

Годовая динамика вторичных метаболитов в талломах *Cetraria laevigata* и *Flavocetraria cuscullata* в условиях Центральной Якутии

И.А. Прокопьев*, И.В. Слепцов, Л.Н. Порядина, С.М. Рожина

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

*ilya.a.prokopiev@gmail.com

Аннотация. На территории Якутии лишайники представляют собой существенный компонент растительного покрова как в тундровой, так и в таежной зонах. Они отличаются большой устойчивостью к неблагоприятным условиям среды, что приводит к накоплению лишайниками различных биологически активных веществ, выполняющих адаптационные функции. Климат Центральной Якутии характеризуется резкой континентальностью, которая проявляется в длинной, холодной, малоснежной зиме и коротком, жарком засушливом лете. По климатическим условиям Центральная Якутия занимает второе место в республике по самым низким температурам зимой и первое – по высоким температурам летом. Методом ВЭЖХ проведено исследование годовой динамики накопления лишайниковых кислот в талломах *Cetraria laevigata* Rass. и *Flavocetraria cuscullata* (Bellardi) Kärnefelt & Thell в условиях Центральной Якутии. Показано, что максимальное содержание фумарпротоцеттаровой кислоты в талломах *Cetraria laevigata* наблюдалось в феврале и марте, а минимальные значения – в мае. Предположено, что фумарпротоцеттаровая кислота может проявлять криопротекторные свойства за счет образования гидрофобного слоя в клеточной стенке гиф внутренней части лишайника. Выявлено, что в талломах *Flavocetraria cuscullata* максимальные концентрации усниновой, алло-протолихестериновой и протолихестериновой кислот были в июне и июле, а минимальные – в январе и феврале. Установлено, что *Cetraria laevigata* и *Flavocetraria cuscullata* проявляют видоспецифическую ответную реакцию при изменении погодных условий, что может быть связано с различными стратегиями адаптации и функциями лишайниковых кислот в талломах лишайника. Исследованные виды лишайников входят в состав кормов северного оленя (ягель). Вид *Flavocetraria cuscullata* относится к хорошо поедаемым лишайникам, особенно в зимний период. Учитывая антимикробную активность усниновой кислоты, входящей в талломы данного лишайника, и высокую долю этого вида в кормовой базе оленей, можно утверждать, что *Flavocetraria cuscullata* имеет особую значимость для оленеводства не только в кормовом, но и в ветеринарно-фармацевтическом отношении.

Ключевые слова: *Cetraria laevigata*, *Flavocetraria cuscullata*, криопротекторы, лишайники, лишайниковые кислоты, Центральная Якутия.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственных заданий ИБПК СО РАН на 2017-2021 гг. «Фундаментальные и прикладные аспекты изучения разнообразия растительного мира Северной и Центральной Якутии» (АААА-А17-117020110056-0); «Разработка биопрепаратов из тканей растений и животных Якутии на основе изучения особенностей их биохимического состава и механизмов адаптации к условиям Севера (АААА-А17-117020110055-3); поддержана грантом РФФИ 18-44-140019 «Качественные и количественные характеристики криопротекторов лишайников Арктики и Субарктики».

Введение

Лишайники являются группой комплексных организмов и распространены почти во всех наземных экосистемах Арктики и Субарктики. Они отличаются большей устойчивостью к неблаго-

приятным условиям среды по сравнению с высшими растениями. Экстремальность условий обитания приводит к накоплению лишайниками различных биологически активных веществ, выполняющих адаптационные функции. Хорошо из-

вестна устойчивость лишайников к низким температурам, условиям обезвоживания и регидратации, благодаря наличию криопротекторов и осмопротекторов в их талломах [1].

Криопротекторы, накапливаясь в цитоплазме, способны понижать температуру замерзания внутриклеточного содержимого, увеличивая, таким образом, морозостойкость растений. Фенольные соединения, наряду с полиолами, сахарами и свободными аминокислотами, обладают криопротекторными свойствами и играют важную роль в адаптации высших сосудистых растений к действию низких температур [3]. В то же время, данных о соединениях лишайников, обладающих криопротекторными свойствами, все еще не так много [1].

