

ПОЛИСАХАРИДЫ СФАГНОВЫХ МХОВ И СФАГНОВОГО ТОРФА МАЛОЙ СТЕПЕНИ РАЗЛОЖЕНИЯ

Н. А. Жмакова, Н. Л. Макарова

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Многие полисахариды растительного происхождения обладают биологической активностью и могут рассматриваться как потенциальное сырье для получения препаратов различного назначения для медицины, ветеринарии, растениеводства.

Объектами исследований являлись сфагновые мхи *Sphagnum magellanicum*, *Sphagnum fuscum* и сфагновый магелланикум- и фускум-торф малой степени разложения (10 %). Из этого сырья после делигнификации выделены полисахариды. Выход полисахаридов из холоцеллюлозы фускум-мха составил 5,3 %, из магелланикум-мха – 4,9, из фускум-торфа – 20,6, из магелланикум-торфа – 18,6 % от органической массы. Полисахариды выделены также из исходных образцов мха и торфа по методу Кочеткова – экстракцией смесью щавелевой кислоты и оксалата аммония после удаления водорастворимых соединений. Выход полисахаридов по этому методу значительно ниже и составил для фускум-мха – 1,2 %; для магелланикум-мха – 1,4, для фускум-торфа – 4,2, для магелланикум-торфа – 4,6 % от органической массы. Все полисахариды независимо от исходного сырья и метода выделения имели одинаковый моносахаридный состав. Массовая доля уроновых кислот в образцах полисахаридов, выделенных из холоцеллюлозы мха и торфа, составила 17,3–20,1 %. Для пектинов, выделенных по методу Кочеткова, содержание уроновых кислот было несколько ниже и находилось в пределах 16,8–18,4 %.

Высокое содержание уроновых кислот и сравнительно низкий уровень моносахаридов в кислотных гидролизатах полисахаридов позволяет предположить, что эти соединения относятся к кислым полисахаридам класса пектинов, у которых нейтральные моносахариды, связанные с уроновыми кислотами, с трудом гидролизуются с образованием альдоби- и триуроновых кислот, в связи с чем содержание свободных моносахаридов в гидролизатах невысокое.

Ключевые слова: сфагновый торф; сфагновый мох; полисахариды; пектины; моносахариды; уроновые кислоты.

Для цитирования. Жмакова Н. А., Макарова Н. Л. Полисахариды сфагновых мхов и сфагнового торфа малой степени разложения // Природопользование. – 2023. – № 2. – С. 150–157.

POLYSACCHARIDES OF SPHAGNUM MOSSES AND SPHAGNUM PEAT WITH A LOW DEGREE OF DECOMPOSITION

N. A. Zhmakova, N. L. Makarova

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. Sphagnum mosses and little-decomposed sphagnum peat are labile carbohydrate-containing raw materials, most of the organic matter of which is represented by the polysaccharides of various structures. Many polysaccharides of plant origin have biological activity and can be considered to be potential raw material for the obtaining preparations for various purposes for medicine, veterinary medicine and plant growing.

Sphagnum magellanicum, *Sphagnum fuscum* and sphagnum magellanicum and fuscum peat of low degree of decomposition (10 %) sphagnum mosses were objects of research. Polysaccharides are isolated from these raw materials after delignification. The yield of polysaccharides from the holocellulose of fuscum moss was 5.3 %, for magellanicum moss – 4.9, for fuscum peat – 20.6, for magellanicum peat 18.6 % of the organic mass. Polysaccharides were also isolated from the original moss and peat samples by Kochetkov method – by extraction with the mixture of oxalic acid and ammonium oxalate after water-soluble compounds removal. The yield of polysaccharides by this method is much lower and was 1.2 % for fuscum moss; 1.4 % for magellanicum moss, 4.2 % for fuscum peat, and 4.6 % for magellanicum peat per organic mass. All polysaccharides had the same monosaccharide composition regardless of the initial raw material and isolation method. The mass fraction of uronic acids in the polysaccharide samples isolated from moss and peat holocellulose was 17.3–20.1 %. The content of uronic acids was somewhat lower and was in the range of 16.8–18.4 % For pectins isolated by Kochetkov method.

High content of uronic acids and the relatively low level of monosaccharides in the acidic hydrolysates of the isolated polysaccharides suggest these compounds belong to the acidic polysaccharides of pectin class in which neutral

monosaccharides associated with uronic acids are hardly hydrolyzed with the formation of aldobi- and triuronic acids, due to the free monosaccharide content in hydrolysates is not high. **Keywords:** sphagnum peat; sphagnum moss; polysaccharides; pectins; monosaccharides; uronic acids.

