

## Эпилитный лишайниковый покров в оценке качества прибрежно-водной среды в условиях Карелии

### Epilithic lichen cover in assessing the quality of the coastal water environment in Karelia

Сони́на А. В.

Sonina A. V.

*Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия. E-mail: angella\_sonina@mail.ru  
Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia*

**Реферат.** В работе обобщены данные, полученные по анализу реакции прибрежного эпилитного лишайникового покрова на химические показатели воды в водоемах разного типа и разного использования. Исследование выполнено на побережьях пресных водоемов (Онежское озеро, Ладожское озеро, р. Лососинка, Суна) с разной антропогенной нагрузкой в Республике Карелия. В каждой точке обследования был описан лишайниковый покров на учетных площадках (рамка 10 x 20 см) вдоль трансект и взяты пробы воды на химический анализ. Цель работы – выявление показателей прибрежного эпилитного лишайникового покрова для индикации качества водной среды и оценки состояния прибрежных экосистем. Лихенофлора обследованных побережий пресных водоемов насчитывает 53 вида, наибольшим видовым разнообразием лишайников характеризуются места без очевидных источников загрязнения – заповедник «Кивач» (29 видов), побережье Ладожского озера (27 видов) и Ботанический сад ПетрГУ (16 видов), а в условиях города (Петрозаводск), крупного поселка (Янишполе) и близ целлюлозно-бумажного производства (г. Кондопога) число видов лишайников значительно ниже (8, 5 и 4). Регрессионный анализ показал зависимость числа видов лишайников на учетной площадке от концентраций соединений фосфора в воде ( $p < 0,05$ ) и отмечена тенденция к снижению видового разнообразия и снижению общего покрытия лишайников с увеличением азотистых соединений в воде. Это позволило предложить эпилитный лишайниковый покров в качестве объекта-индикатора состояния прибрежно-водной среды в условиях антропогенного загрязнения водоемов.

**Ключевые слова.** Антропогенное загрязнение, индикация, качество среды, побережье, пресные водоемы, эпилитные лишайники.

**Summary.** The paper summarizes the data obtained by analyzing the reaction of the coastal epilithic lichen cover to the chemical parameters of water in reservoirs of different types and uses. The study was carried out on the shores of fresh water bodies (Lake Onega, Lake Ladoga, Lososinka, Suna rivers) with different anthropogenic pressures in the Republic of Karelia. At each place of study, the lichen cover was described at the survey sites (frame 10 x 20 cm) along the transect and water samples were taken for chemical analysis. The aim of the work is to identify indicators of the coastal epilithic lichen cover to indicate the quality of the aquatic environment and assess the state of coastal ecosystems. The lichen flora of the surveyed coasts of fresh water bodies has 53 species, the highest species diversity of lichens is characterized by places without obvious sources of pollution – the Kivach reserve (29 species), the shores of Lake Ladoga (27 species) and the Botanical Garden of PetrSU (16 species), and in urban conditions (Petrozavodsk), a large settlement (Yanishpole) and near the pulp and paper industry (Kondopoga), the number of lichen species is much lower (8, 5 and 4). Regression analysis showed the dependence of the number of lichen species on the registration site on the concentration of phosphorus compounds in water ( $p < 0.05$ ). A tendency to a decrease in species diversity and a decrease in the total coverage of lichens with an increase in nitrogenous compounds in water was noted. This made it possible to propose the epilithic lichen cover as an object-indicator of the state of the coastal water environment under conditions of anthropogenic pollution of water bodies.

**Key words.** Anthropogenic pollution, coastline, environmental quality, epilithic lichens, fresh waters, indication.

Лентические и лотические водоемы, являясь резервуарами пресной воды, представляют огромное значение для человека. Изменения качества воды в условиях антропогенных нагрузок, особенно на урбанизированных территориях, сказывается как на гидробиоте, так и на природных комплексах побережий. Экосистемы побережий разных типов водоемов существуют в нестабильных условиях среды, в связи с чем отличаются чуткостью реакции на различные нарушения: воздействие человека в виде рекреационных нагрузок, ресурсного использования территорий, загрязнение водоемов. Это дает основание рассматривать прибрежные экосистемы в качестве эталонных при изучении реакции наземной биоты на изменения качества водной среды (Сонина, Марковская, 2013).

