

УДК 666.973.2:666.972.1

МИКРОСТРУКТУРА КАК ОСНОВНОЙ КРИТЕРИЙ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МХА СФАГНУМА В КАЧЕСТВЕ ЗАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПЛИТНОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

*канд. техн. наук, доц. А.А. БАКАТОВИЧ
(Полоцкий государственный университет)*

Рассмотрены области применения сфагнума в хозяйственной деятельности человека, включая технологию сбора и сушки мха. С помощью световой микроскопии изучено внутреннее строение, определены размеры паренхимных и гиалиновых клеток листа и стебля сфагнума. Ячеистая структура стебля мха с размерами клеточных оболочек 6...45×50...80 мкм при толщине межклеточных перегородок 0,5...1,5 мкм по своим параметрам превосходит микроструктуру пенополистирола. Проведенная сканирующая томография образцов позволила оценить внешние размеры и поверхность стебля мха. Полученные данные по ячеистой микроструктуре и внешним характеристикам обеспечивают возможность применения мха как природного заполнителя для изготовления эффективного теплоизоляционного материала, обладающего бактерицидными свойствами, являющегося безопасным для окружающей среды и здоровья человека.

Ключевые слова: сфагнум, микроскопия, микроструктура, клетки, стебель, ячеистая структура, заполнитель, эффективный теплоизоляционный материал.

Введение. Сфагнум – наиболее известный представитель среди мхов. Особенно широко род мхов представлен в умеренных широтах Северного полушария, где произрастает на больших площадях верховых болот [1]. Мох сфагнум применяется в различных отраслях жизнедеятельности человека: строительстве, медицине, пчеловодстве, садоводстве, флористике, в оценке экологической обстановки.

Дезинфицирующие и противогрибковые свойства сфагнума обусловлены веществами, входящими в состав мха [2]. Современная медицина приходит к выводу, что сфагнум является более эффективным средством, чем, например, хлопковая вата, и поэтому возобновляется производство сфагново-марлевых тампонов [3]. Основными действующими веществами растений рода сфагнум являются фенольные соединения (преимущественно фенолкарбоновые кислоты) и полисахариды. В 90-х годах прошлого столетия разработан ряд средств на основе сфагновых мхов, применяемых в хирургической стоматологии и женской гигиене. Использование сфагнума в данных средствах основано на его высокой гигроскопичности, наличии бактерицидных свойств, а также легкости утилизации после использования [4].

Мох сфагнум также нашел свое применение в пчеловодстве. Из прессованного сухого сфагнума делают утеплитель для ульев, чтобы сохранить пчел от замерзания зимой. Также мох поддерживает постоянный уровень влажности внутри улья. Уложенный в основании улья мох забирает излишки влаги, при этом дополнительно дезинфицирует пространство, предотвращая тем самым различные заболевания у пчел. При повышенной сухости воздуха мох начинает отдавать влагу, что позволяет меду в сотах не засахариться.

Устройство покрытий из мха в дизайнерских решениях по декоративной отделке стен выступает как новое направление [5]. Зелёные граффити малозатратны, не требуют согласования, легко переносят теплый сезон и выживают при низких температурах зимой.

Метод мхов-биомониторов регулярно используется в течение последних 30 лет в скандинавских странах для мониторинга атмосферных выпадений тяжелых металлов на обширных территориях, а в последнее время данная технология нашла широкое применение в странах Западной Европы [6].

Сфагновые мхи широко используются при проведении экологических исследований в качестве тест-объектов, чутко реагирующих на антропогенные воздействия, изменяя свои характеристики или аккумулируя поступающие из окружающей среды элементы. При этом концентрация веществ во мхах значительно выше, чем в травянистой растительности [3].

Ввиду своей малой теплопроводности мох сфагнум применяется в качестве изоляционного материала при утеплении венцов деревянных домов. Строители, разбирая старые деревянные дома, отмечают отличное состояние древесины в тех местах, где находился мох. Сохранность древесины обусловлена полезными бактерицидными свойствами сфагнума, содержащего сфагнол – вещество, препятствующее развитию гнилостных процессов. Для утепления венцов бань и саун мох сфагнум отлично подходит, так как растение способно выдерживать перепады температур, влагу и конденсат [7]. Однако строительная промышленность до настоящего времени не может предложить теплоизоляционный материал на основе сфагнума в виде плит, что позволило бы применять мох не только в бревенчатом строительстве.

