

**Е.И. Иванова, В.И. Иванов-Омский, И.А. Давыдова,
Е.В. Гриненко, Л.Л. Леонтьев, А.В. Селиховкин**

**ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ВОДОРОДНЫХ СВЯЗЕЙ
В ДРЕВЕСИНЕ ВЯЗА В СВЯЗИ С ПОВРЕЖДЕНИЕМ
СТРУЙЧАТЫМ ЗАБОЛОННИКОМ *SCOLYTUS MULTISTRIATUS*
(MARSHAM) (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE, SCOLYTINAE)**

Введение. Водородная связь (Н-связь) играет очень большую роль в обеспечении стабильности структуры биологических систем и биологических процессов на тканевом уровне. Н-связь характеризуется энергиями 10–20 кДж/моль. Энергия ковалентной связи намного больше. Вследствие этого Н-связь может разрушаться и восстанавливаться под воздействием энергии теплового движения молекул при температурах, характерных для поверхности Земли. Именно это свойство водородной связи обеспечивает ее ключевые функции живого. Водородная связь обеспечивает необходимые гибкость и устойчивость биологических систем, являясь, таким образом, важнейшим элементом живых организмов. По этой причине развитие методов диагностики Н-связей, в частности, методами инфракрасной спектроскопии (ИК-спектроскопия), является важной и актуальной задачей современной биофизики [Иванова и др., 2016]. Одним из направлений этих исследований является изучение изменений структуры древесины под воздействием различных факторов.

ИК-спектроскопия достаточно широко используется в исследовании молекулярной структуры растений, но ее применение традиционно ограничивается измельчением образцов в порошок для последующей их запрессовки в прозрачную в ИК-области спектра среду, например KBr-матрицу. Эта процедура способна оказать влияние на молекулярную структуру образца [Шаннигер, 2004]. Однако, как будет показано далее, средствами ИК-спектроскопии возможно определение энергий Н-связей и их концентраций. Спектроскопия древесины не дает возможности прямым образом дискриминировать гидроксильные группы по принадлежности к определенным химическим компонентам древесины, однако опираясь на величины длин и энергий Н-связей, известных для водородных связей в целлюлозе, лигнине и других компонентах древесины, можно косвенно судить о природе гидроксильных групп.

Основную проблему для оптической спектроскопии образцов древесины представляет их волокнистая структура, которая приводит к увеличению рассеяния излучения. В связи с этим самостоятельный интерес представляет оценка возможности выделения долей рассеянного и поглощенного излучений в реальных образцах древесины. Пористая структура древесины затрудняет исследование оптических свойств древесины, но преодоление этих трудностей дает уникальную возможность взглянуть на многие известные характеристики древесины через призму Н-связей и, в частности, исследовать Н-связи в структуре древесины *insitu* как основы «крепеза» древесного материала. Такие исследования были проведены в отношении древесины и целлюлозы [Иванов-Омский и др., 2017; Иванова и др., 2016]. Особенный интерес представляет решение задачи об изменении прочности и иных свойств древесины при отмирании дерева, а также при его повреждении биологическими агентами. При заселении деревьев стволовыми вредителями, повреждающими луб, в частности, жуками короедами, происходит повреждение сосудов флоэмы и поверхностных слоёв заболони. По этим сосудам осуществляется транспорт продуктов фотосинтеза к частям растения, где происходит их использование. Нарушение этой транспортной системы ходами короедов уже в течение текущего вегетационного сезона, когда заселились короеды, как правило, фатально для древесных растений. Ответ на вопрос о том, как такая ситуация скажется на структуре водородных связей, а значит, и на прочности и скорости дальнейшего разрушения древесины, позволит подойти к пониманию характера изменения водородных связей при ухудшении санитарного состояния деревьев. В связи с этим, в данном исследовании была поставлена задача – изучить влияние повреждений короедов на структуру водородных связей древесины.