На территории Якутии лишайники представляют собой существенный компонент растительного покрова, как в тундровой, так и в таежной зонах. Лишайники семейства Parmeliaceae распространены по всей территории Якутии, являясь, наряду с лишайниками семейства Cladoniaceae, основным кормом для северного оленя, особенно в зимний период [4]. Более 60 % всего количества кормов, потребляемых оленем в течение года, составляют лишайники. Питательная ценность ягельного корма, а также переваримость лишайников очень высокие [5]. Вид *Flavocetraria cucullata* (Bellardi) Kärnefelt & Thell относится к хорошо поедаемым лишайникам, особенно в зимний период. Для вида *Cetraria laevigata* Rass. отмечается, что поедается он мало, особенно когда есть выбор другого корма [6].

Климат Центральной Якутии характеризуется резкой континентальностью, которая проявляется в длинной, холодной, малоснежной зиме (октябрь–апрель) и коротком, жарком засушливом лете. Климат характеризуется высокими амплитудами годовых и суточных температур, особенно в летние месяцы. По климатическим условиям Центральная Якутия занимает второе место в республике по наличию самых низких температур зимой и первое – по высоким температурам летом [7–9].

По состоянию на начало 2019 года лишенобита Центральной Якутии представлена 273 видами лишайников из 90 родов отдела сумчатых лишайников (Ascomycota). По количеству видов лидируют семейства Parmeliaceae (66 видов) и Cladoniaceae (48 видов). Лишайники родов *Cladonia*, *Cetraria*, *Flavocetraria* являются эдификаторами и доминантами напочвенного покрова

различных растительных сообществ Центральной Якутии.

Известно, что накопление вторичных метаболитов в лишайниках зависит от различных абиотических факторов среды: освещенность, температура, влажность и т. д. [10]. В то же время сведений о накоплении вторичных метаболитов в лишайниках, произрастающих в Якутии, крайне мало. Так, ранее было показано, что содержание усниновой кислоты в лишайниках *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar et Vězda, *Cladonia arbuscula* (Wallr.) Flot. и *Flavocetraria cucullata* (Bellardi) Kärnefelt & Thell, произрастающих в Центральной Якутии, было наибольшим в июне, а наименьшим – в декабре [11].

Цель исследования – изучить годовую динамику содержания вторичных метаболитов в талломах лишайников *Cetraria laevigata* и *Flavocetraria cucullata*, произрастающих в условиях Центральной Якутии.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования были выбраны кустистые лишайники, относящиеся к семейству Parmeliaceae: *Flavocetraria cucullata* (Bellardi) Kärnefelt & Thell и *Cetraria laevigata* Rass, которые достаточно широко распространены в бореальных лесах Восточной Сибири.

Отбор образцов лишайников проводился в течение 2018–2019 гг. во второй декаде каждого месяца на участке площадью 10 м² в сосново-бруснично-лишайниковом лесу, расположенном в окрестностях г. Якутска (61°55'22,30" с.ш., 129°32'5,79" в.д.).

Мониторинг температуры воздуха на поверхности почвы в месте отбора проб лишайников проводился с помощью регистраторов температуры ТР-2 «ООО Инженерные технологии» (Россия), позволяющих фиксировать температуру с интервалом измерения 4 ч.

Для анализа брали верхние молодые части воздушно-сухих лишайников длиной не более 1,0 см. Измельченную пробу исследуемого образца лишайника (навеска 10 мг) экстрагировали 1 мл ацетона при постоянном перемешивании в течение 24 ч и температуре 20–25 °С.

Разделение методом ВЭЖХ (высокоэффективная жидкостная хроматография) проводили на приборе Милихром А-02 фирмы «ЭкоНова» (Россия) с обращенно-фазной колонкой 2×75 мм ProntoSIL-C18 AQ (120 Å, 5 мкм). В качестве подвижной фазы «А» использовали 0,1%-й водный раствор уксусной кислоты, «В» – ацетони-

трил, градиентный режим элюирования с возрастанием доли «В» от 10 до 50 % в течение 5 мин и от 50 до 100 % – в течение 20 мин при скорости потока 100 мкл/мин и температуре колонки 40 °С. Детектирование осуществляли на длинах волн 210, 230, 240, 260 и 280 нм.