К свойствам мха сфагнума можно отнести: экологичность, лечебные (бактерицидные) свойства, долговечность, выдерживание перепадов температур, неподверженность гниению, низкую теплопроводность, сохранение тепла, гигроскопичность. Учитывая данный комплекс положительных качеств, использование мха для плитного теплоизоляционного материала представляется весьма перспективным. На сегодняшний день ниша теплоизоляционных материалов, обладающих бактерицидными свойствами, не занята, а реальная потребность в таком утеплителе существует, особенно для зданий с повышенными требованиями к микроклимату помещений.

Повышение экологической культуры потребителей вынуждает строителей быть в поиске новых технологий и предлагать заказчику теплоизоляционные материалы, обеспечивающие экологическую безопасность зданий. Разработка на основе мха экологически чистого утеплителя с бактерицидными свойствами в виде плит позволит удовлетворить растущий спрос на такой материал.

Технология сбора и сушки мха. При сборе мха следует придерживаться нескольких простых правил, позволяющих растениям быстрее возобновляться. Заготовка сфагнума производится в основном вручную на максимально чистых от других растений участках. Сбор мха осуществляется выборочно, полосами шириной 20...30 см и с такими же промежутками между ними, оставляемыми нетронутыми, что позволяет мху постепенно восстановиться на участках сбора. Повторная заготовка на таком участке возможна через 7...10 лет [8]. Заготовку проводят с мая по сентябрь в сухую солнечную погоду. Мох сфагнум собирают и укладывают пучками.

Сушка мха является важным процессом для его дальнейшего использования, так как неправильная обработка сырого материала может привести к утрате положительных свойств. Наиболее подходящий способ сушки сырья – использование вешал [9]. Вешала представляют собой каркас из досок и бруса. Между сколоченными опорами натягивают сетку. Раскладывают мох буртом, толщина слоя в верхней точке бурта первого яруса не должна превышать 30...35 см, на втором ярусе толщина слоя уложенного мха должна быть не более 20...25 см. Расстояние между ярусами составляет 30...40 см. Такое устройство стеллажа обеспечит качественную просушку мха за счет протока воздуха между слоями. Мох, уложенный на них, хорошо продувается, сохраняя свою эластичность. Вешала располагают под навесом, закрывая мох от дождя, тумана и солнца.

Учитывая опыт применения мха для утепления зазоров между венцами в срубках, задача получения высокоэффективного теплоизоляционного материала на основе мха может иметь успешную реализацию. С целью получения мха с необходимыми свойствами и возможностью дальнейшего использования необходимо придерживаться определенных технологических правил в процессе сушки и хранения.

Основное требование при сборе и сушке мха – сохранение структуры материала, что является важным условием для производства на основе сфагнума жесткого плитного утеплителя.

Методики исследований. Микроскопический анализ структуры мха выполняли с использованием бинокулярного биологического микроскопа «Crocus 5MP MCX100». Принцип работы оптического микроскопа заключается в преломлении света в момент его прохождения через стекло. Свет отражается от зеркальной поверхности, проходит через рассматриваемый объект и попадает в объектив. Пучок световых лучей, попадающий в микроскоп, вначале преобразуется в параллельный поток, затем преломляется в окуляре. Далее информация об объекте исследования поступает в зрительный анализатор человека.

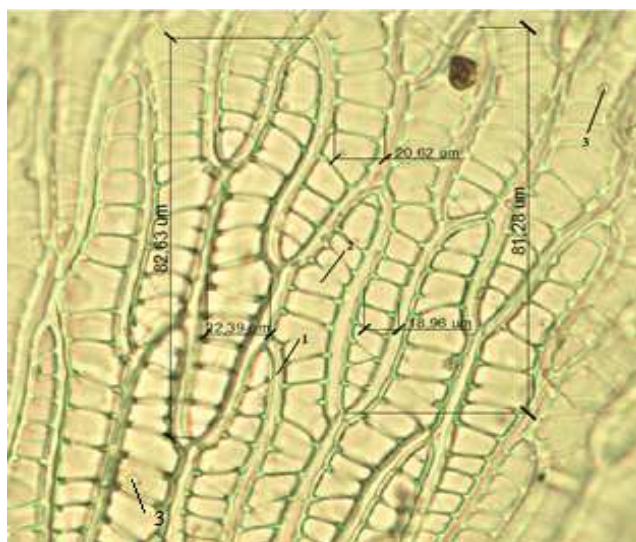
На стадии подготовки проб образцы мха (лист, продольный срез стебля шириной 0,5 мм, поперечный срез стебля диаметром 0,2 мм) помещали на прозрачное силикатное предметное стекло размером 26×76 мм. Исследуемый объект при помощи пипетки увлажняли дистиллированной водой и накрывали покрывным стеклом размером 18×18 мм. Затем пробу помещали на предметный столик.