Методика исследования. В качестве объекта исследования выбран вяз шершавый *Ulmus glabra* Huds, на котором заселился струйчатый заболонник *Scolytus multistriatus* (Marshall) (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae). Выбор обусловлен высокой активностью этих вредителей в Санкт-Петербурге. Струйчатый заболонник и некоторые другие виды этого рода являются вектором распространения голландской болезни ильмовых, которую вызывают офиостомовые грибы. Зараженные деревья успешно заселяются заболонниками и быстро погибают. В результате такой совместной деятельности заболонников и грибов в последние два десятилетия в Санкт-Петербурге погибло большинство вязов [Селиховкин, Мусолин, 2013; Selikhovkin et al., 2016].

Образцы для исследования отобраны в 2014 г. с поверхности заболони вяза шершавого (диаметр – 28 см, высота – 21 м, возраст – 65 лет), заселённого вязовым заболонником в этом же году в парке Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета.

Для спектрального анализа на микротоме приготовлены срезы размером 35×15 мм. На срезах выбирали небольшой участок, наиболее ровный, без явных повреждений, с которого записывался спектр. Размер необходимого для записи спектра участка – 10×5 мм. На заболони, где были повреждения струйчатого заболонника, такой участок отбирали в месте расположения маточных ходов жуков.

Срезы фиксировались с помощью специальных держателей, и с выбранного участка записывался спектр. Для записи спектров сделано 10 срезов, 5 с повреждённых участков и 5 – с участков без повреждений. С каждого участка записывался соответствующий спектр.

Срезы без повреждений имели ровную гладкую поверхность светлого цвета, а срезы с повреждениями имели более темную поверхность, и в отдельных местах на них видны повреждения заболонником, каналы маточных ходов (рис. 1).

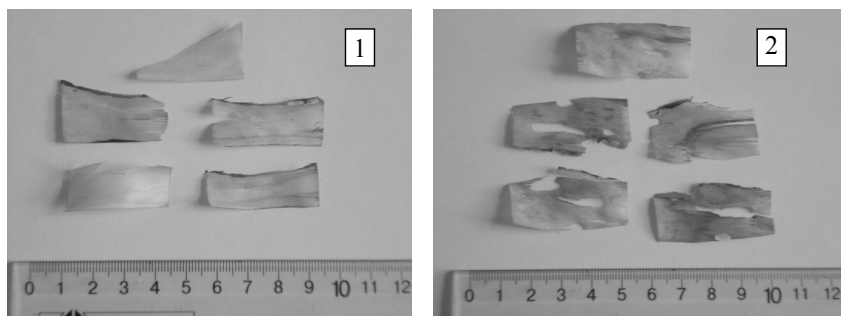


Рис. 1. Срезы древесины с неповреждённых (1) и с повреждённых (2) участков поверхностного слоя заболони струйчатым заболонником *S. multistriatus*

Fig. 1. Sections of wood (1) from undamaged and (2) damaged parts of the surface layer of the sapwood by the European elm bark beetle *S. multistriatus*

Результаты исследования. На рис. 2 представлены типичные спектры ИК-поглощения поверхностных слоёв древесины вяза, взятые с участков без повреждений (1) и с повреждённых участков (2).

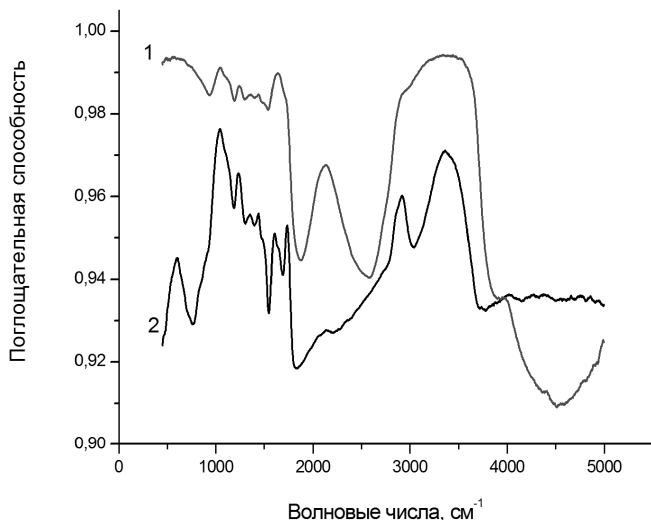


Рис. 2. ИК-спектры поглощения участков древесины вяза, неповреждённых (1) и повреждённых (2) струйчатым заболонником