Идентификацию проводили, сопоставляя времена удерживания и спектральные отношения пиков на хроматограмме с пиками стандартов лишайниковых веществ из коллекции Ботанического института им. В.Л. Комарова.

Все измерения были выполнены в трех биологических и аналитических повторностях. Расчет среднего значения и его стандартного отклонения проводили с помощью программы StatPlus v.2007.

Результаты и обсуждение

Мониторинг температуры на поверхности почвы в местах сбора лишайников показал, что среднемесячные положительные температуры наблюдались с мая по октябрь, а отрицательные – с ноября по апрель (рис. 1).

Минимальная среднемесячная температура наблюдалась в феврале и составляла –25,5 °С, а максимальная температура – в июле 19,5 °С.

Хроматографический анализ экстракта *Cetraria laevigata* показал, что основным метаболитом лишайника является депсидон – фумарпротоцеттаровая кислота. Выявлено, что в период с октября по декабрь ее содержание в талломах не изменялось, находясь на уровне 38–39 мг/г сухой массы (рис. 2).

Установлено, что с декабря по март наблюдалось повышение в 1,2 раза содержания фумарпротоцеттаровых кислот, в талломах *Cetraria*

laevigata. Нами предположено, что изменение содержания фумарпротоцеттаровой кислоты может быть связано с ее криопротекторными свойствами. Максимальное содержание фумарпротоцеттаровой кислоты было зафиксировано в феврале и марте. Известно, что исследуемое соединение преимущественно накапливается в клеточной стенке гиф внутренней части таллома и образует там гидрофобную поверхность, которая препятствует проникновению воды в клетки лишайника и, следовательно, образованию там кристаллов льда [10]. Содержание фумарпротоцеттаровой кислоты начинает уменьшаться с апреля по май, что может быть связано с повышением температуры и началом таяния снега. Стоит отметить, что минимальное содержание фумарпротоцеттаровой кислоты было зафиксировано в мае, когда закончился процесс активного таяния снега, а общее количество осадков было минимальным [7]. Известны факты вымывания фумарпротоцеттаровой кислоты из слоевищ лишайников при существенном повышении влажности слоевищ, при этом верхний почвенный слой подкисляется [12]. Начиная с июня, в талломах *Cetraria laevigata* вновь наблюдается повышение в среднем в 1,3 раза содержания фумарпротоцеттаровой кислоты, что могло быть связано с ее участием в регуляции внутреннего водного баланса лишайника, благодаря тому что за счет своих гидрофобных свойств это соединение препятствует перенасыщению влагой сердцевины лишайника, тем самым обеспечивая непрерывный газообмен с атмосферой [13].

Результаты проведенных исследований по динамике накопления усниновой, аллопротолехестериновой и протолехестериновой кислот в тал-

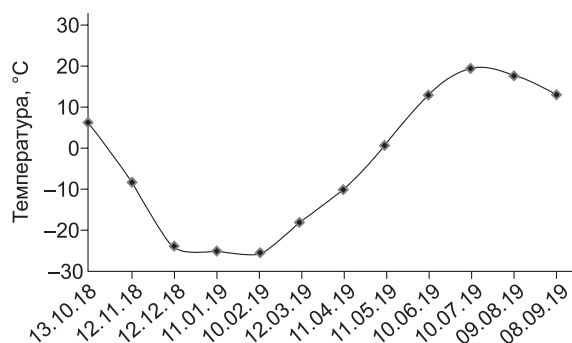


Рис. 1. Годовая температура на поверхности почвы в условиях Центральной Якутии (по данным исследования).

Fig. 1. Annual temperature on the soil surface in Central Yakutia (according to the study).