При исследовании структуры высушенного мха сфагнума применяли рентгеновский томограф «SkyScan1174v2» (рисунок 1).



Рисунок 1. – Внешний вид томографа «SkyScan1174v2»

Изучение микроструктуры листа мха сфагнома. С целью установления структурных параметров, обуславливающих теплоизоляционные свойства мха, проведена световая микроскопия листьев мха. В результате получены изображения микроструктуры листа (рисунок 2), позволяющие определить два вида четко различимых клеток. К первым относятся узкие хлорофиллоносные ассимилирующие клетки, соединенные концами и образующие сетчатую структуру. В хлорофиллоносных клетках происходит фотосинтез, а по всей клеточной структуре осуществляется движение органических веществ. Ко второму виду клеток относятся широкие мертвые гиалиновые водоносные клетки со спиральными утолщениями, располагающимися между живыми. Мертвые клетки представляют собой замкнутые пустотелые оболочки-капилляры, длиной от 60 до 90 мкм и шириной 15...25 мкм. При этом толщина листа мха соответствует одному слою клеток. Множественное наличие пустотелых оболочек в микроструктуре сфагнома обуславливает теплоизоляционные свойства листьев мха. Также мертвые клетки, имеющие отверстия-поры, втягивают и конденсируют пары воды из окружающего воздуха. По принципу капиллярности вода активно засасывается из влажной атмосферы внутрь клетки и прочно удерживается там благодаря гигроскопическим свойствам гиалина. Таким образом, мох сфагнум может впитать в себя объем воды, в 20 раз превышающий по массе собственный. Данное свойство мха впитывать в себя воду из влажного воздуха и отдавать при необходимости способствует поддержанию благоприятного влажностного режима в помещениях. Водоносные клетки мха сфагнома занимают около 65% площади поверхности листа.

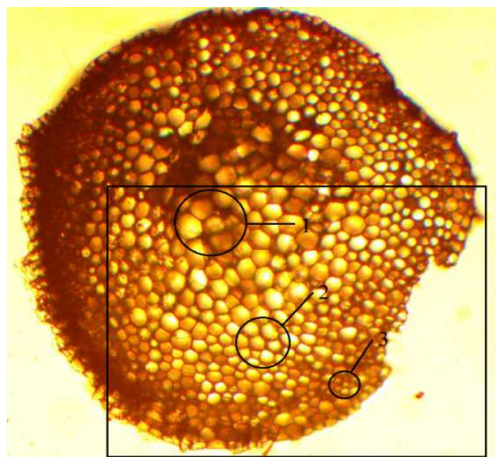


1 – живые хлорофиллоносные клетки; 2 – гиалиновые клетки со спиральными утолщениями оболочки; 3 – поры в гиалиновых клетках

Рисунок 2. – Микроструктура листа мха сфагнома

В процессе исследования получены изображения (рисунки 3–6) поперечных и продольных срезов стебля мха. Используя метод светлого поля, оптическая микроскопия в прозрачном свете позволила установить, что в поперечном сечении стебля мха присутствуют три области, формирующие ячеистую структуру (рисунок 3). Поперечный разрез стебля напоминает по строению пчелиные соты гексагональной и неопределенной формы. В центре сечения находится сердцевина из паренхимных клеток (рисунок 4) размером 20...45 мкм, выполняющих проводящую и запасную функции. Сердцевина окружена основным слоем из мертвых пустотелых гиалиновых клеток размером в поперечном сечении 10...20 мкм, образующих капилляры. Гиалиновые и паренхимные клетки соединены между собой тонкостенными перегородками толщиной менее 0,5 мкм. Внешняя область (наружная кора) также представлена гиалиновыми клетками. Данные клетки отличаются меньшим диаметром в поперечном сечении, равным 6...10 мкм и утолщенными перегородками от 0,5 до 1,5 мкм. Таким образом, в области внешнего слоя образуется наиболее жесткая и прочная ячеисто-капиллярная структура.

В процессе микроскопических исследований продольного среза стебля мха сфагнома (рисунки 5, 6) отмечено, что структура формируется из сосудов-капилляров, имеющих тонкие поперечные перегородки по длине. Каждый капилляр состоит из последовательно расположенных клеток-членников в виде цилиндрической ячейки. Перегородки между паренхимными клетками в сердцевине расположены на расстоянии 60...80 мкм (рисунок 6). Гиалиновые клетки имеют меньшую длину, равную 50...65 мкм. Следует отметить, что толщина поперечных стенок увеличивается от тонких в центре размером менее 0,5 мкм (паренхимные клетки) к более толстым от 1 до 1,5 мкм во внешней области (гиалиновые клетки).