Fig. 2. Infrared absorption spectra of sections of wood (1) from undamaged and (2) damaged parts of the surface layer of the sapwood by the European elm bark beetle

Полосы поглощения достаточно хорошо сформированы (рис. 2). Высокий уровень поглощательной способности связан с рассеянием излучения на характерных пространственных неоднородностях древесины. Вклад рассеянного излучения в поглощательную способность может быть учтен по её величине вдали от характеристических полос поглощения. Собственная поглощательная способность образцов составляет величину порядка 10% от потерь излучения из-за его рассеяния, что оказывается достаточным для формирования очищенных от них спектров. Но даже качественное сравнение спектров 1 и 2 показывает, что преобразование формы комбинированной полосы поглощения метил-метиленовыми и гидроксильными группами хорошо заметно на повреждённых заболонником образцах. В этом аспекте рассмотрим фрагменты спектра в области характерных частот валентных колебаний ОН-групп, вовлекаемых в образование Н-связей. Именно детальный анализ ИК-спектров в области поглощения ОН-группами, которые собственно и генерируют Н-связи, позволит произвести идентификацию типов Н-связей, вовлеченных в формирование молекулярной структуры вяза, оценить величины их энергии и изменений в результате активности жуков.

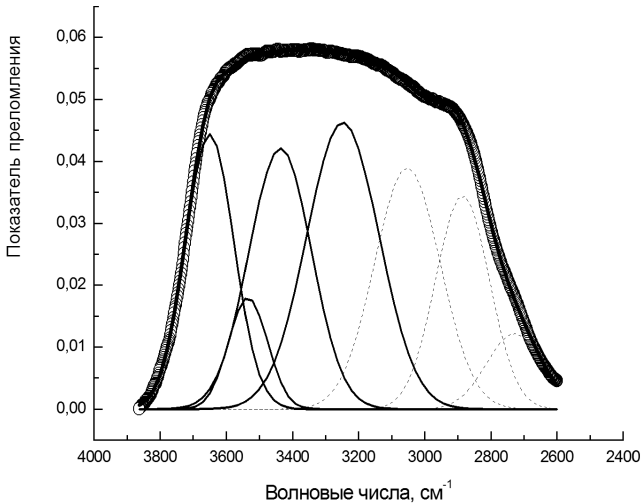


Рис. 3. Фрагмент спектра поглощения неповреждённых участков древесины (толстая линия) с гауссовыми контурами подгонки (тонкие линии соответствуют поглощению каждой гидроксильной группой)

Fig. 3. Fragment of the absorption spectrum of undamaged wood sections (thick line) with Gaussian fitting contours (fine lines correspond to the uptake by each hydroxyl group)

На рис. 3 огибающей кривой представлен очищенный от вклада рассеянного излучения фрагмент спектра с рис. 2 (кривая 1), характеризующий поглощение срезов древесины с неповреждённых участков вблизи характерных полос поглощения ОН-группами.

С целью детального анализа формы полосы этого фрагмента мы воспользовались алгоритмом наилучшей нелинейной подгонки экспериментальной полосы гауссовыми контурами – методом наименьших квадратов [Marquardt, 1963]. Результат этой процедуры представлен кривыми гауссовых контуров (тонкие линии) и огибающей кривой (толстая линия) (рис. 3). Как видно из рисунка, для успешной подгонки достаточно семи контуров. При этом среднеквадратичное отклонение составляет величину не более 0,01%. На этой стадии возникает возможность выделения вкладов в поглощение гидроксильными группами, показанными на рисунке тонкими линиями.