Территория Республики Карелия имеет хорошо развитую водную сеть, относящуюся к бассейнам Белого и Балтийского морей. В Карелии насчитывается более 60 тыс. озер, среди них крупные озера Европы – Ладожское и Онежское, и 27 тыс. рек. Поверхностные водоемы занимают 25 % площади поверхности суши (Климат Карелии ..., 2004). По природному химическому составу поверхностные воды Карелии разнообразны и имеют ряд особенностей. Они мало минерализованы (до 100 мг/л) и очень мягкие (до 4 % жесткости). По этим признакам их можно было бы отнести к водам очень высокого качества, однако на большей части территории качество вод ухудшается из-за наличия в них окрашенных гумусовых веществ. Химический состав воды Онежского озера формируется главным образом за счет речного стока, атмосферных осадков, подземного и антропогенного стока (главными поставщиками стоков являются крупные промышленные центры – Петрозаводск, Кондопога, Медвежьегорск) (Онежское озеро ..., 1999).

В Республике Карелия на государственном учете состоят 223 предприятия-водопользователя. Основными источниками загрязнения поверхностных водных объектов в Карелии являются предприятия целлюлозно-бумажной промышленности (57,6 %) и жилищно-коммунального хозяйства (30,3 %). Наиболее распространенными загрязняющими веществами в поверхностных водах республики являются соединения железа, меди, легкоокисляемые органические вещества (Государственный доклад ..., 2019). В последнее время увеличивается число форелеводческих хозяйств, в настоящее время республика обеспечивает до 85 % форели в стране, где основными потребителями являются жители мегаполисов: Москвы и Санкт-Петербурга. Увеличение объемов форелеводства вызывает тревогу у местного населения (Север. Реалии. URL: <https://www.severreal.org/a/30689601.html>).

В связи с этим важной и нерешенной задачей является изучение влияния загрязнения водоемов на контактирующую с ними наземную биоту. Индикаторная роль эпифитных лишайников для оценки качества воздушной среды известна и общепринята (Тарасова и др., 2012). Занимаясь изучением экологии эпифитных лишайников уже более 20 лет, автором высказано предположение о возможности использования эпифитного прибрежного лишайникового покрова, осваивающего пространство взаимного воздействия суши и водоема, для оценки состояния прибрежно-водной среды, а именно реакции наземной биоты на изменения качества воды. Целью настоящего исследования было выявление показателей прибрежного эпифитного лишайникового покрова для индикации качества водной среды и оценки состояния прибрежных экосистем.

Исследование выполнено в период с 2010 по 2019 гг. на территории Республики Карелия. Обследован эпифитный лишайниковый покров побережий р. Суны в среднем течении (в пределах государственного природного заповедника «Кивач»), в нижнем течении (окрестности пос. Янишполе, Кондопожский р-н) и в устье, при впадении р. Суны в Петрозаводскую губу Онежского озера; берегов р. Лососинки в разных точках на территории г. Петрозаводска; побережий Онежского озера – южный берег Петрозаводской губы на территории Ботанического сада ПетрГУ, северный берег Петрозаводской губы на территории г. Петрозаводска, в Кондопожской губе, в г. Кондопога напротив ООО «Кондопожский ЦБК» и на северном берегу Ладожского озера в заливе Мусталахти (форелеводческий комплекс «Фиш-форель»). На берегу Онежского озера, одного из крупных водоемов Европы, располагается столица Республики Карелия – г. Петрозаводск. В Кондопожской губе Онежского озера – один из крупных в Северной Европе целлюлозно-бумажных комбинатов (ООО «Кондопожский ЦБК»). Воды р. Суны протекают по территории ГПЗ «Кивач», на ней построен Сунский каскад ГЭС, наиболее крупными станциями являются Кондопожская ГЭС и Пальеозерская ГЭС. В районе поселка Янишполе через реку проходит автомобильный мост, по которому проходит федеральная трасса «Кола». Эпифитный лишайниковый покров и химический анализ воды были сделаны в 19 точках исследования в условиях разных водоемов с разной степенью антропогенной нагрузки. Описание лишайникового покрова выполнено вдоль трансект, заложенных от линии уреза воды до растительности побережья. Видовое разнообразие лишайников и их покрытие проведено в пределах учетных площадок (рамка 10 × 20 см). Опреде-