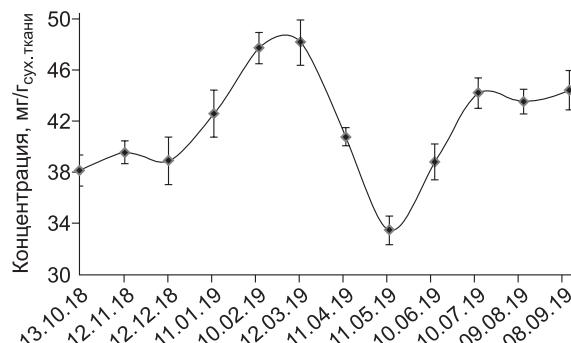


Рис. 2. Годовая динамика накопления фумарпротоцеттаровой кислоты в талломах *Cetraria laevigata*.

Fig. 2. Annual dynamics of accumulation of fumarprotocetraric acid in thallomas of *Cetraria laevigata*.

ГODOВАЯ ДИНАМИКА ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ

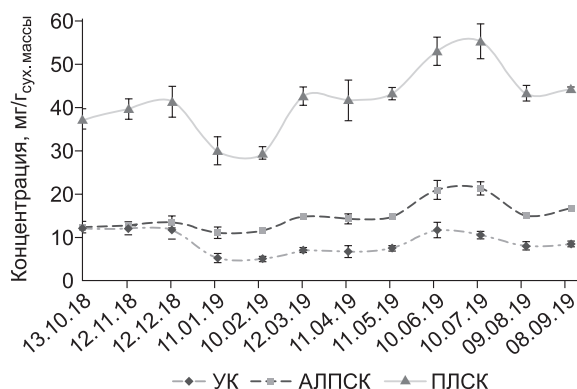


Рис. 3. Годовая динамика накопления усниновой, аллопротолистериновой и протолистериновой кислот в талломах *Flavocetraria cucullata* (УК – усниновая кислота, АЛПСК – аллопротолистериновая кислота, ПЛСК – протолистериновая кислота).

Fig. 3. Annual dynamics of accumulation usnic, allo-protolichesterinic and protolichesterinic acids in the thalli of *Flavocetraria cucullata* (УК – usnic acid, АЛПСК – allo-protolichesterinic acid, ПЛСК – protolichesterinic acid)

ломах *Flavocetraria cucullata* свидетельствуют о том, что содержание изученных лишайниковых веществ с октября по ноябрь в них не изменяются (рис. 3). С января по февраль наблюдается уменьшение содержания всех исследуемых соединений, что связано с понижением температуры и замедлением метаболизма лишайника. С марта по июль повышаются концентрации усниновой, аллопротолистериновой и протолистериновой кислот в талломе, что может быть связано с повышением температуры и активацией метаболических процессов [14]. Кроме того, повышение содержания усниновой кислоты в летний период может указывать на ее фотопротекторные свойства за счет поглощения избыточного УФ-излучения [10]. В августе наблюдалось снижение содержания исследуемых соединений, что может быть обусловлено уменьшением светового дня и снижением температуры воздуха. С августа по сентябрь не наблюдалось статистически достоверных изменений концентрации исследуемых лишайниковых кислот в талломах *Flavocetraria cucullata*.

Важно заметить, что динамика сезонных изменений содержания усниновой кислоты в *Flavocetraria cucullata*, произрастающей в условиях Центральной Якутии, в целом совпало с ранее полученными данными, что может указывать на относительное постоянство сезонных циклов накопления вторичных метаболитов в лишайниках [11].

Таким образом, *Cetraria laevigata* и *Flavocetraria cucullata* проявляют видоспецифическую динамику накопления вторичных метаболитов, что может быть связано с различными стратегиями адаптации к низкотемпературному стрессу и функциями лишайниковых кислот в талломах лишайника.

Выводы

1. Показано, что максимальное содержание фумарпроцеттаровой кислоты в талломах *Cetraria laevigata* наблюдалось в феврале и марте. Предположено, что фумарпроцеттаровая кислота может проявлять криопротекторные свойства за счет образования гидрофобного слоя в клеточной стенке гиф внутренней части лишайника. Минимальное содержание фумарпроцеттаровой кислоты в талломах *Cetraria laevigata* было зафиксировано в мае, когда закончился процесс активного таяния снега, а общее количество осадков было минимальным.