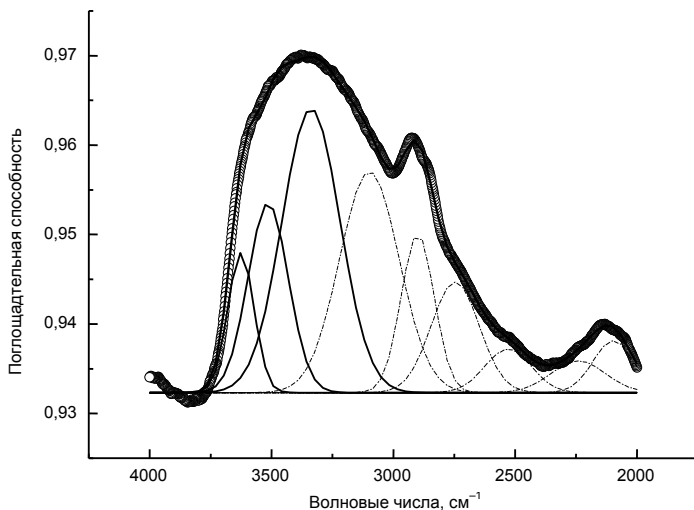


Рис. 4. Фрагмент спектра поглощения повреждённых участков древесины (толстая линия) с гауссовыми контурами подгонки (тонкие линии соответствуют поглощению каждой гидроксильной группой)

Fig. 4. Fragment of the absorption spectrum of damaged wood sections (thick line) with Gaussian fitting contours (fine lines correspond to the absorption by each hydroxyl group)

На неповрежденных участках древесины обнаруживается три разновидности Н-связей, показанных тонкими сплошными линиями (см. рис. 3). Соотношение площадей контуров соответствует соотношению концентраций каждой из этих связей. Другие гауссовы контуры (тонкие прерывистые линии) соответствуют поглощению метил-метиленовыми группами, не участвующими в формировании Н-связей, хорошо соответствуют табличным данным (таблицы колебательных частот молекул: <http://www2.ups.edu>) и в дальнейшем не анализируются.

На рис. 4 приводится фрагмент спектра повреждённой заболонником древесины совместно с его аппроксимацией гауссовыми контурами. Этот фрагмент аналогичен фрагменту 2 спектра поглощения на рис. 3 неповреждённого участка.

Воспользовавшись корреляционным соотношением между величинами этого сдвига частот $\Delta\nu$ и энергии Н-связи $\epsilon_{НВ}$, полученным нами ранее [Иванов-Омский, 2014; Иванов-Омский и др., 2017], имеем оценку корреляционной связи из формулы

$$\epsilon_{НВ}(\text{kJ/mol}) = 5 - 0,1 \Delta\nu + 8 \cdot 10^{-5} (\Delta\nu)^2. \quad (1)$$

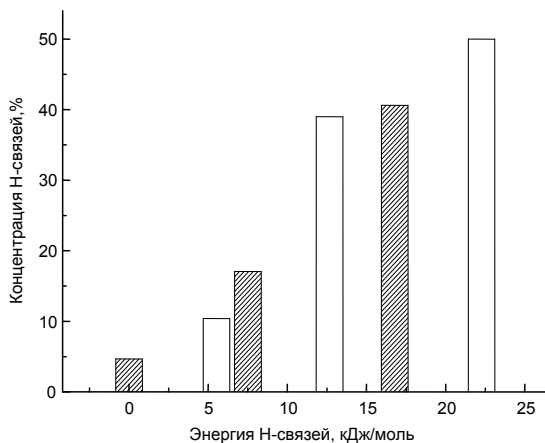


Рис. 5. Распределение концентрации Н-связей по энергиям поглощения в неповреждённых (не штрихованные колонки) и повреждённых струйчатом заболонником (штрихованные колонки)

Fig. 5. The distribution of the H-bond concentrations by the absorption energies in undamaged (non-shaded columns) and damaged by the European elm bark beetle (shaded columns)

Результаты расчета энергии Н-связи в исследованных образцах по формуле (1) вместе с оценкой концентрации для каждой разновидности Н-связи представлены гистограммой на рис. 5. Незаштрихованные колонки соответствуют неповреждённой древесине, а заштрихованные – повреждённой.