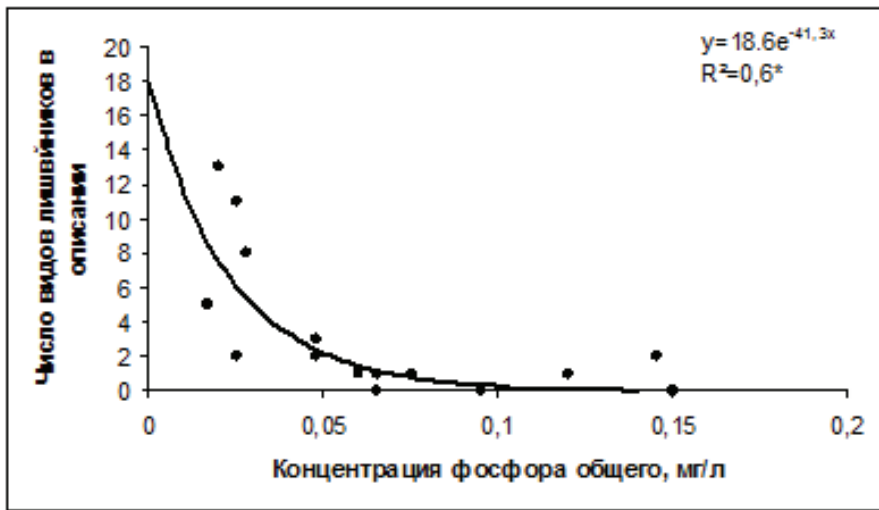


Рис. 1. Видовое разнообразие лишайников в зависимости от концентрации в воде фосфора общего в исследованных точках на территории Карелии.

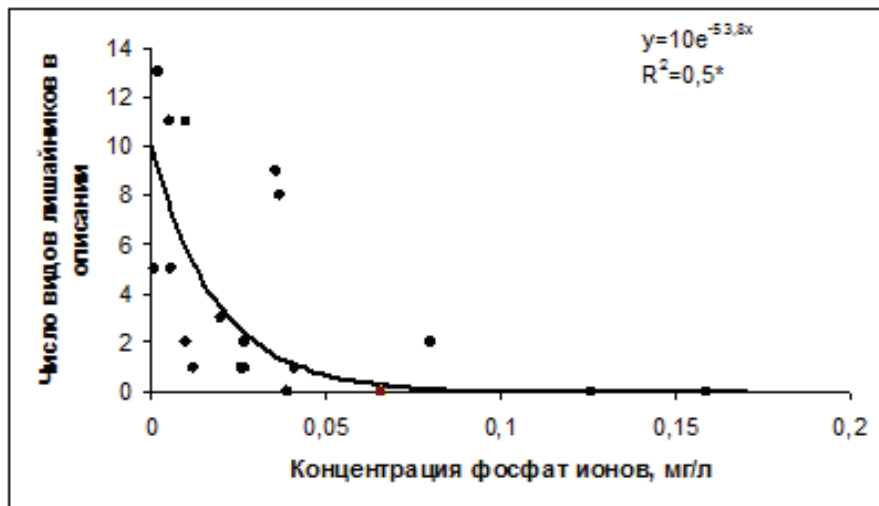


Рис. 2. Видовое разнообразие лишайников в зависимости от содержания в воде фосфат-ионов в исследованных точках.

ление эпилитных лишайников выполнено на базе кафедры ботаники и физиологии растений ПетрГУ, химический анализ воды по 21 показателю – сотрудниками лаборатории гидрохимии и гидрогеологии Института водных проблем Севера Карельского НЦ РАН.

Лишенофлора обследованных побережий пресных водоемов насчитывает 53 вида. При этом наибольшим видовым разнообразием лишайников характеризуются места без очевидных источников загрязнения – заповедник «Кивач» (29 видов), побережье Ладожского озера (27 видов) и Ботанический сад ПетрГУ (16 видов), в то время как в условиях города (Петрозаводск), крупного поселка (Янишполе) и близ целлюлозно-бумажного производства (г. Кондопога) число видов лишайников значительно меньше (8, 5 и 4).

На всех исследованных прибрежных территориях выявлен один общий вид эпилитного лишайника *Lecanora polytropa* (Ehrh.) Rabh., как отмечено в литературе, вид устойчив к антропогенному загрязнению (Костицина, Пауков, 2006). Особенности морфологии и репродукции обеспечивают ему эту возможность: исчезающий тип таллома, когда вегетативные ареолы практически не развиты, а сам таллом образован скоплением плодовых тел, на талломе не формируются специальные органы вегетативного размножения.