2. Установлено, что в талломах *Flavocetraria cucullata* максимальные концентрации усниновой, аллопротолистериновой и протолистериновой кислот были в июне и июле, что может быть связано с повышением температуры и активацией метаболических процессов. Повышение содержания усниновой кислоты в талломах *Flavocetraria cucullata* в летний период может указывать на ее фотопротекторные свойства за счет поглощения избыточного УФ-излучения. Минимальные значения концентрации усниновой, аллопротолистериновой и протолистериновой кислот в талломах *Flavocetraria cucullata* наблюдались январе и феврале, что связано с понижением температуры и замедлением метаболизма лишайника.

3. Установлено, что *Cetraria laevigata* и *Flavocetraria cucullata* проявляют видоспецифическую ответную реакцию при изменении погодных условий. Это может быть связано с различными стратегиями адаптации и функциями лишайниковых кислот в талломах лишайника.

Литература

1. Порядина Л.Н., Прокопьев И.А., Конорева Л.А., Чесноков С.В., Слепцов И.В., Филиппова Г.В., Шацурин М.М. Адаптационные биохимические механизмы, обеспечивающие устойчивость лишайников к экстремальным условиям среды обитания (обзор) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики», 2018. № 4 (26). С. 109–117. DOI 10.31242/2618-9712-2018-26-4-109-117.

2. *Chalker-Scott L.* Enviromental significance of anthocyanins in plant stress responses // *Photochemistry and Photobiology*. 1999. Vol. 70, No. 1. P. 1–9.
3. *Hoshino T., Odaira M., Yoshida M., Tsuda S.* Physiological and Biochemical Significance of Antifreeze Substances in Plants // *Journal of Plant Research*. 1999. Vol. 112. P. 255–261.
4. *Рыкова Ю.В.* Распространение и запасы кустистых лишайников на северо-востоке Якутии // *Растительность и почвы субарктической тундры*. Новосибирск, 1980. С. 124–139.
5. *Мухачев А.Д.* Оленеводство. М.: Агропромиздат, 1990. 272 с.
6. *Куваев В. Б., Самарин В. П.* Кормовые растения северного оленя в Томпонском районе Якутской АССР (Верхоянский хребет) // *Материалы по растительности Якутии*. Л., 1961. С. 106–189.
7. *Гаврилова М.К.* Климат Центральной Якутии. Якутск: Книжное изд-во, 1973. 120 с.
8. *Захарова В.И.* Разнообразие сосудистых растений Центральной Якутии. Новосибирск: Наука, 2014. С. 3–24.
9. *Горохов А.Н., Фёдоров А.Н.* Современные тенденции изменения климата в Якутии // *География и природные ресурсы*. 2018. № 2. С. 111–119. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2018-2(111-119).
10. *Lawrey J.D.* Biological Role of Lichen Substances // *The Bryologist*. 1986. Vol. 89. P. 111–122. DOI: 10.2307/3242751
11. *Прокопьев И.А., Шеин А.А., Филиппова Г.В., Филиппов Э.В., Шапуринов М.М., Гладкина Н.П.* Годовая динамика содержания усниновой кислоты в талломах лишайников родов *Cladonia* и *Flavocetraria*, произрастающих в Центральной Якутии // *Химия растительного сырья*. 2015. № 4. С. 45–49.
12. *Armas R., Oliveira A.K., Vasconcelos T.L., Vicente C., Santiago R., Pereira E.C., Legaz M.F.* Effect of soil moisture on the percolation of lichen substances from *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr. in a quartzarenic neosol from Brazil // *Environmental Science An Indian Hynral (ESAIJ)*. 2016. V. 12(6). P. 243–251.
13. *Armaleo D., Zhang Y., Cheung S.* Light might regulate divergently depside and depsidone accumulation in the lichen *Parmotrema hypotropum* by affecting thallus temperature and water potential // *Mycologia*. 2008. Vol. 100(4). P. 565–576. DOI: 10.3852/07-162r
14. *Равинская А.П., Вайнштейн Е.А.* Влияние некоторых экологических факторов на содержание лишайниковых веществ // *Экология*. 1975. № 3. С. 82–85.

