

## Метод усиления теневого контраста для оценки воздействия на субстрат эпилитных лишайников

*А.В. Пчелкин*

Институт географии РАН,  
Россия, 119017, Москва, Старомонетный переулок, д. 29, стр. 4

\* Адрес для переписки: [pchelkin@igras.ru](mailto:pchelkin@igras.ru)

**Резюме.** Метод усиления теневого контраста имеет как преимущества, так и ограничения по сравнению со стандартными методами оценки воздействия эпилитных видов лишайников на скальный субстрат, такими как склерометрия и метод микроскопии тонких шлифов. Метод протестирован на примере воздействия на бетонный субстрат эпилитного вида *Rusavskia elegans*. Рассмотрены три возможных сценария: лишайник не оказывает на субстрат никакого воздействия, лишайник оказывает на субстрат отрицательное воздействие, лишайник оказывает на субстрат положительное воздействие (защищает от абиотического выветривания). На основе статистических данных показано, что этот вид лишайника не оказывает отрицательного воздействия на камни, в том числе на каменные стены Соловецкого монастыря. Метод отличается дешевизной и не требует дорогостоящего оборудования. Ограничением метода усиления теневого контраста является то, что он хорошо работает на ровных поверхностях. Метод используется в криминалистике, но его можно применять и в лихенологических исследованиях для оценки влияния эпилитных лишайников на скальный субстрат.

**Ключевые слова.** Лишайники, теневой контраст, склерометр, метод тонких шлифов, *Rusavskia elegans*, биологическое выветривание, Соловецкий монастырь.

## Shadow contrast enhancement method for assessing the effect of epilithic lichens on the substrate

*A.V. Pchelkin*

Institute of Geography of Russian Academy of Sciences,  
29, Staromonetny lane, 109017, Moscow, Russian Federation

\* Correspondence address: [pchelkin@igras.ru](mailto:pchelkin@igras.ru)

**Abstract.** The method of enhancing shadow contrast has both advantages and limitations in comparison with standard methods for assessing the impact of epilithic lichen species on a rock substrate, such as sclerometry and microscopy of thin sections. The method was tested by the example of the impact on a concrete substrate of the epilithic species *Rusavskia elegans*. Three possible scenarios were

considered: lichen does not have any effect on the substrate, lichen has a negative effect on the substrate, lichen has a positive effect on the substrate (protects against abiotic weathering), Based on statistical data, it was shown that this type of lichen does not have a negative effect on stones, including the stone walls of the Solovetsky Monastery. The method is cheap and does not require expensive equipment. A limitation of the shadow contrast enhancement method is that it works well on flat surfaces. The method is used in forensic science, but it can also be used in lichenological studies to assess the effect of epilithic lichens on a rock substrate. The lichen cover on the walls of the Solovetsky Monastery should be perceived as an inevitable attribute emphasizing the antiquity of historical and cultural values, similar to craquelés on the paintings of ancient masters or a noble patina on ancient bronze sculptures.

**Keywords.** Lichens, shadow contrast, sclerometer, thin section method, *Rusavskia elegans*, biological weathering, Solovetsky Monastery.

## Введение

Проблема необходимости тех или иных действий во время реставрационных работ всегда актуальна. Основной принцип реставрации – не навредить. Ярким примером, когда не все выбранные действия можно считать оправданными, являются реставрационные работы Спасо-Преображенского Соловецкого ставропигиального мужского монастыря, основанного в 1436 г. Это одна из жемчужин культурного и духовного наследия России, один из самых известных и почитаемых монастырей как в России, так и за рубежом. В 1992 г. комплекс памятников Соловецкого музея-заповедника был внесен в список Всемирного наследия ЮНЕСКО, а в 1995 г. – в Государственный свод особо ценных объектов культурного наследия народов Российской Федерации.

На цветных фотографиях Сергея Михайловича Прокудина-Горского, сделанных в начале XX в., можно видеть Соловецкий монастырь, покрытый красочным узором из эпилитного лишайника *Rusavskia elegans* (Link) S.Y. Kondr. & Kärnefelt (рис. 1).

На очередную реставрацию Соловецкого монастыря было выделено около 6 млрд руб., и в 2016 г. на его территории были начаты реставрационные работы, в ходе которых талломы *Rusavskia elegans* были удалены жесткими металлическими щетками с Арсенальной, Архангельской и Никольской башен, а также с прясел между Арсенальной башней и Святыми Вратами, между Архангельской, Белой и Поваренной башнями. Стены были обработаны капатоксом – антигрибковым биоцидным препаратом для пропитки стен (поскольку теперь лишайники систематики относят к грибам, то они и попали под горячую руку реставраторов). К слову, капатокс с дождевыми и тальными стоками напрямую попадает в расположенное рядом Святое озеро. Реставраторы обосновывали свои действия тем, что лишайники разрушают природные валуны, из которых сложены стены. Безусловно, удаление лишайников – наи-

более визуально наглядное доказательство того, что ведутся реставрационные работы. Однако зачищенные от талломов *Rusavskia elegans* стены старинного монастыря приобрели вид «новодела», а придающий камням золотистый узор из эпилитных лишайников, отображенный на исторических фотографиях, исчез (рис. 2).



**Рисунок 1.** Соловецкий монастырь. Никольская башня и Никольские ворота, вид со стороны Святого озера

*Фото: С.М. Прокудин-Горский, 1916 г.*

**Figure 1.** Solovetsky Monastery. Nikolskaya Tower and Nikolsky Gates, view from the Holy Lake  
*Photo: S.M. Prokudin-Gorsky, 1916*

Кроме того, на стенах, где талломы *Rusavskia elegans* были уничтожены, появилась нехарактерная для монастыря пятнистость (рис. 3).

