



Издатель

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

№ 4 (50). Декабрь, 2023

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. В. Ивантер
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов
Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. М. Макаров

Редакционная коллегия

Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev
В. Krasnov
А. Gugotek
В. К. Шитиков
В. Н. Якимов

Службы поддержки

А. Г. Марахтанов
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Каб. 453

E-mail: ecopri@psu.karelia.ru

<http://ecopri.ru>





УДК 582.29, 581.52

К АНАЛИЗУ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ ЭПИЛИТНОГО ЛИШАЙНИКА *RHIZOCARPON GEOGRAPHICUM* НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО- ЗАПАДНОГО БЕЛОМОРЬЯ

СОНИНА
Анжелла Валерьевна

доктор биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО Петрозаводский государственный университет (ПетрГУ), 185910, Россия, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33, angella_sonina@mail.ru

ПЕТРОВ
Родион Сергеевич

ФГБОУ ВО Петрозаводский государственный университет (ПетрГУ), 185910, Россия, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33, petrov.rodionb@mail.ru

ШАХНОВИЧ
Марк Михайлович

кандидат исторических наук, Центр гуманитарных проблем Баренц региона ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук», 184200, Мурманская область, г. Апатиты, Академгородок, 40-а, marksuk62@mail.ru

Ключевые слова:
ризокарпон географический
ценопопуляция
таллом
моновидовое пятно
валунные сложения
Республика Карелия
Мурманская область

Аннотация: Выполнены исследования ценопопуляций эпилитного лишайника *Rhizocarpon geographicum* на валунных сложениях (ямы, кучи) – археологических памятниках на севере Республики Карелия и на юге Мурманской области, которые расположены в лесных сообществах северо-таежной зоны. В работе использованы два подхода к выделению внутривокупной единицы для лишайников: в качестве функциональной единицы рассматривается отдельная особь (таллом) и моновидовое пятно при слиянии мелких талломов или при разрастании их фрагментов (в пределах пятна невозможно однозначно выделить границы отдельных талломов). В полевых условиях анализировали синузии с участием *Rh. geographicum*, проведена их фотосъемка относительно мерного эталона. Получено 127 фотографий, на которых в программе ImageJ определяли площади талломов и пятен ризокарпона в трехкратной повторности. Для каждого объекта были посчитаны средние значения площади талломов *Rh. geographicum* или моновидовых пятен и построены вариационные ряды. Анализ распределения отдельных талломов и моновидовых пятен в ценопопуляциях двух мест исследования выявил схожие черты. Распределения в вариационных рядах описываются логарифмической функцией ($R^2 \dots 0.78-0.95$). В ценопопуляциях отдельных талломов выявлено почти в три раза меньше, чем моновидовых пятен. Определены общие закономерности. Моновидовые пятна могут иметь размеры меньшие, чем отдельные особи. Мелкие талломы в синузии не достигают размеров, описываемых логарифмической функцией, в результате конкурентных отношений. Крупные пятна значительно превосходят значения уравнений. Выявлено, что моновидовые пятна *Rh. geographicum*, сформированные на ранних этапах, ведут себя как индивидуумы, что позволяет рассматривать их как функциональную единицу ценопопуляции наряду с дискретными талломами. Моновидовые пятна меняются структурно во време-

ни, могут формироваться из талломов и пятен меньшего размера в разные периоды своего развития. Самое крупное пятно не является самым старым в ценопопуляции, что делает невозможным использование этого подхода в лихенометрии.

© Петрозаводский государственный университет

Рецензент: А. Г. Цуриков

Получена: 07 ноября 2023 года

Подписана к печати: 23 декабря 2023 года

Введение

В современной лихенологии активно развивается популяционное направление исследований (Михайлова, 2005; Tarasova et al., 2008; Микрюков, 2011; Суетина, 2016 и др.). Однако четкого определения понятия популяции для лишайников – симбиотрофных многокомпонентных организмов в настоящее время не существует. В широком смысле этот термин трактуется как группа талломов одного вида, более или менее пространственно изолированная от других аналогичных групп (Микрюков, 2011). Одна из ключевых методологических проблем – это определение объема элементарной внутривидовой популяционной единицы. Этот вопрос не имеет однозначного ответа и для растений (Воронцова и др., 1976). В отличие от животных растения и большинство лишайников ведут прикрепленный образ жизни, что, с одной стороны, четко разграничивает в пространстве элементы популяции, но, с другой стороны, вызывает затруднения с выделением внутривидовой популяционной единицы.

В ботанике существует несколько взглядов на структурную единицу популяции. Некоторые исследователи рассматривают в качестве такой единицы особь семенного или вегетативного происхождения (партикулу), другие – клон (совокупность особей вегетативного размножения), а порой и часть особи (фитомер, побег, парциальный куст) (Жукова, 2001; Ильина, 2010). В лихенологии также преобладает представление об элементарной единице популяции как особи, отдельного таллома, который на момент исследования фиксируется как дискретное образование. Однако в случае, когда невозможно выделить дискретную особь из-за того, что листоватые и, чаще, накипные лишайники образуют скопления, где талломы механически прорастают друг в друга, в качестве элементарной единицы принимают так называемый функциональный индивидуум, т. е. совокупность всех талломов одного вида, населяющих единицу субстрата (например, ствол дерева) (Михайлова, 2005; Тарасова и др., 2012).

Популяционные исследования лишайников преимущественно выполнены на широко распространенных или уязвимых видах лишайников, главным образом эпифитной экологической группы (Михайлова, Воробейчик, 1999; Суетина, 1999, 2016; Глотов, Суетина, 2005; Суетина, Глотов, 2015). Для эпилитной группы накипных жизненных форм такого рода исследования не проводились. Без знания структуры и состояния ценопопуляций эпилитных видов невозможно использование метода лихенометрии для оценки возраста субстрата, который активно применяется в работе археологами и гляциологами (Beschel, 1961; Armstrong, 2002; Bradwell, Armstrong, 2007; Галанин, 2012; Курбатов, Сони́на, 2018). Так, признанным в лихенометрии видом является эпилит *Rhizocarpon geographicum* (L.) DC, у которого для целей датирования минимального возраста стабильного субстрата используют диаметр самого крупного таллома (McCarthy, 2013). Остается невыясненным вопрос, что представляет собой самый крупный в сингузии таллом этого вида: отдельную особь или группу особей, сформировавших пятно? Можно ли использовать моновидовое пятно для оценки возраста субстрата?