1 – паренхимные клетки, сердцевина;
2 – гиалиновые, водососные клетки; 3 – наружная кора
Рисунок 3. – Поперечный срез стебля мха сфагнума,
увеличение 10 крат

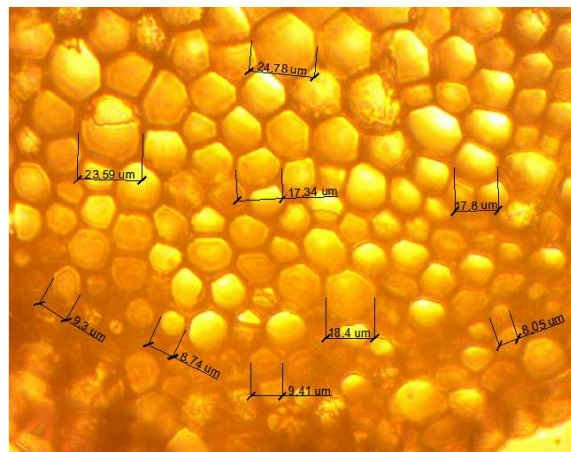


Рисунок 4. – Поперечный срез
стебля мха сфагнума, увеличение 40 крат

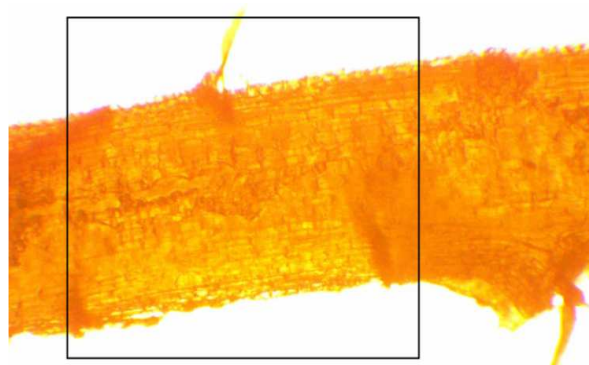


Рисунок 5. – Продольный срез
стебля мха сфагнума, увеличение 5 крат

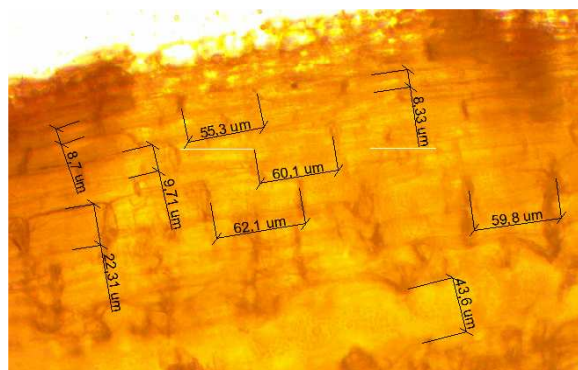


Рисунок 6. – Продольный срез
стебля мха сфагнума, увеличение 40 крат

Структура сухого мха сфагнума изучалась при помощи рентгеновского томографа «SkyScan1174v2». Результат в виде 3D-скана стебля мха диаметром 0,7...0,9 мм при длине 12 мм представлен на рисунке 7.

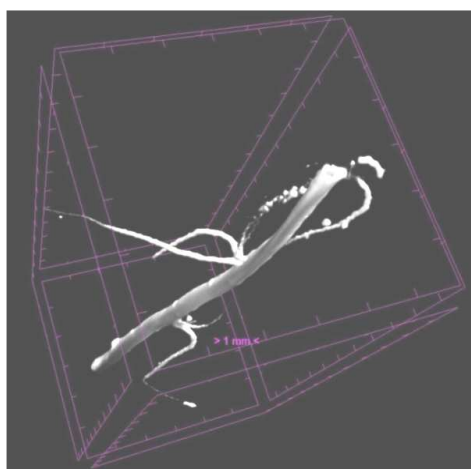


Рисунок 7. – 3D-изображение скана стебля мха сфагнума

На полученном изображении четко видно, что сухой стебель сфагнума полый внутри и по форме имеет вид пустотелого цилиндра – трубки. Полученное строение стебля мха объясняется тем, что плотность структуры мха сфагнума изменяется от центра поперечного сечения и увеличивается при прибли-

жении к внешней границе. Уменьшение объема клеток и утолщение перегородок создают более плотную структуру во внешней области. В сухом состоянии строение области паренхимных клеток представляет собой пространственную структуру из тончайших прозрачных перегородок. По этой причине томограф определяет внутреннюю центральную область как пустоту, а строение стебля в целом в виде трубки. Выполненная томография образца позволила получить наглядное пространственное изображение фрагмента стебля мха с возможностью оценить его форму и внешние размеры.