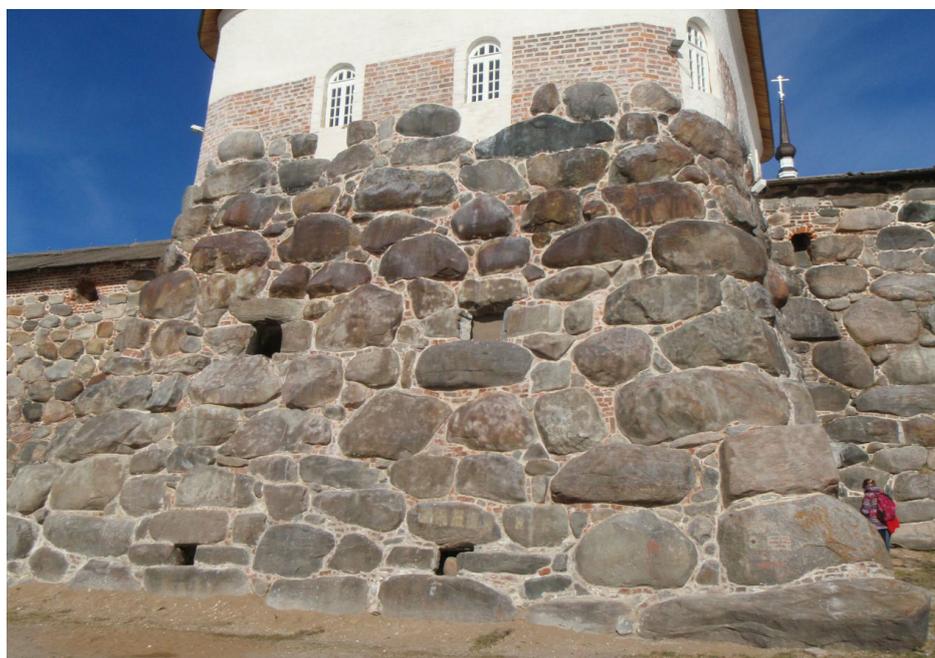
Проблема удаления лишайников с гранитных валунов имеет принципиальное значение: являются ли лишайники, а конкретно, *Rusavskia elegans*, действительной причиной разрушения стен и обоснованно ли удаление этого вида в ходе реставрационных работ (Дмитриева и др., 2018).

Основные претензии, предъявленные к лишайникам на стенах Соловецкого монастыря: а) лишайники ухудшают эстетический облик старинного монастыря; б) талломы лишайников разрушают валуны, из которых сложены стены Соловецкого монастыря.



**Рисунок 2.** Угол между Поваренной башней и стеной. Часть стены с произрастающими на ней лишайниками и часть стены, где лишайники уничтожены  
*Фото: А.В. Пчелкин, 2017 г.*

**Figure 2.** The angle between the Cooking Tower and the wall. Part of the wall with lichens growing on it and part of the wall where the lichens are destroyed  
*Photo: A.V. Pchelkin, 2017*



**Рисунок 3.** Успенская башня. Пятнистость после удаления лишайников  
*Фото: А.В. Пчелкин, 2017 г.*

**Figure 3.** Assumption tower. Spotting after removal of lichens  
*Photo: A.V. Pchelkin, 2017*

Эстетический аспект эпилитного лишайникового покрова, безусловно, является восприятием субъективным и может кому-то нравиться, а кому-то нет. Однако это вряд ли может быть причиной масштабных работ по удалению *Rusavskia elegans*, вида, доминирующего на стенах монастыря. Некоторые строительные фирмы специально имитируют эпилитное лишайниковое покрытие, например, узор «Лишайник» мягкой кровли фирмы Ruflex Sota, отдаленно напоминающий покрытие субстрата накипными эпилитными лишайниками. Удаление лишайников оправдано, если в результате их деятельности происходит разрушение субстрата или затруднено восприятие объектов культурного наследия (Толпышева, Ребрикова, 1997; Faradjev, Pchelkin, 2009).

В плане того, что Соловецкий монастырь является культурно-историческим памятником с богатой историей, лишайниковый покров на его стенах следует воспринимать, как неизбежный атрибут, подчеркивающий древность историко-культурных ценностей, подобный кракелюрам на живописных полотнах старинных мастеров или благородной патины на старинных бронзовых скульптурах. Историко-эстетический аспект эпилитного лишайникового покрова для старинных строений отмечают многие исследователи (Watt, 2019; Richardson, 1975). Как правило, со строений, имеющих историческое значение, лишайниковый покров, подчеркивающий их древность, не удаляют (рис. 4).



**Рисунок 4.** *Protoparmeliopsis muralis* на парапете смотровой площадки  
возле Королевского дворца в Праге  
*Фото: А.В. Пчелкин, 2019*

**Figure 4.** *Protoparmeliopsis muralis* on the parapet of the observation deck  
near the Royal Palace in Prague  
*Photo: A.V. Pchelkin, 2019*