В настоящем исследовании, цель которого – изучение состояния ценопопуляции эпилитного лишайника *Rhizocarpon geographicum* на каменных сложениях в условиях северной тайги, используется оба вышеописанных подхода при выделении внутривидовой популяционной единицы: отдельная особь (таллом) и функциональная единица – моновидовое пятно, включающее несколько особей вида, границы которых невозможно выделить.

Материалы

Исследование выполнено на археологических объектах – валунных сложениях (ямы и кучи – «платформы»), которые расположены на территории Лоухского административного района Республики Карелия (РК) рядом с озером Топорное (65°98'N, 33°27'E) и Терского района Мурманской области у реки Хлебная (66°59'N, 34°87'E) (рис. 1, 2).

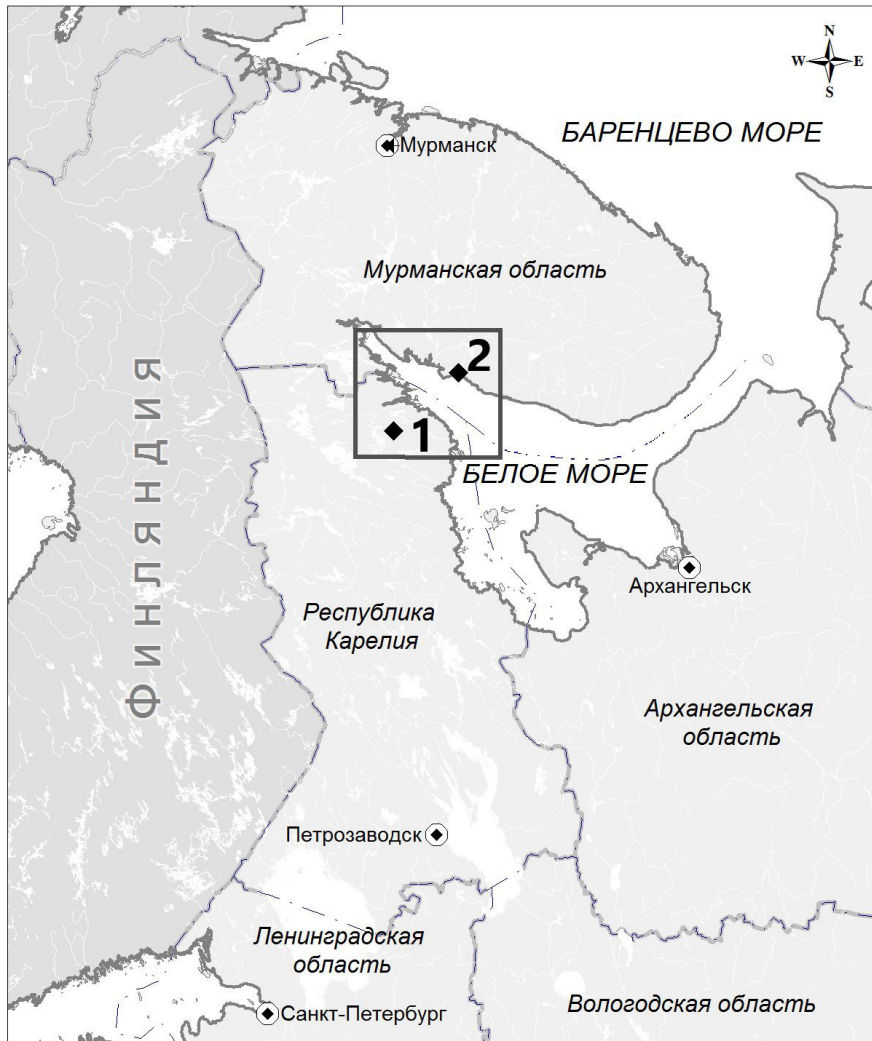


Рис. 1. Карта района исследования: 1 – Лоухский район, озеро Топорное; 2 – Терский район, река Хлебная

Fig. 1. Map of the study area: 1 – Loukhsky district, Topornoe Lake; 2 – Tersky district, Khlebnaya River



Рис. 2. Валунные сложения в Лоухском районе (слева) и в Терском районе (справа)

Fig. 2. Boulder formations located in Loukhsky district (on the left) and Tersky district (on the right)

Обследованные памятники располагаются примерно в 120 км друг от друга в пределах северо-восточной части Балтийского геологического щита. Этот регион относится к таежной зоне, к подзоне северной тайги с чередованием еловых, сосновых лесов и верховых болот. Во флоре преобладают бореальные виды растений. Территория относится к субарктическому климатическому поясу со среднегодовой температурой около 0 °С, средней температурой самого холодного месяца (января) -12–13 °С, самого теплого (июля) 14–15 °С (Назарова, 2014).

Археологический памятник на озере Торпное в Лоухском районе РК – это около двухсот разновидовых сложений из валунов – «платформы» пока неясной датировки, культурной принадлежности и функции (Шахнович, 2022). Они располагаются в сосняке черничном лишайниково-зеленомошном.

На Терском берегу Белого моря на реке Хлебная – это группа из 27 каменных выкла-

док, в основном ям – искусственных углублений, выложенных валунами, с хорошо заметным валиком по окружности. Памятник предварительно определяется специалистами как нехристианский комплекс с культовым статусом, предположительно с погребальной функцией (Шахнович, 2021). Валунные ямы располагаются в сосняке брусничном зеленомошно-лишайниковом.

Методы

Сбор информации проведен в полевые сезоны 2019 и 2022 гг. Обследованы валунные сложения разной конфигурации. Эпилитный лишайниковый покров с участием *Rh. geographicum* оценивали на учетных площадках (рамка размером 10 x 20 см), отмечали видовое разнообразие лишайников, покрытие отдельных видов. Собраны образцы для определения видов в лабораторных условиях. Для определения площади отдельные талломы и моновидовые пятна фотографировали в режиме макросъемки относительно мерного эталона (рис. 3).