Анализ распределения видов лишайников по трансекте показал, что у линии уреза воды, в контактной с водной средой зоне во всех типах водоемов встречается ограниченное число видов лишайников (*Bacidina inundata* (Fr.) Vězda, *Verrucaria hydrela* Ach., *Candelariella vitellina* (Hoff.) Müll. Arg., *Aspicilia aquatica* (Fr.) Körb., *Aspicilia cinerea* (L.) Körb., *Lecanora polytropa*), некоторые из них способны выдерживать временное затопление – *Verrucaria hydrela*, *Aspicilia aquatica*. Все они имеют ряд общих морфологических признаков: относятся к классу накипных биоморф с однообразно-накипными и ареолированными талломами.

В результате проведенного химического анализа воды в точках исследования установлено, что р. Лососинка, протекая по г. Петрозаводску и собирая стоки разного происхождения (сточные воды с а/м дорог, ливневые стоки и пр.), характеризуется более загрязненными водами (превышено содер-

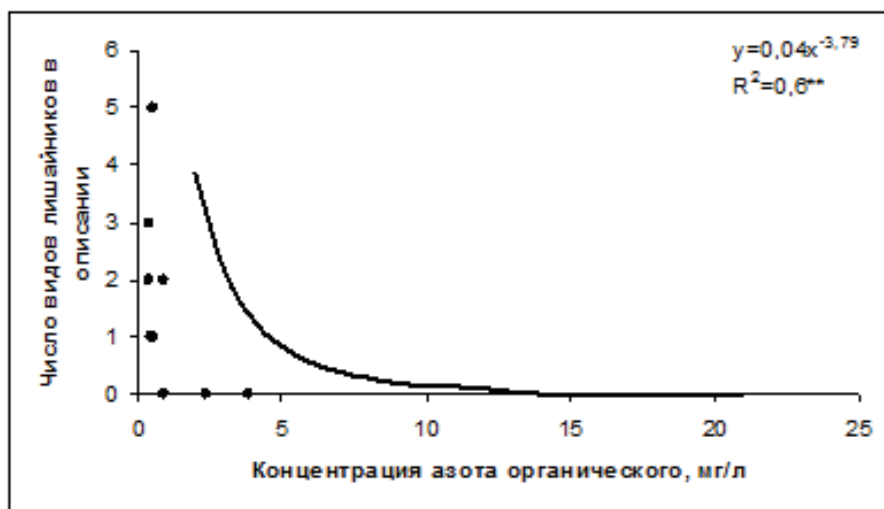


Рис. 3. Видовое разнообразие лишайников в зависимости от концентрации в воде р. Лососинки органического азота.

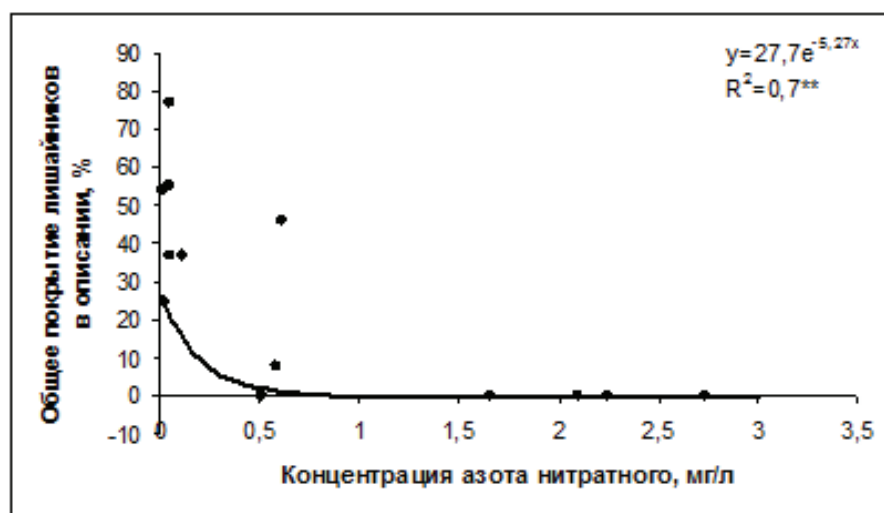


Рис. 4. Общее покрытие видов лишайников в зависимости от концентраций в воде р. Лососинки соединений азота.