---

Однако эстетический аспект эпилитного лишайникового покрова отступает на второй план, если лишайники действительно разрушают субстрат, на котором произрастают. Вопрос о роли эпилитных лишайников в процессе разрушения скального субстрата остается дискуссионным. В природе доминируют принципы целесообразности, экономии энергозатрат, оптимальности, стремления вида к выживанию и максимально возможному распространению. С биологической точки зрения ни один аборигенный вид, длительное время существующий на определенной территории и образовавшийся в ходе длительного эволюционного процесса, не будет разрушать собственную среду обитания, что в целом справедливо и для большинства видов лишайников. Особый случай – эндолитные кальцефильные лишайники, например, *Bagliettoa calciseda* (DC.) Gueidan & Cl. Roux, или *Verrucaria rupestris* Schrad, формирующие углубления в известняке, что отчасти защищает их от механических повреждений, и при этом укрепляя стенки образовавшихся лунок гифами микобионта, что отчасти предохраняет субстрат от абиотического выветривания; а также некоторые кальцефильные виды, например, представители рода *Circinaria*, использующие материал субстрата для производства несъедобного оксалата кальция, защищающего лишайники от поедания, т.е. реализующие не только топический, но и отчасти трофический вариант отношения к субстрату. Часть исследований, в которых утверждалась деструктивная роль эпилитных лишайников (Ascaso et al., 1990; Piervittori et al., 2004), базировалась на обнаружении грибных гиф в межзерновых пространствах скальной породы (Wierzchos, Ascaso, 1998), на более рыхлой структуре субстрата под талломами и выделяемой некоторыми видами щавелевой кислоты. Так, гифы микобионта накипного эпилитного лишайника *Lecidea sarcogynoides* Körb. проникали в песчаник на глубину 3.21 мм (Wessels, Schoeman, 1988) и в кварцит – на 1.12 мм (Cooks, Otto, 1990). Тем не менее, закономерен вопрос, который ставят многие исследователи: произошло ли разрыхление субстрата в результате деятельности лишайников, или же лишайники предпочитают селиться на камнях, уже подвергшихся абиотическому выветриванию (Walderhaug, Walderhaug 1998; Bakkevig 2004). Как указывает Д. Пинна (Pinna, 2014), обнаружение микроорганизмов-биообрастателей (включая лишайники) не означает, что они априори являются биодеструкторами, а пространства между зернами гранита достаточно велики, чтобы гифы микобионта проникли в межзерновое пространство и без специального давления. Ряд исследователей указывает на положительную роль эпилитного лишайникового покрова в предохранении скального субстрата от абиотического выветривания (Пчелкин, 2018; Пчелкин, Сони́на, 2018; Pinna, 2014; Hoppert et al., 2004; Drewello, Drewello, 2000; Wendler, Prasarttet, 1999; Ariño et al., 1995).

Для определения воздействия эпилитных лишайников на каменистый субстрат используют различные методы. Наиболее распространен метод микроскопии тонких шлифов скальных пород на предмет выявления гиф микобионта в межзерновом пространстве. Однако даже гранит не представляет собой монолит, и в нем всегда присутствуют щели между зернами,

сквозь которые грибные гифы могут проникать в субстрат (Pinna, 2014). Таким образом, метод тонких шлифов не может считаться абсолютно корректным. Кроме того, этот метод предполагает разрушение субстрата.

Из неразрушающих методов можно отметить ультразвуковое зондирование для оценки монолитности субстрата. Ультразвуковые измерения проводят способами сквозного или поверхностного прозвучивания. Сквозное прозвучивание используют, если есть возможность расположить приборы по обеим сторонам субстрата; при этом прозвучка идет в поперечном направлении. Если особенности субстрата затрудняют осуществление сквозного прозвучивания, применяют способ поверхностного прозвучивания. При этом база прозвучивания при измерениях на поверхностях должна быть такой же, как на образцах при установлении градуировочной зависимости. Между скальным субстратом и рабочими поверхностями ультразвуковых преобразователей должен быть обеспечен надежный акустический контакт, для чего применяют вязкие контактные материалы (солидол по ГОСТ 4366, технический вазелин по ГОСТ 5774 и др.). Все это усложняет процесс измерения, кроме того, стоимость приборов для ультразвуковых измерений довольно высока.

Другой метод, относительно недорогой и простой в использовании – склерометрия с использованием склерометров. Традиционно прочность скальной поверхности (или иной твердой поверхности), таких как бетон или коры выветривания, измеряют косвенным неразрушающим методом при помощи механических или электронных склерометров (Галанин, Пахомов, 2010; Севостьянов и др., 2021). Принцип действия механического склерометра заключается в упругом отскоке. Ударная сила нормирована энергией бойка и измеряется в условных единицах по шкале прибора. Удар осуществляется о бетонную или иную твердую поверхность, в результате чего определяется высота отскока бойка, которая дает косвенную характеристику прочности бетона на сжатие. Для измерений склерометр приставляется ударным механизмом к исследуемой поверхности, после чего резко нажимается, а на шкале появляются показания. Измерения проводятся на небольшом участке, который расчерчивается на исследуемые квадраты, каждое показание прочности фиксируется и сравнивается. Как правило, данные имеют некоторые отклонения, но могут быть и одинаковыми. Это один из наиболее дешевых методов измерения прочностных характеристик субстрата. Механические склерометры более дешевые, чем электронные. Но при использовании склерометров для оценки воздействия лишайников, закономерно возникает вопрос о корректности применения этого метода при наличии эпилитного лишайникового покрова. Отчасти этот вопрос поднимают исследователи, предполагающие, что лишайники изначально поселяются на скальных участках, уже имеющих разрыхление, возникшее в результате абиотического разрушения (Walderhaug, Walderhaug 1998; Bakkevig 2004). Кроме того, при абиотическом выветривании зерна скальной породы выпадают, оставляя относительно плотный субстрат, а на участках, где поселяются лишайники, зерна удерживаются компонентами микобионта. При этом образуется каменисто-лишайниковая прослойка, обладающая амортизационными свойствами. Демпфирующий

---

эффект таких участков приведет к тому, что склерометр покажет менее монолитную поверхность под талломами лишайников, чем на участках, свободных от них. Это обязательно приведет к ошибке при трактовке результатов склерометрического определения прочности субстрата.

Выявление же степени воздействия эпилитных лишайников на субстрат имеет важное значение: в некоторых случаях от этого зависит, необходимы ли мероприятия по удалению эпилитного лишайникового покрова и являются ли лишайники биодеструкторами.

Цель данного исследования – дать подробное описание максимально экологичного и безопасного, применительно к объектам культурного и природного наследия, метода усиления теневого контраста, его особенностей и преимуществ по сравнению с другими методами измерения монолитности скального субстрата, на примере его практического применения для оценки воздействия на субстрат эпилитного лишайника *Rusavskia elegans*.

## Материалы и методы

Для оценки воздействия на субстрат эпилитного лишайника *Rusavskia elegans* нами был использован метод усиления теневого контраста, ранее названный «методом скользящего луча» (Пчелкин, 2018; Пчелкин, Сони́на, 2018), что является не очень корректным, поскольку термин «скользящий луч» уже зарезервирован в биомикроофтальмоскопии и используется для метода определения показателей преломления в прозрачных жидкостях.