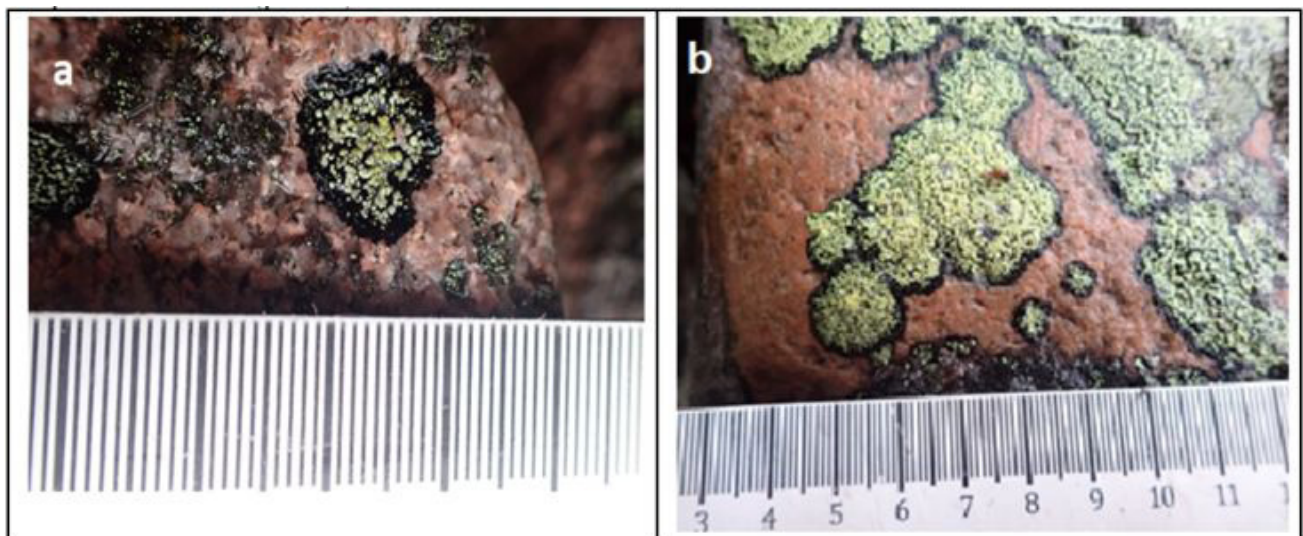


Рис. 3. Одиночные талломы и моновидовые пятна *Rhizocarpon geographicum*: а – одиночный таллом; б – моновидовые пятна

Fig. 3. Individual thalli and monoid spots of *Rhizocarpon geographicum*: a – individual thallus; b – monoid spots

Изображения (127 фотографий: 44 на ямах и 83 на кучах) с талломами ризокарпона географического обрабатывали в программе ImageJ. Значение площади для каждого таллома измеряли три раза и использовали для анализа их средние значения, которые заносили в базу данных (таблицы Excel). В лабораторных условиях на кафедре ботаники и физиологии растений ПетрГУ проведено определение видов стандартными лишенологическими методами (Сони́на и др., 2006).

Rhizocarpon geographicum – ризокарпон географический, эпилитный накипной лишайник, является космополитом, встречается в разных климатических зонах. Подслоеве ярко выраженное, черное, до 0.7 мм высотой, на котором формируются ареолы. Поверхность ареол гладкая, зеленовато-желтого цвета. Анатомическое строение гетеромерное, фотобионт зеленые хлорококкоидные водоросли (Ненгу, 2012). Апотеции 0.3–2 мм в диаметре, черные, округлые, развива-

ются на черном подслоевище. Споры темно-коричневые, 20–40 x 10–20 мкм. Лишайник данного вида характеризуется медленным ростом, имеет высокую продолжительность жизни, в арктических широтах в год прирастает примерно на 0.2 мм. Слоевище этого вида растет от центра к периферии и формирует более или менее округлую форму. Данные особенности делают этот вид удобным для лихенометрии (Галанин, 2002).

В настоящей работе анализировали талломы ризокарпона географического двух возрастных периодов: прегенеративного (хороша развиты все вегетативные части таллома – проталлюс, ареолы) и генеративного (на талломе сформированы плодовые тела) (Суетина, 1999). Разрушающиеся талломы, соответствующие постгенеративному возрастному периоду, в работе не учитывались в силу невозможности определения границ таллома.

Результаты

В двух районах исследования на поверхности валунов лишайник *Rh. geographicum* входит в состав лишайносинузий с одной и разными жизненными формами, имеющими плагиотропный тип роста. Синузии одной жизненной формы включают 3–5 видов лишайников с доминированием по значениям покрытия и встречаемости *Rh. geographicum*, где содоминантами выступают виды родов *Porpidia*, *Aspicilia*, *Lecanora*. Синузии разных жизненных форм включают от 2 до 6 видов лишайников с доминированием *Rh. geographicum*, *Arctoparmelia centrifuga* (L.) Hale и участием таких видов, как *Umbilicaria hyperborea* (Ach.) Hoffm., *Melanelia stygia* (L.) Essl., видов родов *Lecanora*, *Porpidia*.

Талломы *Rh. geographicum* могут формировать моновидовые пятна при слиянии мелких талломов или при разрастании их фрагментов (в пределах пятна невозможно однозначно выделить границы отдельных талломов). В связи с этим были проанализированы две группы: отдельные талломы, как дискретные образования, и моновидовые пятна. Для каждой группы на двух археологических объектах были посчитаны средние значения площади талломов и моновидовых пятен и построены вариационные ряды. Далее в работе отдельно анализируются данные, полученные в двух местах исследования.

Вариационный ряд одиночных талломов (41 таллом) в ценопопуляции из Лоухского

района (оз. Топорное) наиболее точно описывается логарифмической зависимостью с коэффициентом аппроксимации 0.95 (рис. 4). Логарифмическая функция в биологии описывает рост живых организмов и популяций, отклонения от линии тренда на графике указывают на наличие условий, влияющих на рост талломов на определенной стадии их развития. В том числе конкуренцию как внутривидовую, так и межвидовую, что характерно для многокомпонентных систем (Галанина, 2011). Распределение особей на гистограмме позволило нам выделить три группы. В первую группу вошли самые мелкие талломы с размером от 12 до 100 мм². В данных синузиях они представлены как особями полового поколения, так и вегетативного (в результате, например, фрагментации крупных талломов). Во вторую группу вошли талломы площадью 120–400 мм². Их размеры превосходят описанные логарифмической функцией, что можно объяснить активным ростом мелких талломов, которые занимают свободные пространства, образовавшиеся после разрушения части талломов, например при их фрагментации. В третью группу вошли три самых крупных таллома. Их размеры меньше, не достигают значений коэффициента b (511) в уравнении, который показывает точку пересечения с осью X, то есть самый максимальный размер таллома. Вероятно, это свидетельствует о том, что конкурентные взаимоотношения в синузиях становятся лимитирующим фактором.