в описании значительно уменьшаются с возрастанием содержания в воде азотистых соединений ( $p < 0,01$ ) (рис. 3, 4). По другим точкам исследования данная закономерность не подтвердилась, что позволяет говорить лишь о тенденции в реакции эпилитного лишайникового покрова (снижение числа видов в описании и общего покрытия видов) на увеличение концентрации в воде азотистых соединений. Значимых связей между характеристиками лишайникового покрова и другими показателями воды не выявлено.

По отдельным показателям отмечена варибельность концентраций в разных водоемах, в частности по содержанию в воде цинка (от 2 до 10 смг/л), свинца (от 0,1 до 2,2 мкг/л) и алюминия (0,01 до 0,8 мкг/л). Реакции же лишайникового покрова не выявлено. Содержание этих веществ не превышает допустимых норм (ПДК) и малое их количество даже при значительном варьировании концентраций не оказывает негативного влияния на лишайниковый покров. Обращает внимание показатель цветности воды, который в разных водоемах изменяется от 20 до 175 мг/л, в некоторых точках исследования значения превышают ПДК, однако также не выявлена реакция лишайникового покрова на этот показатель. Это может быть связано с тем, что исследованы наземные лишайники, которые не погру-

жение ПДК по нефтепродуктам, по цветности, самые высокие значения из всех точек исследования по содержанию соединений фосфора и азота). Содержание нефтепродуктов в исследованных водоемах превышает предельно допустимые концентрации в отдельных точках р. Лососинки в черте г. Петрозаводска, что связано с попаданием ливневых стоком с автомобильных магистралей и обочин дорог. Также отмечено превышение ПДК по цветности в акватории Онежского озера в районе ЦБК г. Кондопоги. Анализ общих характеристик лишайникового покрова (число видов лишайников в описании и общее покрытие видов) по всем точкам исследования показал, что наиболее чутко реагирует на химические показатели воды число видов лишайников в описании. Так, с увеличением содержания в воде соединений фосфора число видов эпилитных прибрежных лишайников значительно уменьшается ( $p < 0,05$ ) (рис. 1, 2).

На побережье р. Лососинки в черте г. Петрозаводска выявлено также, что и число видов лишайников, и общее покрытие видов

жены в воду на длительное время, а также и с тем, что высокие значения цветности воды является особенностью природных вод Карелии (Климат Карелии ..., 2004), то есть базовым свойством среды для жизни прибрежной биоты.

В результате проведенного анализа установлено, что эпилитный прибрежный лишайниковый покров реагирует на трофические характеристики водоема и может быть использован как показатель при загрязнении водоема сточными водами с промышленными, бытовыми и сельскохозяйственными отходами. Предлагаемый метод лишеноиндикации состояния прибрежно-водной среды является новым, где объектом-индикатором служат характеристики эпилитного лишайникового покрова.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2019 г.* / Министерство природных ресурсов и экологии Республики Карелия. Гл. ред. А. Н. Громцев. – Петрозаводск: Изд-во Министерства природных ресурсов и экологии Республики Карелия, 2020. – 248 с.

*Климат Карелии: изменчивость и влияние на водные объекты и водосборы.* Отв. ред. Н. Н. Филатов. – Петрозаводск: изд-во КарНЦ РАН, 2004. – 224 с.

**Костицина М. В., Паукова А. Г.** Литофильные лишайники на силикатных горных породах в условиях антропогенного загрязнения // Экология в меняющемся мире: Материалы конф. молодых ученых (г. Екатеринбург, 24–28 апреля 2006 г.). – Екатеринбург: «Академкнига», 2006. – С. 93–96.

*Онежское озеро. Экологические проблемы.* / Отв. ред. Н. Н. Филатов. – Петрозаводск: изд-во КарНЦ РАН, 1999. – 293 с.

*Север. Реалии.* URL: <https://www.severreal.org/a/30689601.html> (дата обращения 10.04.2021)

**Сонина А. В., Марковская Е. Ф.** Инновационный подход в лишеноиндикации с использованием эпилитных лишайников для оценки состояния прибрежно-водной среды // Инновации и инвестиции, 2013. – № 1. – С. 218–221.

**Тарасова В. Н., Андросова В. И., Сонина А. В.** Лишайники. Часть II. Физиология, экология, лишеноиндикация. Учебное пособие. – Петрозаводск: изд-во ПетрГУ, 2012. – 268 с.