Метод усиления теневого контраста является частным случаем яркостного метода, выявляющего различие объектов, одинаковых по цвету, но различающихся по его густоте (один светлее, другой темнее). Разновидностью яркостного метода является теневой контраст, основанный на выявлении неровностей рельефа поверхности в результате их освещения. Этот метод часто используют в криминалистике (Аверьянова и др., 2001). К выявлению теневого контраста при криминалистических исследованиях прибегают для того, чтобы прочесть вдавленный текст, установить подчистку в документе, изучить микроскопический рельеф поверхности следа. Усиление теневого контраста позволяет правильнее передать форму предмета или отдельных его деталей, дать представление о материале поверхности (фактуре). Чтобы выявить неровности поверхности объекта, его освещают направленными лучами, падающими под острым углом к исследуемой поверхности (косопadaющий свет).

В нашем случае метод усиления теневого контраста основан на выявлении теневого контраста (теневых участков) при освещении исследуемой поверхности лучом от точечного источника света под острым углом и формировании на скальной поверхности светового пятна в виде сильно вытянутого эллипса, перекрывающего участок произрастания таллома эпилитного лишайника. Высота положения источника света над поверхностью скального субстрата выбирается таким образом, чтобы максимально выявить возможные неровности поверхности, предположительно образовавшиеся в результате воздействия на субстрат талломами *Rusavskia elegans*.

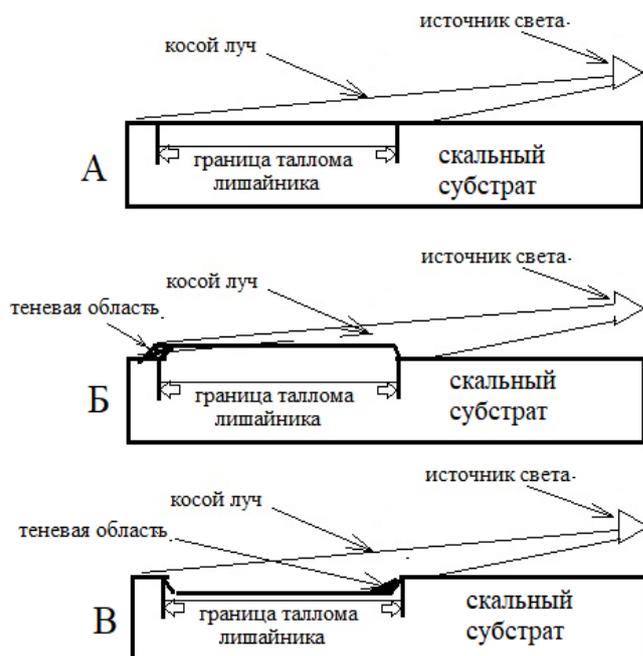
---

Поскольку вопрос о воздействии лишайников является дискуссионным, рассматривались три варианта:

А) талломы лишайников не оказывают никакого деструктивного воздействия на субстрат, теневая область не образуется;

Б) лишайники оказывают защитное действие на субстрат, предохраняя его от абиотического выветривания, образуется теневая зона у дальней границы таллома;

В) лишайники оказывают деструктивное воздействие на субстрат, вызывают его разрыхление и выпадение фрагментов скальной породы, образуется теневая зона у ближней границы таллома (рис. 5).



**Рисунок 5.** Образование теневой зоны при использовании метода усиления теневого контраста при различных сценариях воздействия лишайников на субстрат

**Figure 5.** Formation of a shadow zone using the shadow contrast enhancement method under various scenarios of lichen impact on the substrate

Недостатком этого метода является то, что он хорошо работает только на ровных поверхностях, в то время как валуны, из которых сложены стены Соловецкого монастыря, имеют неровную поверхность. Поэтому для оценки влияния *Rusavskia elegans* были использованы поверхности столбов линии электропередачи (ЛЭП), проложенных в пос. Соловецкий в конце XX в. и расположенных вблизи стен Соловецкого монастыря, т.е. в климатических условиях, идентичных развитию талломов этого вида на стенах монастыря. На столбах, имеющих в сечении квадратную форму, начали развиваться талломы *Rusavskia elegans*, формируя округлые талломные розетки. Структура каменного субстрата столбов ЛЭП и валунов, из которых сложены стены Соловец-

кого монастыря, различается. Бетон, из которого сделаны столбы ЛЭП, гораздо менее прочен, что можно считать определенным преимуществом – деструкция (если таковая имеется) бетонной поверхности под талломами лишайников должна проявиться гораздо быстрее и отчетливее, чем на валунах стен, имеющих силикатную природу и сложенных гранитами и полосчатыми гнейсами, отличающимися высокой прочностью. Другим важным моментом является тот факт, что бетон столбов имеет однородную структуру как на участках, где развиваются талломы, так и на участках, свободных от лишайников.

Непосредственное измерение участков с произрастающими одновозрастными талломами было невозможно, т.к. теневую зону образовывали бы сами талломы. Поэтому талломы лишайника были удалены – на измеряемых участках была проведена зачистка металлической губкой талломов лишайника до субстрата (от краев таллома делали отступ с таким расчетом, чтобы образовался квадрат со сторонами в 50 мм – и зачистка проводилась на этой площадке). На столбах были заложены 4 пробные площадки, имеющие одинаковую ориентацию по сторонам света, на которых талломы *Rusavskia elegans* образовали розетки правильной округлой формы (рис. 6).