Из гистограммы следует, что наиболее сильная межмолекулярная связь, которая обеспечивает соединение молекул целлюлозы и, соответственно, прочность ствола дерева, исчезает на участках древесины, повреждённых язвовым заболонником. При этом концентрация внутримолекулярных связей несколько возрастает, увеличивая свою энергию. Последнее обстоятельство связано с увеличением компактности молекул целлюлозы (уменьшение расстояния между гидроксильными группами), освобождаемых от связи в волокнах. В местах разрыва волокон появляются гидроксильные группы, не охваченные водородными связями. Таким образом, имеет место трансформация системы гидроксильных групп и связанных с ней системой Н-связей.

Итак, водородные связи реализуются благодаря присутствию гидроксильных групп в молекулярной структуре целлюлозы. Гидроксильные группы целлюлозы посредством образования водородных связей обеспечивают взаимодействие древесины с молекулами воды, являясь своеобразны-

ми модераторами водного обмена. Динамика системы водородных связей, возможно, по этой причине, связана со скоростью проникновения воды через аквапорины клеточных мембран, которая существенным образом превышает скорость диффузии.

В результате проведённых экспериментов удалось установить, что происходит разрушение наиболее сильной межмолекулярной связи, обеспечивающей прочность ствола на повреждённых участках, а также увеличение концентрации внутримолекулярных связей.

В макроскопическом плане такая трансформация системы гидроксильных групп и их Н-связей означает принципиальные изменения в водном обмене клеток древесины. Этот процесс должен способствовать резкому ускорению разрушения древесины, поскольку водный обмен клеток происходит через посредство аквапоринов [Шапигузов, 2004].

Встроенные в клеточные мембраны древесины аквапорины формируют поры и определяют необычайно высокую, по сравнению с диффузионными процессами, скорость прохождения воды через клеточные мембраны и связанную с этим обстоятельством катастрофически высокую скорость процессов деградации вязов, пораженных заболонником.

Возникает вопрос: какую роль могут играть повреждения короедами, заболонниками в этом процессе?

Механическое разрушение древесины во время питания короедов (как самих жуков, так и их личинок) нарушает движение растворов по сосудам как флоэмы, так и ксилемы. Возможно, это приводит к разрушению аквапоринов как ответной реакции вяза. Соответственно, такую же реакцию может вызвать простое механическое повреждение флоэмы.

Вторая гипотеза связана с процессом питания короедов. Во время прокладки ходов и питания жуков и их личинок в древесину могут попадать ферменты слюнных желёз, например амилаза или другие карбогидразы. Возможно, они играют некоторую роль в разрушении межмолекулярных связей целлюлозы [Тыщенко, 1976; Nation, 2002]. Не исключено попадание во внешнюю среду и ферментов средней кишки. Известно, что у жесткокрылых ферменты средней кишки могут попадать в переднюю кишку вместе с отрыжкой из средней кишки в зоб [Dow, 1986]. В составе этих ферментов могут содержаться целлюлазы. В частности, некоторые короеды могут синтезировать гемицеллюлазу [Gillott, 2005]. Кроме того, в процессе прокладки ходов и питания короедов весьма вероятно и попадание в ходы многочисленных симбионтов (бактерий, простейших и грибов), которые обладают видоспецифическими комплексами ферментов [Тыщенко, 1976; Nation, 2002]. Протеазы, содержащиеся в ферментах средней кишки короедов и входящие в комплексы ферментов их симбионтов, при попадании во флоэму могут разрушать аквапорины, являющиеся интегральными мембранными протеинами.

Выводы. Суммируя вышеизложенное, можно отметить, что ИК-спектроскопия на современном уровне своего развития позволяет взглянуть на многие известные характеристики древесины через призму Н-связей. В частности, проведённый эксперимент показал, что в местах повреждения струйчатым заболонником разрушается компонента древесины с наиболее сильными водородными связями, что приводит к снижению прочности древесины. Возможными причинами этого явления может являться как ответная реакция дерева на механическое разрушение древесины, проявляющаяся в разрушении интегральных белковых комплексов (в том числе, аквапоринов), так и ферментативная активность выделений короедов и симбиотических организмов (бактерий, простейших и грибов).