Второй вариационный ряд включает 100 единиц, которыми здесь выступают моновидовые пятна (рис. 5). Его хорошо описывает логарифмическая линия тренда с коэффициентом аппроксимации 0.93. При распределении моновидовых пятен также можно выделить три группы. В первой, самой большой группе – пятна размерами от 25 до 400 мм², которые точно описываются данной функцией. Вторая группа – это пятна площадью 400–700 мм². Третья группа включает три самых крупных пятна, которые по размеру значительно превосходят теоретически рассчитанные.

В Терском районе (р. Хлебная) на валунных сложениях лишайники также формируют сложные синузии одной и разных жизненных форм. Вариационный ряд одиночных талломов включает 46 особей (рис. 6). График описывает логарифмическая функция с коэффициентом аппроксимации – 0.78.

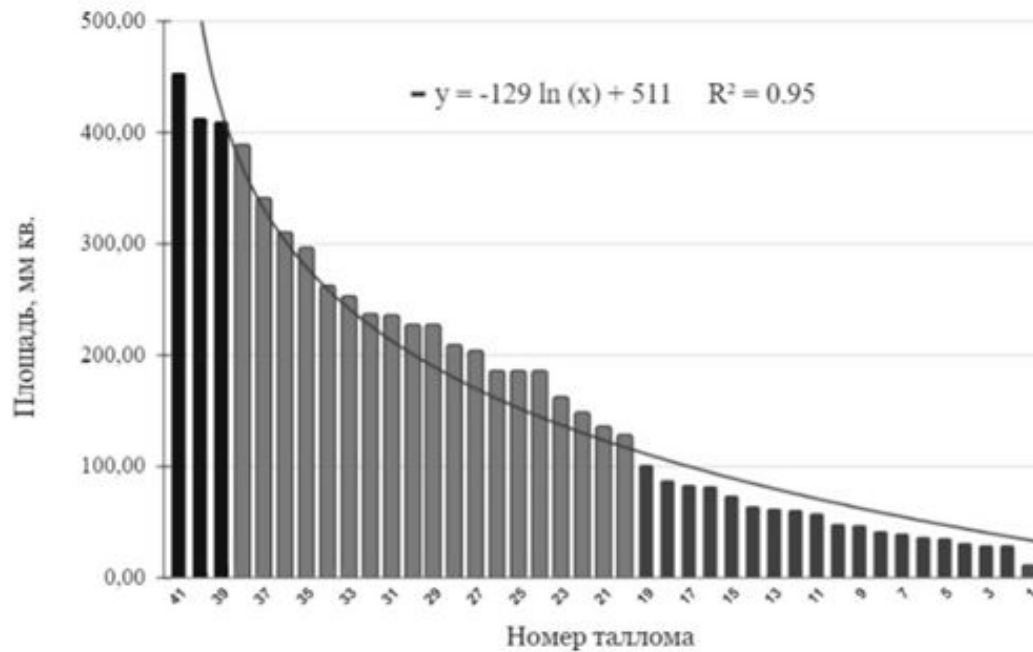


Рис. 4. Вариационный ряд одиночных талломов *Rhizocarpon geographicum* (оз. Топорное, Лоухский р-н)
Fig. 4. Variation series of individual thalli of *Rhizocarpon geographicum* (Topornoye Lake, Loukhsky district)

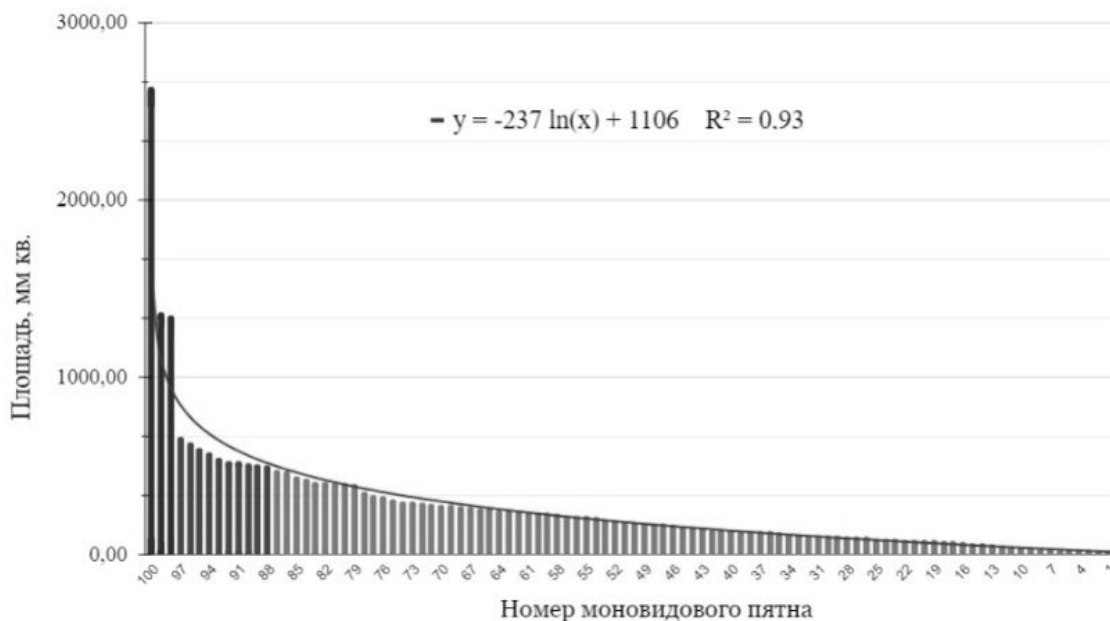


Рис. 5. Вариационный ряд моновидовых пятен *Rhizocarpon geographicum* (оз. Топорное, Лоухский р-н)
Fig. 5. Variation series of monoid spots of *Rhizocarpon geographicum* (Topornoye Lake, Loukhsky District)

Распределение особей на гистограмме вновь показывает три группы. В первую группу вошли 42 особи размерами от 2.4 мм² до 174 мм². Особи, размером примерно 50 мм² и до 174 мм², располагаются ниже линии тренда. Вероятно, эти небольшие по размеру и молодые талломы ограничены в росте за счет конкуренции внутри синузий.