**Рисунок 6.** Округлые розетки *Rusavskia elegans* на столбах ЛЭП  
*Фото: А.В. Пчелкин, 2017 г.*

**Figure 6.** Round rosettes of *Rusavskia elegans* on power poles  
*Photo: A.V. Pchelkin, 2017*

Вблизи пробных площадок на тех же столбах ЛЭП выделяли контрольные участки без талломов (площадки-аналоги по ориентациям по сторонам света и максимально идентичные по высоте от уровня почвы) и на них также делали имитацию зачистки металлической губкой. Это было сделано для того, чтобы исключить потенциальное разрушение субстрата металлом, даже если не было предварительного ослабления прочностных свойств бетона под талломами, т.к. потенциально металлическая губка могла бы повредить каменистую поверхность и без участия лишайника (Пчелкин, 2018). На исследуемой площадке и на контрольном участке проводилось несколько измерений методом усиления теневого контраста, сделанных под разными ракурсами. В качестве источника света был использован светодиодный фонарь с изменяемым углом луча. Такая конструкция позволяет формировать узконаправленный луч достаточной интенсивности для получения теневых зон. Вытянутый эллипс, сформированный светом фонаря, должен перекрывать ближнюю и дальнюю границы расположения удаленного таллома лишайника, причем проходить через центр талломной розетки. Передвигая световой эллипс, подобно стрелке часов, описывали полную окружность. Это было сделано из-за того, что поверхность бетонных столбов изначально не была идеально гладкой и поэтому оценку можно провести только на основании статистических расчетов достаточного объема выборки и только при сравнении с контрольными участками. В нашем случае было сделано по 45 измерений для каждой из пробных и контрольных площадок (со сдвигом светового эллипса каждый раз примерно на  $8-10^\circ$  по окружности). Направление вращения светового эллипса: по часовой стрелке или против часовой стрелки, в данном случае значения не имеет. В солнечную погоду оказалось возможным использовать для метода усиления теневого контраста зеркало, направляя луч от него под острым углом к изучаемым площадкам.

Оценка проводилась по 3-х балльной шкале, основанной на предположительных вариантах воздействия *Rusavskia elegans* на бетон (варианты А, Б, В):

- 1 – воздействие на субстрат негативное, происходит разрыхление и выпадение составляющих компонентов бетона, по сравнению с контролем формируется углубление (вариант В);
- 2 – воздействие отсутствует, поверхность после зачистки одинаковая как на исследуемой, так и на контрольной площадках (вариант А);
- 3 – воздействие положительное, под талломами субстрат более прочен, чем вне зоны произрастания лишайников и после зачистки отмечается выпуклость (вариант Б).

Для статистических расчетов использовали программу статистической обработки STADIA. Вычисляли стандартную описательную статистику (среднюю, ошибку средней, дисперсию, сумму значений, ошибку стандартного отклонения, доверительный интервал).

---

## Результаты и обсуждение

По результатам измерений методом усиления теневого контраста прочностные характеристики бетона ЛЭП, измеренные по 3-х балльной шкале под талломами *Rusavskia elegans* оказались несколько лучшими (среднее значение по всем пробным площадкам с талломами:  $2.08 \pm 0.194$ ), чем на контрольных, без талломов *Rusavskia elegans* (среднее по площадкам без талломов:  $1.90 \pm 0.183$ ). Результаты измерений приведены в Табл.1.

**Таблица 1.** Описательная статистика для *Rusavskia elegans* по отдельным площадкам. Вычисления описательной статистики прочностных характеристик бетона для пробных площадок с талломами (x1–x4) и контрольных площадок без талломов (x1k–x4k) (по Пчелкин, 2018)

**Table 1.** Descriptive statistics for *Rusavskia elegans* for individual plots. Calculation of descriptive statistics of concrete strength characteristics for test sites with thalli (x1–x4) and control sites without thalli (x1k–x4k) (according to Pchelkin, 2018)

№ п.п.	Среднее	Ошибка средней	Доверит. интервал средней	Дисперсия	Стандартн. отклонение	Ошибка стандартн. отклонения	Сумма
x1	2.11	0.0911	0.181	0.374	0.611	0.199	95
x1k	1.93	0.0921	0.183	0.382	0.618	0.201	87
x2	1.96	0.1000	0.200	0.453	0.673	0.219	88
x2k	1.89	0.0965	0.192	0.419	0.647	0.211	85
x3	2.16	0.0951	0.189	0.407	0.638	0.208	97
x3k	1.80	0.0932	0.185	0.391	0.625	0.204	81
x4	2.09	0.1050	0.208	0.492	0.701	0.229	94
x4k	1.98	0.0870	0.173	0.340	0.583	0.190	89

Для оценки достоверности воздействия использовался t-критерий Стьюдента с уровнем достоверности 95% и критерий Фишера, т.е. вычислялось, есть ли различия между выборочными средними и выборочными дисперсиями. Ниже приведены результаты вычислений.

### КРИТЕРИИ ФИШЕРА И СТЬЮДЕНТА.

Пробная площадка № 1

Переменные: x1, x1k (x1 - таллом, диаметр 35 мм, x1k- контроль)

Статистика Фишера=0.979; значимость=0.472, степень свободы = 44.44

**Гипотеза 0: <Нет различий между выборочными дисперсиями>**

Статистика Стьюдента=1.37; значимость=0.17; степень свободы = 88

**Гипотеза 0: <Нет различий между выборочными средними>**

Разность средних=0.178; доверительный интервал =0.022

Парный t-критерий Стьюдента  $x=1.48$ ; значимость = 0.142; степень свободы = 44

**Гипотеза 0: <Нет различий между выборочными средними>**

#### КРИТЕРИИ ФИШЕРА И СТЬЮДЕНТА.

Пробная площадка № 2

Переменные:  $x_2$ ,  $x_{2k}$  ( $x_2$  - таллом, диаметр 33 мм,  $x_{2k}$ - контроль)

Статистика Фишера=1.08; значимость=0.4, степень свободы = 44.44

**Гипотеза 0: <Нет различий между выборочными дисперсиями>**

Статистика Стьюдента=0.479; значимость=0.639, степень свободы = 88

**Гипотеза 0: <Нет различий между выборочными средними>**

Разность средних=0.0667; доверительный интервал =0.0889

Парный t-критерий Стьюдента =0.434; значимость=0.67; степень свободы = 44

**Гипотеза 0: <Нет различий между выборочными средними>**

#### КРИТЕРИИ ФИШЕРА И СТЬЮДЕНТА.

Пробная площадка № 3

Переменные:  $x_3$ ,  $x_{3k}$  ( $x_3$  - таллом, диаметр 35 мм,  $x_{3k}$ - контроль)