Библиографический список

Иванов-Омский В.И. О характеристике водородных связей в D-глюкозе // Письма в ЖТФ. 2014. Вып. 40 (18). С. 29–34.

Иванова Е.И., Герасюта С.М., Иванов-Омский В.И. Сравнение систем водородных связей в древесине и бумаге // Лесной журнал. 2016. № 1. С. 147–154.

Иванов-Омский В.И., Иванова Е.И., Герасюта С.М. ИК-спектроскопия водородной связи в древесной ткани ели обыкновенной // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. Вып. 218. С. 199–210.

Селиховкин А.В., Мусолин Д.Л. Биологические инвайдеры в городской среде // Нерешенные проблемы климатологии и экологии мегаполисов: матер. науч. конф. Санкт-Петербург, 20 марта 2013 г. СПб., 2013. С. 75–79.

Тыщенко В.П. Основы физиологии насекомых. Ч. 1. Физиология метаболических систем. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та. 1976. 364 с.

Шаннигер М., Родригес Ж.С., Пекейра Н., Хинтерстойссер Б. Эффекты кратковременной вибрационной шаровой мельницы на форму древесины и целлюлозы // Вибрационная спектроскопия. 2004. Вып. 36. С. 23–40.

Шанигузов А.Ю. Обзор. Аквапорины: строение, систематика и особенности регуляции // Физиология растений. 2004. Т. 51, № 1. С. 1–11.

Dow J.A.T. Insect midgut function // *Advances in Insect Physiology*. 1986. Is. 19. P. 187–328.

Gillott G. *Entomology*. Third Edition. Springer, 2005. 830 p.

Marquardt D.W. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters // *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*. 1963. Is. 11, no. 2. P. 431–441.

Nation J.L. *Insect Physiology and Biochemistry*. CRC Press LLC. 2002. 484 p.

Selikhovkin A.V., Musolin D.L., Popovichev B.G., Baranchikov Y.N. Elm bark beetles, Dutch elm disease and elm decline in St. Petersburg, Russia. Abstract Book. UArctic Congress 2016, 12–16 September, St. Petersburg, Russia. University of the Arctic/University of Oulu. Ed. O. Moilanen, 2016. 108 p.

References

Ivanov-Omskiy V.I. O kharakteristike vodorodnykh svyazey v D-glyukoze [On the characterization of hydrogen bonds in D-glucose]. *Pis'ma v ZHTF*, 2014, is. 40(18), pp. 29–34. (In Russ.)

Ivanova Ye.I., Gerasyuta S.M., Ivanov-Omskiy V.I. Sravneniye sistem vodorodnykh svyazey v drevesine i bumage [Comparison of hydrogen bonding systems in wood and paper], *Lesnoy zhurnal*, 2016, no. 1, pp. 147–154. (In Russ.)

Ivanov-Omskiy V.I., Ivanova Ye.I., Gerasyuta S.M. IK-spektroskopiya vodorodnoy svyazi v drevesnoy tkani yeli obyknovennoy [IK-spectroscopy of hydrogen bonding in woody spruce wood], *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, 2017, is. 218, pp. 199–210. (In Russ.)

Selikhovkin A.V., Musolin D.L. Biologicheskiye invaydery v gorodskoy srede [Biological invaders in the urban environment]// Nereshennyye problemy klimatologii i ekologii megapolisov. Materialy nauchnoy konferentsii. Sankt-Peterburg, 20 marta 2013 g. St. Petersburg, 2013, pp. 75–79. (In Russ.)

Tyshchenko V.P. Osnovy fiziologii nasekomykh. CH.1. Fiziologiya metabiologicheskikh sistem. [Fundamentals of physiology of insects. Part 1. Physiology of Metabiological Systems] Leningrad: Izd-vo Leningradskogo un-ta. 1976. (In Russ.)