Во вторую группу вошли три таллома площадью ~200–450 мм². Их размеры превосходят теоретически рассчитанные площади. Скорее всего, эти талломы сформировались на субстрате на ранних этапах становления сообщества, когда у талломов была возможность расти без ограничения со стороны синузии. В третью группу вошел один самый

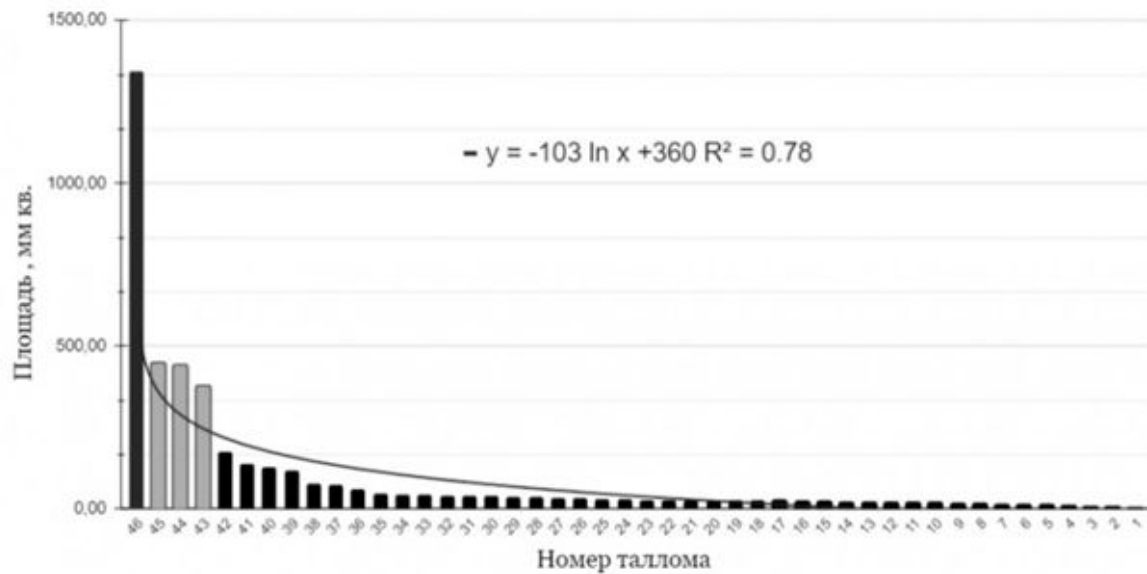


Рис. 6. Вариационный ряд отдельных талломов *Rhizocarpon geographicum* (р. Хлебная, Терский р-н)
Fig. 6. Variation series of individual thalli of *Rhizocarpon geographicum* (Khlebnyaya River, Tersky district)

крупный таллом площадью 1344 мм². Его размеры значительно превосходят максимально рассчитанные функцией. Выдвинуто предположение, что этот таллом мог появиться на субстрате раньше всех остальных. Однако, несмотря на то, что при детальной обработке изображения таллома и анализе его границ нет признаков объединения не-

скольких талломов, у нас все же нет оснований однозначно утверждать, что этот таллом – одиночная особь.

Второй вариационный ряд включает 239 моновидовых пятен (рис. 7) и более точно описывается логарифмической функцией с коэффициентом аппроксимации 0.93.

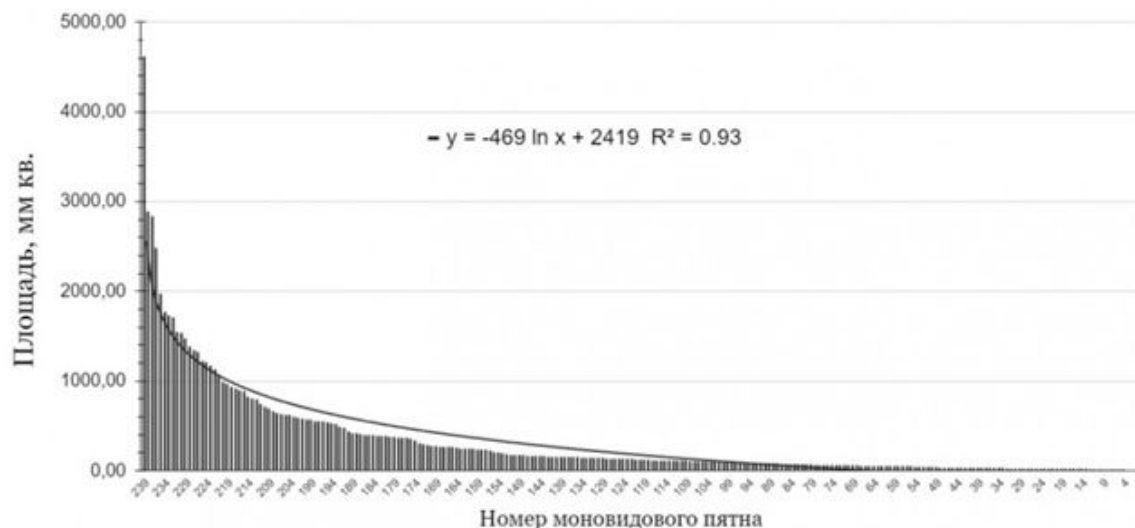


Рис. 7. Вариационный ряд моновидовых пятен *Rhizocarpon geographicum* (р. Хлебная Терский р-н)
Fig. 7. Variation series of monoid spots of *Rhizocarpon geographicum* (Khlebnyaya River, Tersky district)

При распределении пятен также выделяются три группы. В первую группу вошло наибольшее число пятен (от 6 мм² до крупных, ~1000 мм²). Их размеры не достигают линии тренда. Прослеживается та же тенденция, что и у отдельных талломов. Они сформировались внутри уже существовавших синузий, что могло ограничивать их краевой рост. Вероятно, небольшие пятна формируются за счет объединения маленьких талломов в начале их развития, и эти пятна ведут себя как отдельные особи. Во вторую группу вошли 17 пятен (от 1000 до 3000 мм²). Их размеры превышают модельные. Они сформировались на ранних этапах развития отдельных талломов и синузии, когда субстрат не был плотно заселен. Такие пятна включают в себя от двух и более особей и ведут себя как отдельные индивидуумы. Третья группа представлена одним крупным пятном (4600 мм²). Размеры пятна и его положение относительно линии тренда, скорее всего, связаны с тем, что за долгое время его существования на субстрате к нему могли присоединиться близко растущие талломы или даже другие пятна в разные периоды его развития.