Статистика Фишера=1.04; значимость=0.447; степень свободы = 44.44

**Гипотеза 0: <Нет различий между выборочными дисперсиями>**

Статистика Стьюдента=2.67; значимость=0.00887; степень свободы = 88

**Гипотеза 1: <Есть различия между выборочными средними>**

Разность средних=0.356; доверительный интервал =0.00118

Парный t-критерий Стьюдента =2.63; значимость=0.0114; степень свободы = 44

**Гипотеза 1: <Есть различия между выборочными средними>**

#### КРИТЕРИИ ФИШЕРА И СТЬЮДЕНТА.

Пробная площадка № 4.

Переменные:  $x_4$ ,  $x_{4k}$  ( $x_4$  - таллом, диаметр 35 мм,  $x_{4k}$ - контроль)

Статистика Фишера=1.45; значимость=0.113; степень свободы = 44.44

**Гипотеза 0: <Нет различий между выборочными дисперсиями>**

Статистика Стьюдента=0.817; значимость=0.579; степень свободы = 88

**Гипотеза 0: <Нет различий между выборочными средними>**

Разность средних=0.111; доверительный интервал=0.0787

Парный t-критерий Стьюдента =0.725; значимость=0.521; степень свободы = 44

**Гипотеза 0: <Нет различий между выборочными средними>**

**Гипотеза 0: <Нет различий между выборочными средними>**

Следует отметить, что для статистических исследований были использованы одновозрастные талломы лишайника, а значит, на полученные результаты не влияет продолжительность контакта между талломами и субстратом. Округлая форма розеточных талломов позволила получить максимально идентичные параметры вытянутых световых эллипсов с разных ракурсов. Визуальный осмотр поверхности валунов стен Соловецкого монастыря также показал отсутствие выпадения зерен субстрата под талломами *Rusavskia elegans*.

---

## Выводы

Наличие эпилитного лишайникового покрова на старинных зданиях нужно воспринимать, как неизбежный атрибут, подчеркивающий древность историко-культурных ценностей.

Результаты проведенных измерений показали, что под талломами *Rusavskia elegans* субстрат (бетон) несколько более прочен, отмечены выпуклости, но на большинстве площадках нет достоверных различий для уровня значимости 95% между прочностными характеристиками субстрата на участках под талломами лишайников и на контрольных участках. Особый интерес представляет пробная площадка № 3, где зафиксирована достоверная разница между участком под талломом и контролем, т.е. отмечено положительное воздействие – бетон под талломом лишайника оказался достоверно более прочным ( $2.16 \pm 0.189$ ), чем на контрольном участке ( $1.8 \pm 0.185$ ).

Основываясь на результатах измерений, проведенных методом усиления теневого контраста на бетоне, материале гораздо менее прочном, чем гранит, можно сказать, что талломы *Rusavskia elegans* не оказывают деструктивного воздействия на гранитные валуны, из которых сложены стены Соловецкого монастыря, а удаление этого вида лишайника только нанесет вред скальной поверхности, и из-за механического повреждения субстрата, и из-за изменения в его цветовой палитре, исторически сложившейся в результате развития на поверхности камней лишенобиоты.

Метод усиления теневого контраста применительно к объектам культурного и природного наследия является в наибольшей степени экологичным, неразрушающим и дешевым по сравнению со стандартными методами оценки воздействия эпилитных видов лишайников на скальный субстрат, такими как склерометрия, метод микроскопии тонких шлифов, ультразвуковое зондирование. Ограничением метода усиления теневого контраста является то, что он хорошо работает на ровных поверхностях.

## Благодарности

Автор приносит искреннюю благодарность Юрию Александровичу Веденину, благодаря дипломатическим способностям которого состоялась поездка группы экспертов для изучения последствий работы реставраторов на территории Соловецкого монастыря.

*Сравнение методик выполнено в рамках государственного задания Института географии РАН АААА-А19-119021990093-8 (FMGE-2019-0007).*

## Список литературы

Аверьянова, Т.В., Белкин, Р.С., Корухов, Ю.Г., Российская, Е.Р. (2001) *Криминалистика*, Учебник для вузов, под ред. заслуженного деятеля науки Российской Федерации, профессора Р.С. Белкина, М., Издательство НОРМА, Издательская группа НОРМА-ИНФРА • М, 990 с.

---

Галанин, А.А., Пахомов, А.Ю. (2010) Использование склерометра «Оникс 2.6.2» для датирования Мандычанского позднеледникового комплекса (хр. Черского), *Геоморфология*, № 1, с. 16-25.

Дмитриева, М.Б., Калашникова, К.А., Пчелкин, А.В., Сони́на, А.В., Черенкова, Н.Н. (2018) Лихенобиота на поверхности валунно-кирпичной кладки стен Соловецкого монастыря: благо или зло, в сборнике *Материалы Всероссийской конференции с международным участием "Микология и альгология России. XX - XXI век: смена парадигм"*, 17-19 ноября 2018, Изд-во "Перо" Москва, с. 152-153.

Пчелкин, А.В. (2018) *Rusavskia elegans* (Link.) S. Kondr. & Kärnefelt на стенах Соловецкого монастыря: биоповреждение или биозащита? *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический*, т. 123, № 6, с. 41-47.

Пчелкин, А.В., Сони́на, А.В. (2018) Изучение воздействия эпилитного лишайника *Rusavskia elegans* (Link.) S. Kondr. & Kärnefelt на стены Соловецкого монастыря, *Историко-культурное и духовное наследие Соловков. Сборник докладов научной конференции (Соловки, 10-14 сентября 2018 г.)*, Соловецкий государственный историко-архитектурный и природный музей-заповедник Соловки, с. 245-248.