*Поступила в редакцию 10.12.2019
Принята к публикации 18.02.2020*

Об авторах

ПРОКОПЬЕВ Илья Андреевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Россия, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, <https://orcid.org/0000-0001-8755-7140>, ilya.a.prokopiev@gmail.com;

СЛЕПЦОВ Игорь Витальевич, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Россия, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, <https://orcid.org/0000-0002-5980-579X>, neroxasg@mail.ru;

ПОРЯДИНА Лена Николаевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Россия, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, <https://orcid.org/0000-0002-6445-4269>, porjadina-lena@rambler.ru;

РОЖИНА Сахаяна Михайловна, лаборант-исследователь, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Россия, 677980, Якутск, пр. Ленина, 41, <https://orcid.org/0000-0001-7223-9297>, sahayana-rozhina@mail.ru.

Информация для цитирования

Прокопьев И.А., Слепцов И.В., Порядина Л.Н., Рожина С.М. Годовая динамика вторичных метаболитов в талломах *Cetraria laevigata* и *Flavocetraria cuscullata* в условиях Центральной Якутии // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2020, Т. 25, № 1. С. 94–100. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-10>

Annual dynamics of secondary metabolites in thalloms of *Cetraria laevigata* and *Flavocetraria cucullata* in Central Yakutia

I.A. Prokopiev*, I.V. Sleptsov, L.N. Poryadina, S.M. Rozhina

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

**ilya.a.prokopiev@gmail.com*

Abstract. On the territory of Yakutia, lichens are an essential component of vegetation in both tundra and taiga zones. They are highly resistant to adverse environmental conditions, which leads to the accumulation of various biologically active substances that perform adaptive functions in lichens. The climate of Central Yakutia is sharply continental, which manifests itself in a long, cold, low-snow winter and a short, hot dry summer. According to climatic conditions, Central Yakutia ranks second in the Republic in terms of the lowest temperatures in winter, and the first in terms of high temperatures in summer. The annual dynamics of lichen acid accumulation in thallomas of *Cetraria laevigata* Rasm and *Flavocetraria cucullata* (Bellardi) Kärnefelt & Thell in the conditions of Central Yakutia was studied by means of HPLC. It was shown that the maximum content of fumarprotocetraric acid in the thallomas of *Cetraria laevigata* was observed in February and March, and the minimum values in May. It is suggested that fumarprotocetraric acid may have cryoprotective properties due to the formation of a hydrophobic layer in the cell wall of the hyphae of the inner part of the lichen. It was found that the maximal concentrations of usnic, allo-protolichesterinic and protolichesterinic acids in the thalli of *Flavocetraria cucullata* was in June and July, and the minimal one was in January and February. It was revealed that *Cetraria laevigata* and *Flavocetraria cucullata* exhibit a species-specific response to changes in weather conditions, which may be associated with different adaptation strategies and functions of lichen acids in lichen thallomas. The studied species of lichens are part of the feed of reindeer (yagel). The species *Flavocetraria cucullata* is well eaten all year round, especially in winter. Taking into account the antimicrobial activity of usnic acid, part of the thalluses of this lichen, and a high proportion of this species in the fodder base of deer, it may be stated that *Flavocetraria cucullata* has special significance not only in feed but also in veterinary-pharmaceutical respect to reindeer husbandry.

Key words: cryoprotectors, lichens; lichen substances, photoprotectors, Central Yakutia, *Cetraria laevigata*, *Flavocetraria cucullata*.

Acknowledgements. The research was carried out within the framework of state assignment of Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS for 2017-2021 «Fundamental and applied aspects of the study of plant diversity of Northern and Central Yakutia». (AAA-A17-117020110056-0); «Development of biopreparations from tissues of plants and animals of Yakutia on the basis of studying of features of their biochemical structure and mechanisms of adaptation to conditions of the North (AAAAA-A17-117020110055-3); supported by the grant of RFBR 18-44-140019 «Qualitative and quantitative characteristics of cryoprotectors of lichens of the Arctic and subarctic».