Обсуждение

В результате исследования получены вариационные ряды для отдельных особей и моновидовых пятен ризокарпона географического в ценопопуляциях. Для двух мест исследования, валунных сложений в виде ям (Терский район Мурманской области) и куч (Лоухский район Республики Карелия), которые расположены в лесных сообществах северо-таежной зоны, выявлены схожие черты. Так, распределение внутривоупуляционных единиц в вариационных рядах описывается логарифмическими уравнениями с высокими значениями коэффициентов аппроксимации (0.78–0.95). При анализе структуры ценопопуляции отдельных особей выявлено почти в три раза меньше, чем моновидовых пятен. Причем моновидовые пятна иногда имеют размеры меньше, чем отдельные особи. Это свидетельствует о том, что внутри синузий в силу ограниченности свободного пространства расположенные рядом молодые особи легко объединяют талломы, проникая физически друг в друга краевыми гифами (Суетина, 2016).

В случаях, где внутривоупуляционной единицей являлся отдельный таллом, выявлена общая тенденция. Мелкие талломы, присутствующие в синузии, не достигают размеров, описываемых логарифмической функ-

цией. В настоящем состоянии синузии являются довольно хорошо сформированными, включающими лишайники разных жизненных форм, где отмечается 100 % покрытие лишайников, свободное место на субстрате появляется либо в результате конкурентных отношений, либо при выпадении листоватых талломов по внешним причинам. Варианты, когда внутривоупуляционной единицей выступает моновидовое пятно, в двух местах исследования тоже обнаруживают общие признаки. Коэффициент аппроксимации самый высокий (0.93–0.95). Крупные пятна значительно превосходят значения уравнений. Они, вероятно, формировались на разных этапах развития сообщества и могут включать различное число особей, что является одной из причин вариаций размеров пятна.

О напряженности конкурентных отношений в ценопопуляции говорит коэффициент a в логарифмическом уравнении. В данном случае он выше у моновидовых пятен ($a = -469$ и -237) и ниже у отдельных талломов ($a = -103$ и -129). Этот коэффициент отражает степень вогнутости логарифмической кривой. Как отмечает И. А. Галанина (2011), чем больше степень вогнутости, тем напряженнее конкурентные отношения в ценопопуляции данного вида в данном сообществе. То есть особи в ценопопуляции испытывают угнетающее воздействие не только со стороны особей других видов, но и внутривоупуляционной прессинг, что очевидно при формировании моновидовых пятен.

Заключение

В результате анализа выявлено, что на обследованных участках моновидовые пятна *Rh. geographicum*, которые сформировались из молодых талломов на ранних этапах развития сообщества, ведут себя, как индивидуумы (особи). Это позволяет рассматривать их как функциональную единицу ценопопуляции наряду с дискретными талломами и подтверждает аналогичное положение для листоватых лишайников эпифитной экологической группы (Пыстина, Семенова, 2004; Михайлова, 2005; Игнатенко, Тарасова, 2014). При наличии отдельных талломов и пятен на ограниченном пространстве субстрата могут возникать разноталломные моновидовые пятна в разные временные промежутки. Таким образом, моновидовые пятна меняются структурно во времени. Самое крупное пятно в ценопопуляции могло сформироваться из разных талломов в

разные периоды своего развития, в т. ч. из других моновидовых пятен. В результате таких слияний становится очевидным, что оно может не являться самым старым в ценопопуляции. Следовательно, моновидовые пятна в таком случае нельзя использовать для целей лихенометрического датирования. Это указывает на поиски новых способов и расширение списка видов, используемых в данной области.