Севостьянов, А.В., Горохов, С.И., Варфоломеев, Ф.А., Филимошкина, К.В. (2021) Определение прочности бетона склерометром ОМШ-1Э, *Достижения вузовской науки 2021, сборник статей XIX Международного научно-исследовательского конкурса*, Пенза, с. 62-64.

Толпышева, Т.Ю., Ребрикова, Н.А. (1997) Лишайники, наскальные рисунки и загрязнение воздуха, *Вестник Московского университета, серия 16: Биология*, № 4, с. 42-44.

Ariño, X., Ortega-Calvo, J. J., Gomez-Bolea, A., Saiz-Jimenez, C. (1995) Lichen colonization of the Roman pavement at Baelo Claudia (Cadiz, Spain): biodeterioration vs. bioprotection, *Sci. Total Environ*, no. 67, pp. 353-363.

Ascaso, C., Sancho, L.G., Rodriguez-Pascual, C. (1990) The weathering action of saxicolous lichens in maritime Antarctica, *Polar Biology*, no. 11, pp. 33 -39.

Bakkevig, S. (2004) Rock Art Preservation: Improved and Ecology-based Methods can give Weathered Sites Prolonged Life, *Norwegian Archaeological Review*, vol. 37, no. 2, pp. 65-81.

Cooks, J., Otto, E. (1990) The weathering effects of the Lichen *Lecidea aff. Sarcogynoides* Koerb. on Magaliesberg Quartzite, *Earth Surf. Processes Landforms*, no. 15, pp. 491-500.

Drewello, R., Drewello, U.G. (2000) Flechten auf Denkmälern: Indikatoren und Vermittler zwischen Denkmal- und Naturschutz, *Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Bd. 36 "Ökologische Rolle der Flechten"*, pp. 161-180.

---

Faradjev, A.A., Pchelkin, A.V. (2009) Conservation and rock art site protection: man-made and natural distraction of Karelian engravings, *L'Art parietal conservation mise en valeur communication*, SAMRA, France, pp. 181-184.

Hoppert, M., Flies, C., Pohl, W., Günzl, B., Schneider, J. (2004) Colonization strategies of lithobiontic microorganisms on carbonate rocks, *Environ. Geol.*, no. 46, issue 3-4, pp. 421-428.

Piervittori, R., Salvadori, O., Isocrono, D. (2004) Literature on lichens and biodeterioration of stonework, IV\*, *The Lichenologist*, vol. 36(2), pp. 145-157.

Pinna, D. (2014) Biofilms and lichens on stone monuments: do they damage or protect? *Frontiers in Microbiology. Microbiotechnology, Ecotoxicology and Bioremediation*, April 2014, vol. 5, Article 133, pp. 1-3.

Richardson, D.H.S. 1975. *The vanishing lichens: their history, biology and importance*, Newton Abbot: David and Charles, 231 p.

Walderhaug, O., Walderhaug, E.M. (1998) Weathering of Norwegian rock art – a critical review, *Norwegian Archaeological Review*, vol. 31, no. 2, pp. 119-139.

Watt, D. (2006) Managing biological growth on buildings, *Historic Churches. The Building Conservation Directory: Special Report magazine*, no. 13, p. 36-38, accessed November, 2007.

Wendler, E., Prasartet, C. (1999) Lichen growth on old Khmer-style sandstone monuments in Thailand: damage factor of shelter? *Proceedings of the 12th Triennial Meeting of the ICOM Committee for Conservation*, vol. 2 (Lyon), pp. 750-754.

Wierchos, J., Ascaso, C. (1998) Mineralogical transformation of bioweathering granitic biotite, studied by HRTEM: evidence for a new pathway in lichen activity, *Clays and Clay Minerals*, vol. 46, no. 4, pp. 446-452.

Wessels, D.C.J., Schoeman, B. (1988) Mechanism and rate of weathering of Clarens sandstone by an endolithic lichen, *S. Afr. J. Sci.*, no. 84, pp. 274-277.

## References

Aver'yanova, T.V., Belkin, R.S., Korukhov, Yu.G., Rossiyskaya, Ye.R. (2001) *Kriminalistika* [Criminalistics], Uchebnik dlya vuzov [Textbook for universities], in R.S. Belkin (ed.), NORMA Publishing House, NORMA-INFRA Publishing Group • M, Moscow, Russia, 990 p.

Galanin, A.A., Pakhomov, A.Yu. (2010) Ispol'zovaniye sklerometra «Oniks 2.6.2» dlya datirovaniya Mandychanskogo pozdnelednikovogo kompleksa (khr. Cherskogo) [Use of the Onyx 2.6.2 sclerometer for dating the Mandychan Late Glacial Complex (Chersky Ridge)], *Geomorfologiya*, no. 1, pp. 16-25.

Dmitriyeva, M.B., Kalashnikova, K.A., Pchelkin, A.V., Sonina, A.V., Cherenkova, N.N. (2018) Likhenobiota na poverkhnosti valunno-kirpichnoy kladki sten Solovetskogo monastyrya: blago ili zlo [Lichenobiota on the surface of the

---

boulder-brick masonry of the walls of the Solovetsky Monastery: good or evil], *Materialy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem "Mikologiya i al'gologiya Rossii. XX-XXI vek: smena paradigm", 17-19 noyabrya 2018* [In the collection Proceedings of the All-Russian Conference with international participation "Mycology and algology in Russia. XX-XXI century: a paradigm shift", November 17-19, 2018], Izd-vo "Pero", Moscow, Russia, pp. 152-153.

Pchelkin, A.V. (2018) *Rusavskia elegans* (Link.) S. Kondr. & Kärnefelt na stenakh Solovetskogo monastyrya: biopovrezhdeniye ili biozashchita? [*Rusavskia elegans* (Link.) S. Kondr. & Kärnefelt on the walls of the Solovetsky Monastery: biodamage or biosecurity?] *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologicheskoy*, vol. 123, no. 6, pp. 41-47.