References

1. Poryadina L.N., Prokop'ev I.A., Konoreva L.A., Chesnokov S.V., Sleptsov I.V., Filippova G.V., Shashurin M.M. Adaptatsionnye biokhimicheskie mekhanizmy, obespechivayushchie ustojchivost' lishajnikov k ekstremal'nym usloviyam sredy obitaniya (obzor) // Prirodnye resursy Arktiki i Subarkтики, 2018. No. 4 (26). P. 109–117. DOI 10.31242/2618-9712-2018-26-4-109-117.
2. Chalker-Scott L. Environmental significance of anthocyanins in plant stress responses // Photochemistry and Photobiology. 1999. Vol. 70, No. 1. P. 1–9.
3. Hoshino T., Odaira M., Yoshida M., Tsuda S. Physiological and Biochemical Significance of Antifreeze Substances in Plants // Journal of Plant Research. 1999. Vol. 112. P. 255–261.
4. Rykova Yu.V. Rasprostraneniye i zapasy kustistyy lishajnikov na severo-vostoke YAkutii // Rastitel'nost' i pochvy subarkticheskoy tundry. Novosibirsk, 1980. P. 124–139.
5. Muhachev A.D. Olenevodstvo. M.: Agropromizdat, 1990. 272 p.
6. Kuvaev V.B., Samarin V.P. Kormovye rasteniya severnogo olenya v Tomponskom rajone YAkutskoy ASSR

- (Verhoyanskij hrebet) // *Materialy po rastitel'nosti Yakutii*. L., 1961. P. 106–189.
7. *Gavrilova M.K.* Klimat Central'noj Yakutii. Yakutsk: Kn. izd-vo, 1973. 120 p.
 8. *Zaharova V.I.* Raznoobrazie sosudistyh rastenij Central'noj Yakutii. Novosibirsk: Nauka, 2014. P. 3–24.
 9. *Gorohov A.N., Fyodorov A.N.* Sovremennye tendencii izmeneniya klimata v Yakutii // *Geografiya i prirodnye resursy*. 2018. No. 2. P. 111–119. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2018-2(111-119).
 10. *Lawrey J.D.* Biological Role of Lichen Substances // *The Bryologist*. 1986. Vol. 89. P. 111–122. DOI: 10.2307/3242751
 11. *Prokop'ev I.A., Shein A.A., Filippova G.V., Filipov E.V., Shashurin M.M., Gladkina N.P.* Godovaya dinamika sodержaniya usninovoy kisloty v tallomah lishajnikov rodov *Cladonia* i *Flavocetraria*, proizrastayushchih v Central'noj Yakutii // *Himiya rastitel'nogo syr'ya*. 2015. No. 4. P. 45–49.
 12. *Armas R., Oliveira A.K., Vasconcelos T.L., Vicente C., Santiago R., Pereira E.C., Legaz M.F.* Effect of soil moisture on the percolation of lichen substances from *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr. in a quartzarenic neosol from Brazil // *Environmental Science An Indian Hymnal (ESAIJ)*. 2016. V. 12(6). P. 243–251.
 13. *Armaleo D., Zhang Y., Cheung S.* Light might regulate divergently depside and depsidone accumulation in the lichen *Parmotrema hypotropum* by affecting thallus temperature and water potential // *Mycologia*. 2008. Vol. 100(4). P. 565–576. DOI: 10.3852/07-162r
 14. *Ravinskaya A.P., Vajnshtejn E.A.* Vliyanie nekotorykh ekologicheskikh faktorov na sodержanie lishajnikov veshchestv // *Ekologiya*. 1975. No. 3. P. 82–85.

About the authors

PROKOPIEV Ilya Andreevich, candidate of biological sciences, leading researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-8755-7140>, ilya.a.prokopiev@gmail.com;

SLEPTSOV Igor Vital'evich, candidate of biological sciences, researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-5980-579X>, neroxasg@mail.ru;

PORYADINA Lena Nikolaevna, candidate of biological sciences, senior researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-6445-4269>, poryadina-lena@rambler.ru;

ROZHINA Sakhayana Mikhailovna, Research Assistant, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 41 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-7223-9297>, sahayana-rozhina@mail.ru.

Citation

Prokopiev I. A., Sleptsov I. V., Poryadina L. N., Rozhina S. M. Annual dynamics of secondary metabolites in thalloms of *Cetraria laevigata* and *Flavocetraria cucullata* in Central Yakutia // *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2020, Vol. 25, N 1. P. 94–100. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-10>