Библиография

- Воронцова Л. И., Гатцук Л. Е., Егорова В. Н. Ценопопуляции растений: (основные понятия и структура) / Под. ред.: А. А. Уранова, Т. И. Серебряковой. М.: Наука, 1976. 214 с.
- Галанин А. А. Лихенометрический метод изучения криогенных процессов // Наука и техника в Якутии. 2012. № 1. С. 8–15.
- Галанин А. А. Лихенометрия: современное состояние и направления развития метода (аналитический обзор) . Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. 74 с.
- Галанина И. А. К вопросу о скорости роста лишайников эпилитов на юге Приморского края // Структура и динамика экосистем Сибири и Дальнего Востока: Сборник научных статей. Находка: Институт технологии и бизнеса, 2011. С. 130–143.
- Глотов Н. В., Суетина Ю. Г. О популяциях у лишайников // Регионология. 2005. Прил. № 6. С. 224–230.
- Жукова Л. А. Многообразие путей онтогенеза в популяциях растений // Экология. 2001. № 23. С. 169–176.
- Игнатенко Р. В., Тарасова В. Н. Состояние популяции охраняемого лишайника лобария легочная (*Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.) в растительных сообществах Петрозаводского городского округа // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2014. № 8 (145). Т. 2. С. 26–30.
- Ильина В. Н. Исследования ценоценозов растений (фитоценопопуляций) в Самарской области // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2010. Т. 19, № 3. С. 99–121.
- Курбатов А. А., Сонина А. В. Рост эпилитных лишайников, как основа метода лихенометрического датирования // Материалы X международной конференции, посвященной 80-летию со дня рождения д. б. н. Виталия Ивановича Крутова, Петрозаводск, 15–19 октября 2018 г. / Под. ред.: А. В. Руоколайнен, А. В. Кикеевой. М.; Петрозаводск, 2018. С. 97–99.
- Микрюков В. С. Популяционная экология эпифитного лишайника *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. на территории Урала и Сибири : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН, 2011. 20 с.
- Михайлова И. Н. Анализ субпопуляционных структур эпифитных лишайников (на примере *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.) // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2005. № 1 (9). С. 124–134.
- Михайлова И. Н., Воробейчик Е. Л. Размерная и возрастная структура популяций эпифитного лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. в условиях атмосферного загрязнения // Экология. 1999. № 2. С. 130–137.
- Назарова Л. Е. Климат Республики Карелия (Россия): температура воздуха, изменчивость и изменения // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10, № 1. С. 746–749.
- Пыстина Т. Н., Семенова Н. А. Некоторые аспекты изучения экологических особенностей лишайника *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. на европейском северо-востоке России // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2004. № 9 (83). С. 4–9.
- Сонина А. В., Степанова В. И., Тарасова В. Н. Лишайники. Ч. 1: Морфология, анатомия, систематика . Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2006. 216 с.
- Суетина Ю. Г. Изменения эпифитной лихенофлоры и структуры популяции *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. в городской среде : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Йошкар-Ола, 1999. 25 с.
- Суетина Ю. Г. Структура популяции лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. на разных форофитах // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. Т. 18, № 1-2. С. 217–220.
- Суетина Ю. Г., Глотов Н. В. Популяционно-онтогенетические исследования эпифитных лишайников // Теоретические проблемы экологии и эволюции: Шестые Люблищевские чтения, 11-й Всероссийский популяционный семинар и Всероссийский семинар «Гомеостатические механизмы биологических систем» с общей темой «Проблемы популяционной экологии» (Тольятти, 6–10 апреля 2015 г.). Тольятти, 2015. С. 288–292.
- Тарасова В. Н., Андросова В. И., Сонина А. В. Лишайники. Ч. 2: Физиология, экология, лихеноиндикация . Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2012. 268 с.
- Шахнович М. М. Валунные кенотафы Восточной Фенноскандии: к вопросу об одной разновидности православного погребального обряда в позднем Средневековье // Самарский научный вестник. 2022. Т. 11, № 3. С. 152–160. DOI: 10.55355/snv2022113202
- Шахнович М. М. Валунные ямы Беломорья // Труды Кольского научного центра РАН. Гуманитарные исследования. 2021. Вып. 21. Т. 12, № 4. С. 104–125. DOI: 10.37614/2307-5252.2021.4.21.008

- Armstrong R. A. The effect of rock surface aspect on growth, size structure, and competition in the lichen *Rhizocarpon geographicum* // Environmental and Experimental Botany. 2002. Vol. 48. I. 2. P. 187–194.
- Beschel R. E. Dating rock surfaces by lichen growth and its application to glaciology and physiography (lichenometry) // Geology of the Arctic. University of Toronto Press, 1961. Vol. 2. P. 1044–1062.
- Bradwell T., Armstrong R. A. Growth rates of *Rhizocarpon geographicum* lichens: a review with new data from iceland // Journal of Quaternary Science. 2007. Vol. 22. P. 311–320.
- Henry N. M. Measurement of growth in the lichen *Rhizocarpon geographicum* using a new photographic technique: Dis. ... M. Sc. Biol. Sciences. 2012. 102 p.
- McCarthy D. P. Lichenometry // Encyclopedia of Quaternary Science (Second Edition). Amsterdam, 2013. P. 565–572.
- Tarasova V. N., Favorskaja M. A., Shreders M. A. State of *Evernia divaricata* (L.) Nyl. populations in forest communities of “Kivach” strict nature reserve (South Karelia) // Field Meeting “Lichen of Boreal Forests” and the Fourth Russian Lichenogical Workshop: Proceedings. Syktyvkar, 2008. P. 183–196.

Благодарности

Авторы выражают благодарность за помощь в подготовке иллюстрационного материала М. А. Шредерс.

Исследование выполнено в рамках госзадания по теме НИР FMEZ-2024-002 «Динамика социокультурного облика Кольского Севера в контекстах истории освоения арктического фронта России».

ON THE ANALYSIS OF CENOPOPULATIONS OF THE EPILITHIC LICHEN *RHIZOCARPON GEOGRAPHICUM* ON THE TERRITORY OF THE NORTHWESTERN WHITE SEA

SONINA
Angella Valerevna

D.Sc., Petrozavodsk State University (PetrSU) (33, Lenin St., Petrozavodsk, 185910, Republic of Karelia, Russia), angella_sonina@mail.ru

PETROV
Rodion Sergeevich

Petrozavodsk State University (PetrSU) (33, Lenin St., Petrozavodsk, 185910, Republic of Karelia, Russia), petrov.rodion6@mail.ru

SHAKHNOVICH
Mark Mihailovich

Ph.D., Center for Humanitarian Problems of the Barents Region Federal Research Center, Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, marksuk62@mail.ru

Keywords:

Rhizocarpon geographicum
cenopopulation
thallus
monoid spot
boulder formations
Republic of Karelia
Murmansk region

Summary: We studied cenopopulations of the epilithic lichen *Rhizocarpon geographicum* on boulder formations (pits, heaps) – archaeological sites, which are located in forest communities of the northern taiga zone in the north of the Republic of Karelia and in the south of the Murmansk region. Two approaches to the allocation of an intrapopulation unit for lichens were used in the work: a separate individual (thallus) and a monoid spot were considered as a functional unit when small thalli merge or when their fragments grow, as within a spot it is impossible to unambiguously identify the boundaries of individual thalli. Synusiae involving *Rh. geographicum* were analyzed in the field, they were photographed relative to the measuring standard. 127 photos were obtained, in which the areas of thalli and rhizocarpon spots were determined in triplicate using ImageJ program. For each object, the average values of the area of *Rh. geographicum* thalli or monospecific spots were calculated, and variation series were constructed. Analysis of the distribution of individual thalli and monoid spots in the coenopopulations of the two study sites revealed similar features. Distributions in variation series are described by a logarithmic function ($R^2 \dots 0.78-0.95$). In coenopopulations, individual thalli were detected almost three times less than monoid spots. General patterns were identified. Monospecific spots may be smaller in size than individual thalli. Small thalli in the sinusia do not reach the sizes described by the logarithmic function as a result of competitive relationships. Large spots significantly exceed the values of the equations. It was revealed that monoid spots of *Rh. geographicum* formed at early stages behaved like individuals, which allows considering them as a functional unit of the coenopopulation along with discrete thalli. Monoid spots change structurally over time, and can form from thalli and smaller spots at different periods of their development. The largest spot is not the oldest in the coenopopulation, which makes it impossible to use this approach in lichenometry.

