russ.).

Schroeter B., Kappen L., Schulz F., Sancho L.G. 2000. Seasonal variation in the carbon balance of lichens in the maritime Antarctic: long-term measurements of photosynthetic activity in *Usnea aurantiaco-atra*. – In: *Antarctic ecosystems: models for wider ecological understanding*. Christchurch. P. 258–262.

Shustov M.V. 2006. Lichens of the Privilzhskaya Upland. Moscow. 237 p (In Russ.).

Stepanovich I.M. 1997. Kserotermnyya (astepavanyya) lugavyyya supol'nistvy Belarusi [Xerothermic (steppe) meadow communities of Belarus]. – *Proceedings of NASB. Biology*. 2: 12–20 (In Bel.).

Trass H.H. 1970. Elementy i razvitiye likhenoflory Estonii [Elements and development of lichen flora in Estonia]. – *Uchen. Zap. Un-ta Tartu. Trudy po botanike*. 9: 5–259 (In Russ.).

Tsurykau A.H. 2013. Lishainiki yugo-vostoka Belarusi [Lichen of the south-eastern Belarus]. *Gomel*. 276 p. (In Russ.).

Tsurykau A. 2016. Epiphytic lichens in differently aged and climatic *Pinus sylvestris* plantations in Belarus. – In: *Lichens in Deep Time. Abstracts of the 8th IAL Symposium*. Helsinki. P. 127.

Tsurykau A. 2017. New or otherwise interesting records of lichens and lichenicolous fungi from Belarus. III. With an updated checklist of lichenicolous fungi. – *Herzogia*. 30: 152–165.
<https://doi.org/10.13158/hea.30.1.2017.152>

Tsurykau A. 2018. A provisional checklist of the lichens of Belarus. – *Opuscula Philolichenum*. 17: 374–479.

Tsurykau A., Golubkov V. 2015. The lichens of the *Cladonia pyxidata-chlorophaea* complex in Belarus. – *Folia Cryptog. Estonica*. 52: 63–71.
<https://doi.org/10.12697/fce.2015.52.08>

Tsurykau A., Golubkov V., Bely P. 2015a. The genera *Hypotrachyna*, *Parmotrema* and *Punctelia* (Parmeliaceae, lichenized Ascomycota) in Belarus. – *Herzogia*. 28 (2): 736–745.
<https://doi.org/10.13158/hea.28.2.2015.736>

Tsurykau A.G., Halubkou U.O., Tsurikova N.V. 2015b. Revision of lichen group of *Cladonia pyxidata* species in Belarus. – *Vesnik VDU*. 2–3: 47–52 (In Russ.).

Tsurykau A., Golubkov V., Bely P. 2016. The genus *Lepraria* (Stereocaulaceae, lichenized Ascomycota) in Belarus. – *Folia Cryptog. Estonica*. 53: 43–50.
<https://doi.org/10.12697/fce.2016.53.06>

Tsurykau A., Golubkov V., Bely P. 2018a. The lichen genus *Xanthoparmelia* (Parmeliaceae) in Belarus. – *Folia Cryptog. Estonica*. 55: 125–132.
<https://doi.org/10.12697/fce.2018.55.13>

Tsurykau A.H., Halubkou U.U., Bely P.N. 2018b. Revision of the lichen genus *Xanthoparmelia* in Belarus: *X. delisei* and *X. pulla*. – *Journal of the Belarusian State University. Biology*. 3: 21–27 (In Russ.).

Tsurykau A.H., Khranchankova V.M. 2007. Geograficheskii analiz likhenoflory Gomel'skogo Poles'ya [Geographical analysis of the lichen flora of Gomel Polesie]. – *Vesnik MDPU im. I.P. Shamyakina*. 1: 48–52 (In Russ.).

Urbanavichus G.P. 1999. Biogeograficheskiye zakonomernosti formirovaniya flory lishainikov Yuzhnogo Pribaikal'ya [Biogeographic patterns of lichen flora formation in the Southern Baikal region]: Abstr. ... Diss. Kand. Sci. Moscow. 26 p. (In Russ.).

Urbanavichus G.P. 2001. Kak opredelit' geograficheskii element lishainikov [How to determine the geographic element of lichens]. – In: *Trudy Pervoi Rossiiskoi Lichenologicheskoi Shkoly. Petrozavodsk*. P. 223–237 (In Russ.).

Wagner S., Zotz G., Allen N.S., Bader M.Y. 2012. Altitudinal changes in temperature responses of net photosynthesis and dark respiration in tropical bryophytes. – *Annals Bot.* 111: 455–465. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs267>

Werth S., Gugerli F., Holderegger R., Wagner H.H., Csencsics D., Scheidegger C. 2007. Landscape-level gene flow in *Lobaria pulmonaria*, an epiphytic lichen. – *Mol. Ecol.* 16: 2807–2815. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03344.x>

Yatsyna A.P. 2011. Novyye nakhodki lishainikov i nelikhenizirovannykh grivov na territorii Belarusi [New finds of lichens and non-lichenized fungi on the territory of Belarus]. – In: Aktual'nyye problemy ekologii. Materialy VII mezhdunarodnoi konferentsii. Grodno. P. 31–32 (In Russ.).

Yatsyna A.P. 2013a. Influence of regional factors on the latitudinal distribution of pine formation lichen of Belarus: geographic and taxonomic features. – *Vesnik VDU.* 6: 29–35 (In Russ.).

Yatsyna A.P. 2013b. New species of lichens and non-lichenized saprobic fungi of NP “Braslav Lakes”. – *Vesnik VDU.* 2: 53–59 (In Russ.).

Yatsyna A.P. 2014. Taksonomicheskii sostav, ekologo-fitotsenochicheskaya, biomorfologicheskaya i geograficheskaya struktura likhenobioty sosnovykh lesov Belarusi [Taxonomic composition, ecological-phytocenotic, biomorphologic and geographic structure of lichen biota of pine forests of Belarus]: Abstr. ... Diss. Kand. Sci. Minsk. 26 p. (In Russ.).

Yatsyna A.P. 2015. Lichenobiota of forts of Grodno Fortress (Belarus). – In: Proceedings of III (XI) International Botanical Conference of Young Scientists in Saint-Petersburg. Saint-Petersburg. P. 46 (In Russ.).

Yatsyna A.P. 2017. Lichen of mature spruce forests of the two protected areas of Vitebsk region. – *Vesnik VDU.* 3: 74–79 (In Russ.).

Yermokhin M.V., Puhachevsky A.V. 2009. Modern dynamic the southern border of the boreal zone of Norway spruce (*Picea abies* Karst.) in Belarus. – *Proceedings of the NASB.* 1: 51–55 (In Russ.).

Yurchenko E.O. 2011. Lichens of Belarus: an illustrated electronic handbook. Minsk. 1 CD.

Yurkevich I.D., Geltman V.S. 1962. Rasprostraneniye yeli v BSSR [Distribution of spruce in the BSSR]. – In: *Lesovodstvennaya nauka i praktika.* Minsk. P. 53–78 (In Russ.).

Yurkevich I.D., Golod D.S., Aderikho V.S. 1979. Rastitel'nost' Belorussii, yeyo kartografirovaniye, okhrana i ispol'zovaniye [Vegetation of Belarus, its mapping, protection and use]. Minsk. 248 p. (In Russ.).

Yurtsev B.A. 1966. Gipoarkticheskii botaniko-geograficheskii poyas i proiskhozhdeniye yego flory [Hypoarctic botanical-geographical belt and the origin of its flora]. – *Komarovskiye chteniya.* 19: 1–94 (In Russ.).