Shanniger M., Rodrigues Z.H.C., Pekeyra H., Khinterstoysser B. Effekty kratkovremennoy vibratsionnoy sharovoy mel'nitsy na formu drevesiny i tsellyulozy [Effects of a short-term vibrating ball mill on the shape of wood and cellulose]. *Vibratsionnaya spektroskopiya*, 2004, is. 36, pp. 23–40. (In Russ.)

Shapiguzov A.Yu. Obzor. Akvaporiny: stroyniye, sistematika i osobennosti regulyatsii [Overview. Aquaporins: structure, taxonomy and features of regulation], *Fiziologiya rasteniy*, 2004, is. 51, no. 1, pp. 1–11. (In Russ.)

Dow J.A.T. Insect midgut function, *Advances in Insect Physiology*, 1986, is. 19, pp. 187–328.

Gillott G. *Entomology*. Third Edition. Springer. 2005.

Marquardt D.W. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters, *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 1963, is. 11, no. 2, pp. 431–441.

Nation J.L. *Insect physiology and biochemistry*. CRC Press LLC. 2002.

Selikhovkin A.V., Musolin D.L., Popovichev B.G., Baranchikov Y.N. Elm bark beetles Dutch elm disease and elm decline in St. Petersburg Russia. Abstract Book. UArctic Congress 2016, 12–16 September, St. Petersburg, Russia. University of the Arctic/University of Oulu. Ed. O. Moilanen, 2016.

Материал поступил в редакцию 24.07.2017 г.

Иванова Е.И., Иванов-Омский В.И., Давыдова И.А., Гриненко Е.В., Леонтьев Л.Л., Селиховкин А.В. Изменение структуры водородных связей в древесине вяза в связи с повреждением струйчатым заболонником *Scolytus multistriatus* (Marsham) (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 222. С. 23–35. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.222.23-35

Водородная связь (H-связь) обеспечивает необходимую гибкость и устойчивость биологических систем, в том числе древесины. Для исследования энергии и концентрации H-связей в древесине возможно применение ИК-спектроскопии. В этом случае судить о природе гидроксильных групп можно опираясь на величины длин и энергий H-связей, известных для водородных связей в целлюлозе, лигнине и других компонентах древесины, которые были исследованы ранее [Иванов-Омский и др., 2017; Иванова и др., 2016]. Особенный интерес представляет решение задачи об изменении прочности и иных свойств древесины при отмирании дерева в случае повреждения биологическими агентами. В данном исследовании поставлена задача – исследовать влияние повреждений короедов на структуру водородных связей древесины. Объектом исследования выбран вяз *Ulmus glabra* Huds, заселённый струйчатым заболонником. Этот короед является вектором распространения голландской болезни ильмовых в Санкт-Петербурге. Срезы для спектрального анализа взяты с поверхности заболони вяза, заселённого короедом. Полученные результаты показали, что на повреждённых заболонником участках происходит разрушение наиболее сильной межмолекулярной связи, обеспечивающей соединение молекул целлюлозы и, соответственно, прочность ствола. Увеличивается и концентрация внутримолекулярных связей, что может означать принципиальные изменения в водном обмене клеток древесины, связанные с разрушением аквапоринов. Это явление может быть связано с ответной реакцией вяза на нарушение движения растворов по сосудам при механическом разрушении древесины во время питания короедов и/или попаданием ферментов их слюнных желёз, амилазы или других карбогидраз. Не исключено попадание в древесину и других ферментов, например продуцируемых симбионтами короедов.

Ключевые слова: водородная связь, энергия поглощения, древесина, повреждения, струйчатый заболонник, аквапорины.