Reviewer: A. G. Curikov

Received on: 07 November 2023

Published on: 23 December 2023

References

- Armstrong R. A. The effect of rock surface aspect on growth, size structure, and competition in the lichen *Rhizocarpon geographicum*, *Environmental and Experimental Botany*. 2002. Vol. 48. I. 2. P. 187–194.
- Beschel R. E. Dating rock surfaces by lichen growth and its application to glaciology and physiography (lichenometry), *Geology of the Arctic*. University of Toronto Press, 1961. Vol. 2. P. 1044–1062.
- Bradwell T., Armstrong R. A. Growth rates of *Rhizocarpon geographicum* lichens: a review with new data from iceland, *Journal of Quaternary Science*. 2007. Vol. 22. P. 311–320.

- Galanin A. A. Lichenometric method for studying cryogenic processes, *Nauka i tehnika v Yakutii*. 2012. No. 1. P. 8–15.
- Galanin A. A. Lichenometry: current state and directions of development of the method. Magadan: SVKNII DVO RAN, 2002. 74 p.
- Galanina I. A. On the question of epilithic lichens growth rate in the southern Primorsky Krai, *Struktura i dinamika ekosistem Sibiri i Dal'nego Vostoka: Sbornik nauchnyh statey*. Nahodka: Institut tehnologii i biznesa, 2011. P. 130–143.
- Glotov N. V. Suetina Yu. G. About lichen populations, *Regionologiya*. 2005. Pril. No. 6. P. 224–230.
- Henry N. M. Measurement of growth in the lichen *Rhizocarpon geographicum* using a new photographic technique: *Dis. ... M. Sc. Biol. Sciences*. 2012. 102 p.
- Ignatenko R. V. Tarasova V. N. State of the population of the protected lichen *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.) in plant communities of the Petrozavodsk city district, *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2014. No. 8 (145). T. 2. P. 26–30.
- Il'ina V. N. Research on coenotic plant populations (phytocenopopulations) in the Samara region, *Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii*. 2010. T. 19, No. 3. P. 99–121.
- Kurbatov A. A. Sonina A. V. Growth of epilithic lichens as the basis of the lichenometric dating method, *Materialy k mezhdunarodnoy konferencii, posvyaschennoy 80-letiyu so dnya rozhdeniya d. b. n. Vitaliya Ivanovicha Krutova, Petrozavodsk, 15–19 oktyabrya 2018 g.*, Pod. red.: A. V. Ruokolaynen, A. V. Kikeevoy. M.; Petrozavodsk, 2018. P. 97–99.
- McCarthy D. P. Lichenometry, *Encyclopedia of Quaternary Science (Second Edition)*. Amsterdam, 2013. P. 565–572.
- Mihaylova I. N. Vorobeychik E. L. Size and age structure of populations of the epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. in conditions of atmospheric pollution, *Ekologiya*. 1999. No. 2. P. 130–137.
- Mihaylova I. N. Analysis of subpopulation structures of epiphytic lichens (using the example of *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.), *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo*. 2005. No. 1 (9). P. 124–134.
- Mikryukov V. S. Population ecology of the epiphytic lichen *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. on the territory of the Urals and Siberia: *Avtoref. dip. ... kand. biol. nauk*. Ekaterinburg: IERiZh UrO RAN, 2011. 20 p.
- Nazarova L. E. Climate of the Republic of Karelia (Russia): air temperature, variability and changes, *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*. 2014. T. 10, No. 1. C. 746–749.
- Pystina T. N. Semenova N. A. Some aspects of studying the ecological characteristics of the lichen *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. in the European part of northeast Russia, *Vestnik Instituta biologii Komi NC UrO RAN*. 2004. No. 9 (83). P. 4–9.
- Shahnovich M. M. Boulder cenotaphs of Eastern Fennoscandia: to the question of one kind of the orthodox funeral rite in the late middle ages, *Samarskiy nauchnyy vestnik*. 2022. T. 11, No. 3. P. 152–160. DOI: 10.55355/snv2022113202
- Shahnovich M. M. Boulder pits of the White Sea region, *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN. Gumanitarnye issledovaniya*. 2021. Vyp. 21. T. 12, No. 4. P. 104–125. DOI: 10.37614/2307-5252.2021.4.21.008
- Sonina A. V. Stepanova V. I. Tarasova V. N. Lichens. Part 1: Morphology, anatomy, systematics. Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 2006. 216 p.
- Suetina Yu. G. Glotov N. V. Population and ontogenetic studies of epiphytic lichens, *Teoreticheskie problemy ekologii i evolyucii: Shestye Lyubischevskie chteniya, 11-y Vserossiyskiy populyacionnyy seminar i Vserossiyskiy seminar «Gomeostaticheskie mehanizmy biologicheskikh sistem» s obschey temoy «Problemy populyacionnoy ekologii» (Tol'yatti, 6–10 aprelya 2015 g.)*. Tol'yatti, 2015. P. 288–292.
- Suetina Yu. G. Changes in epiphytic lichen flora and population structure of *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. in an urban environment: *Avtoref. dip. ... kand. biol. nauk*. Yoshkar-Ola, 1999. 25 p.
- Suetina Yu. G. Population structure of the lichen *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. on different phorophytes, *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN*. 2016. T. 18, No. 1-2. P. 217–220.
- Tarasova V. N. Androsova V. I. Sonina A. V. Lichens. Part 2: Physiology, ecology, lichen indication. Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 2012. 268 p.
- Tarasova V. N., Favorskaja M. A., Shreders M. A. State of *Evernia divaricata* (L.) Nyl. populations in forest communities of “Kivach” strict nature reserve (South Karelia), *Field Meeting “Lichen of Boreal Forests” and the Fourth Russian Lichenological Workshop: Proceedings*. Syktyvkar, 2008. P. 183–196.
- Voroncova L. I. Gatsuk L. E. Egorova V. N. Plant coenopopulations: (basic concepts and structure), Pod. red.: A. A. Uranova, T. I. Serebryakovoy. M.: Nauka, 1976. 214 p.
- Zhukova L. A. Diversity of ontogenetic pathways in plant populations, *Ekologiya*. 2001. No. 23. P. 169–176.