Заключение. Применение *световой микроскопии и рентгеновской томографии* позволили в полном объеме оценить микроструктуру мха и определить морфометрические параметры. По результатам исследований установлено, что тонкостенные оболочки, остающиеся после клеток, как в листьях, так и в стеблях, формируют ячеистую микроструктуру сухого мха, обеспечивающую высокие теплоизоляционные свойства мха сфагнома. Полученные данные *оптической микроскопии* мха сфагнома указывают на наличие ячеистой структуры с размером ячеек листа 9...20×60...90 мкм и ствола мха 6...45×50...80 мкм при толщине перегородок 0,5...1,5 мкм, по своим параметрам превосходящую микроструктуру полимерных ячеистых утеплителей. Таким образом, можно предположить, что по своим теплоизоляционным свойствам утеплители на основе мха сфагнома не будут уступать пенополистиролу. Использование мха для утеплителя позволит получить экологически безопасный эффективный жесткий плитный теплоизоляционный материал, обладающий бактерицидными свойствами, регулирующий влажностный режим в помещениях. Для обеспечения экологической чистоты теплоизоляционного материала в целом необходимо использовать безопасное связующее. Таким вяжущим компонентом может выступать натриевое жидкое стекло, дополнительно обеспечивающее негорючесть утеплителя в случае возникновения пожара в здании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зверев, А.А. Оценка условий местообитания сфагновых мхов Западно-Сибирской равнины по ведущим экологическим факторам / А.А. Зверев, Л.Г. Бабешина // Вестн. Томск. гос. ун-та, 2009.
2. Интернет портал [Электронный ресурс] / Отдел моховидные. Общая характеристика и значение. – Режим доступа: <http://blyu.ru/biology6/moss>. – Дата доступа: 16.05.2016.
3. Емельянова, А.П. Выявление природно-климатических факторов, влияющих на содержание химических элементов в сфагновых мхах / А.П. Емельянова, Е.А. Шмелина, С.В. Алексеенко. – Томск : Томск. политехн. ун-т, 2012. – 98 с.
4. Подтероб, А.П. История применения растений рода *Sphagnum* в медицине / А.П. Подтероб, Е.В. Зубец. – Минск : Белорус. гос. ун-т, 2002. – 28 с.
5. Чернолуцкая, М.В. Использование мха в ландшафтном дизайне / М.В. Чернолуцкая. – Новочеркасск : Новочеркасская гос. мелиоративная акад., 2011.
6. Винокурова Е.П. Сравнение аккумуляционной способности различных видов мхов / Е.П. Винокурова, Н.С. Рогова. – Томск : Томск. политехн. ун-т, 2013. – 19 с.
7. Интернет портал [Электронный ресурс] / Мох сфагнум: применение в строительстве. – Режим доступа: <http://dom.ukrbio.com/ru/articles/5654/>. – Дата доступа: 17.05.2016.
8. Интернет портал [Электронный ресурс] / Мох сфагнум. Свойства, заготовка, применение.
9. Интернет портал [Электронный ресурс] / Как собирать и сушить мох. – Режим доступа: <http://www.builderclub.com/vopros-otvet/588/kak-sobirat-i-sushit-moh>. – Дата доступа: 16.05.2016.

Поступила 08.06.2017

MICROSTRUCTURE AS A BASIC CRITERION DETERMINING THE USE OF SPHAGNUM MOSS AS A FILLER FOR EFFECTIVE PLATE THERMAL INSULATING MATERIAL

A. BAKATOVICH

The variants of using sphagnum in human economic activities are considered, including the technology of collecting and drying moss. The internal structure was studied with the help of light microscopy, the sizes of the parenchymal and hyaline cells of the leaf and the sphagnum stem were determined. The cellular structure of the moss stalk, with the dimensions of the cell membranes 6...45×50...80 μm at the thickness of the intercellular partitions 0.5...1.5 μm, exceeds the microstructure of expanded polystyrene by its parameters. The scanning tomography of the samples made it possible to estimate the external dimensions and surface of the moss stalk. The obtained data on the cellular microstructure and external characteristics provide the possibility of using moss as a natural aggregate for the manufacture of an effective heat-insulating material with bactericidal properties that is safe for the environment and human health.

Keywords: sphagnum, microscopy, microstructure, cells, stem, cellular structure, aggregate, effective thermal insulating material.