Ivanova E.I., Ivanov-Omskiy V.I., Davydova I.A., Grinenko E.V., Leontiev L.L., Selikhovkin A.V. The change in the structure of hydrogen bonds in elm wood due to damage by European elm bark beetle *Scolytus multistriatus* (Marsham) (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae). *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2018, is. 222, pp. 23–35 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2018.222.23-35

Hydrogen bond (H-bond) provides the necessary flexibility and stability of biological systems, including wood. It is possible to use Infrared spectroscopy to study the energy and concentration of H-bonds in wood. In this case, it is possible to assess the nature of the hydroxyl groups based on the lengths and energies of H-bonds, known for hydrogen bonds in cellulose, lignin and other wood components, which had been studied earlier [Ivanov-Omskiy et al., 2017; Ivanova et al., 2016]. Of special interest is the solution of the problem of changing the strength and other properties of

wood when the tree dies in case of damage by biological agents. In this paper, the task was to study the effect of damage by bark beetles on the structure of hydrogen bonds of wood. The object of research was elm *Ulmus glabra* Huds infested by the European elm bark beetle *Scolytus multistriatus*. This bark beetle is the vector of Dutch elm disease in St. Petersburg. Sections for spectral analysis are taken from the surface of the elm sapwood inhabited by bark beetle. The obtained results showed that on the sites damaged by the sapwood, the strongest intermolecular bond (which binds the cellulose molecules together and ensures the strength of the trunk) breaks down. The concentration of intramolecular bonds also increases. This means a fundamental change in the water metabolism of wood cells, associated with the destruction of aquaporins. This phenomenon may be related to the response of the elm to the violation of the movement of solutions through vessels during mechanical destruction of wood during the feeding of bark beetles and/or the ingestion of enzymes from their salivary glands, amylase or other carbohydrases. It is also possible that other enzymes (such as those produced by the beetles' symbionts) come into contact with wood.

Keywords: hydrogen bond, absorption energy, wood, damages, streamed sapwood, aquaporins.

ИВАНОВА Елена Ивановна – доцент кафедры физики Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат физико-математических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: elen.ivom@gmail.com

IVANOVA Elena I. – PhD (Physical and Mathematical), Associate Professor of Dept. of Physics, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: ivanov.ivom@mail.ioffe.ru

ИВАНОВ-ОМСКИЙ Владимир Иванович – профессор Физико-технического института имени А.Ф. Иоффе РАН, доктор физико-математических наук.

194021, Политехническая ул., д. 26, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: ivanov.ivom@mail.ioffe.ru

IVANOV-OMSKIY Vladimir I. – DSc (Physical and Mathematical), Professor of Ioffe Physical Technical Institute.

194021. Polytechnicheskaya str. 26. St. Petersburg. Russia. E-mail: ivanov.ivom@mail.ioffe.ru

ДАВЫДОВА Ирина Анатольевна – учебный мастер кафедры физики Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат биологических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: idavidova@yandex.ru

DAVYDOVA Irina A. – PhD (Biology), Training master of Dept. of Physics, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021, Institute per. 5, St. Petersburg, Russia. E-mail: idavidova@yandex.ru

ГРИНЕНКО Елена Владимировна – доцент кафедры химии Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат химических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: gip95@mail.ru

GRINENKO Elena V. – PhD (Chemistry), Associate Professor of Dept. of Chemistry, St.Petersburg State Forest Technical University,

194021, Institute per. 5, St. Petersburg, Russia. E-mail: gip95@mail.ru

ЛЕОНТЬЕВ Леонид Леонидович – доцент кафедры защиты леса, древесиноведения и охотоведения Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат биологических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: leontyev-lta@mail.ru

LEONTIEV Leonid L. – PhD (Biology), Associate Professor of Dept. of Forest Protection, Wood Sciences and Game Management, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021, Institute per. 5, St. Petersburg, Russia. E-mail: leontyev-lta@mail.ru

СЕЛИХОВКИН Андрей Витимович – доктор биологических наук, профессор Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова; профессор.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия; 199034, Университетская набережная, д. 7–9, Санкт-Петербург, Россия.

SELIKHOVKIN Andrey V. – DSc (Biology), Professor of St.Petersburg State Forest Technical University; Associate Professor of St.Petersburg State University. SPIN code: 9339-4978. ORCID iD: 0000-0003-4227-9647.

194021, Institute per. 5, St. Petersburg, Russia; 199034, University emb. 7.9, St. Peterburg, Russia. E-mail: a.selikhovkin@mail.ru