Pchelkin, A.V., Sonina, A.V. (2018) Izucheniye vozdeystviya epilitnogo lishaynika *Rusavskia elegans* (Link.) S. Kondr. & Kärnefelt na steny Solovetskogo monastyrya [Study of the impact of the epilithic lichen *Rusavskia elegans* (Link.) S. Kondr. & Kärnefelt on the walls of the Solovetsky Monastery], *Istoriko-kul'turnoye i dukhovnoye naslediye Solovkov. Sbornik dokladov nauchnoy konferentsii (Solovki, 10-14 sentyabrya 2018 g.)* [Historical, cultural and spiritual heritage of Solovki. Collection of reports of a scientific conference (Solovki, September 10-14, 2018)], Solovetskiy gosudarstvennyy istoriko-arkhitekturnyy i prirodnyy muzey-zapovednik Solovki, Russia, pp. 245-248.

Sevost'yanov, A.V., Gorokhov, S.I., Varfolomeyev, F.A., Filimoshkina, K.V. (2021) Opredeleniye prochnosti betona sklerometrom OMSH-1E [Determination of the strength of concrete with an OMSH-1E sclerometer], *Dostizheniya vuzovskoy nauki 2021, Sbornik statey XIX Mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa* [Achievements of university science 2021, Collection of articles of the XIX International Research Competition], Penza, Russia, pp. 62-64.

Tolpysheva, T.Yu., Rebrikova, N.A. (1997) Lishayniki, naskal'nyye risunki i zagryazneniye vozdukha [Lichens, rock paintings and air pollution], *Vestnik Moskovskogo universiteta, Seriya 16: Biologiya*, no. 4, pp. 42-44.

Ariño, X., Ortega-Calvo, J. J., Gomez-Bolea, A., Saiz-Jimenez, C. (1995) Lichen colonization of the Roman pavement at Baelo Claudia (Cadiz, Spain): biodeterioration vs. bioprotection, *Sci. Total Environ*, no. 67, pp. 353-363.

Ascaso, C., Sancho, L.G., Rodriguez-Pascual, C. (1990) The weathering action of saxicolous lichens in maritime Antarctica, *Polar Biology*, no. 11, pp. 33 -39.

Bakkevig, S. (2004) Rock Art Preservation: Improved and Ecology-based Methods can give Weathered Sites Prolonged Life, *Norwegian Archaeological Review*, vol. 37, no. 2, pp. 65-81.

Cooks, J., Otto, E. (1990) The weathering effects of the Lichen *Lecidea aff. Sarcogynoides* Koerb. on Magaliesberg Quartzite, *Earth Surf. Processes Landforms*, no. 15, pp. 491-500.

Drewello, R., Drewello, U.G. (2000) Flechten auf Denkmälern: Indikatoren und Vermittler zwischen Denkmal- und Naturschutz, *Rundgespräche der Kommission*

---

*für Ökologie, Bd. 36 "Ökologische Rolle der Flechten"*, pp. 161-180.

Faradjev, A.A., Pchelkin, A.V. (2009) Conservation and rock art site protection: man-made and natural distraction of Karelian engravings, *L'Art parietal conservation mise en valeur communication*, SAMRA, France, pp. 181-184.

Hoppert, M., Flies, C., Pohl, W., Günzl, B., Schneider, J. (2004) Colonization strategies of lithobiontic microorganisms on carbonate rocks, *Environ. Geol.*, no. 46, issue 3-4, pp. 421-428.

Piervittori, R., Salvadori, O., Isocrono, D. (2004) Literature on lichens and biodeterioration of stonework, IV\*, *The Lichenologist*, vol. 36(2), pp. 145-157.

Pinna, D. (2014) Biofilms and lichens on stone monuments: do they damage or protect? *Frontiers in Microbiology. Microbiotechnology, Ecotoxicology and Bioremediation*, April 2014, vol. 5, Article 133, pp. 1-3.

Richardson, D.H.S. 1975. *The vanishing lichens: their history, biology and importance*, Newton Abbot: David and Charles, 231 p.

Walderhaug, O., Walderhaug, E.M. (1998) Weathering of Norwegian rock art – a critical review, *Norwegian Archaeological Review*, vol. 31, no. 2, pp. 119-139.

Watt, D. (2006) Managing biological growth on buildings, *Historic Churches. The Building Conservation Directory: Special Report magazine*, no. 13, p. 36-38, accessed November, 2007.

Wendler, E., Prasartet, C. (1999) Lichen growth on old Khmer-style sandstone monuments in Thailand: damage factor of shelter? *Proceedings of the 12th Triennial Meeting of the ICOM Committee for Conservation*, vol. 2 (Lyon), pp. 750-754.

Wierzchos, J., Ascaso, C. (1998) Mineralogical transformation of bioweathering granitic biotite, studied by HRTEM: evidence for a new pathway in lichen activity, *Clays and Clay Minerals*, vol. 46, no. 4, pp. 446-452.

Wessels, D.C.J., Schoeman, B. (1988) Mechanism and rate of weathering of Clarens sandstone by an endolithic lichen, *S. Afr. J. Sci.*, no. 84, pp. 274-277.

*Поступила в редакцию (Received): 12.01.2022;*

*Доработана после рецензирования (Revised): 08.04.2022;*

*Принята к публикации (Accepted): 10.04.2022.*

#### **Для цитирования / For citation:**

Пчелкин, А.В. (2022) Метод усиления теневого контраста для оценки воздействия на субстрат эпилитных лишайников, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXIII, № 1-2, с. 90-107, doi: 10.21513/0207-2564-2022-1-2-90-107.

Pchelkin, A.V. (2021) Shadow contrast enhancement method for assessing the effect of epilithic lichens on the substrate, *Environmental Monitoring and Ecosystem Modelling*, vol. XXIII, no. 1-2, pp. 90-107, doi: 10.21513/0207-2564-2022-1-2-90-107.

---