For citation. Zhmakova N. A., Makarova N. L. Polysaccharides of sphagnum mosses and sphagnum peat with a low degree of decomposition. *Nature Management*, 2023, no. 2, pp. 150–157.

Введение. Сфагновые мхи – типичные представители растений-торфообразователей месторождений верхового типа, являются богатым источником биологически активных веществ различной химической природы, которые в процессе торфообразования либо аккумулируются в торфе, либо служат источником более устойчивых химических соединений вторичного химического и микробного синтеза. Большая часть органического вещества сфагновых мхов и сфагнового торфа малой степени разложения представлена углеводными компонентами. Общее содержание простых углеводов и полисахаридов у грядовых мхов достигает 83 %, а у мочажинных – 86 %. При переходе на торфяную стадию в слаборазложившейся моховой массе при степени разложения (R) 5 % общее содержание углеводных составляющих в среднем снижается до 77 % у магелланикум-торфа и до 80 %, у фускум-торфа, а при достижении $R = 20$ % среднее суммарное содержание этих компонентов уменьшается до уровня в 61 % у магелланикум-торфа и 60 % у фускум-торфа [1].

Таким образом, сфагновые мхи и малоразложившийся сфагновый торф являются лабильным углеводсодержащим сырьем, большая часть органического вещества которого представлена полисахаридами различного строения – водорастворимыми, легкогидролизуемыми и трудногидролизуемыми полисахаридами.

Водорастворимые соединения, извлекаемые из сфагновых мхов и малоразложившегося сфагнового торфа, представлены как веществами углеводного характера – моносахаридами и пектинами, так и растворимыми в горячей воде химическими соединениями других классов – аминокислотами, органическими кислотами, биогенными аминами и рядом прочих [2].

К легкогидролизуемым соединениям относятся гемицеллюлозы – полисахариды, растворимые при кипячении в разбавленных растворах минеральных кислот. Количество легкогидролизуемых полисахаридов в сфагновых мхах и торфах малой степени разложения может достигать 55 % от их сухого вещества. Гидролиз гемицеллюлоз разбавленными растворами минеральных кислот приводит к расщеплению гликозидных связей, в результате чего происходит глубокая деструкция полисахаридов. Гидролизаты при этом содержат до 35 % редуцирующих веществ (РВ), среди них до 60 % моносахаридов, представленных глюкозой, маннозой, арабинозой, ксилозой, рамнозой, галактозой, а также уроновыми, органическими кислотами, аминокислотами и гуминоподобными веществами.

К трудногидролизуемым полисахаридам относятся целлюлоза и некоторые сопровождающие ее полисахариды, в основном ксилосманны. Содержание целлюлозы в сфагновых мхах и торфе составляет 15–25 % от органической массы [2, 3].

Макромолекулы полисахаридов – это полимеры, состоящие из моносахаридных единиц в пиранозной или фуранозной форме, уроновых кислот и представляющие прямые или разветвленные цепи различной длины, соединенные между собой α - или β -гликозидными связями. Полисахариды могут образовывать связи и с молекулами неуглеводного характера. Через гидроксильные, карбоксильные и аминные функциональные группы моносахаридных остатков они могут взаимодействовать с органическими и неорганическими кислотами, спиртами и другими соединениями, образуя сложноеэфирные или амидные связи. Полисахариды растительных тканей могут быть представлены и более сложными биополимерами углевод-белкового и углевод-липидного характера. В сфагновых мхах и торфах присутствуют соединения класса липидов, белки и пептиды, в связи с чем можно предположить и наличие в их составе гликопротеинов и гликолипидов.

Отдельный класс представляют кислые полисахариды или полиурониды, наиболее характерными представителями которых являются пектины. Основу молекулы пектиновых веществ составляют остатки галактуроновой кислоты, соединенные α -1-4 гликозидными связями. Прямолинейные цепи полигалактуроновой кислоты могут разветвляться за счет присоединения боковых моно- и олигосахаридных остатков, включающих до 50 единиц нейтральных моносахаридов. Карбоксильные группы полигалактуроновой кислоты частично метилированы или частично связаны в виде солей металлов [4–6].

Согласно данным многих исследователей, фитополисахариды проявляют свойства антиоксидантов, обладают мембранопротекторным, иммуностимулирующим действием, проявляют бактерицидную, бактериостатическую, фунгицидную, фунгиостатическую, противовирусную и противоопухолевую активность. Они могут рассматриваться как перспективные объекты для создания биологически активных препаратов комплексного действия и длительного применения для медицины, ветеринарии, защиты и стимуляции роста растений [7–9].

Среди комплекса веществ углеводного строения сфагновых мхов и торфа малой степени разложения наибольший интерес представляют пектины, поскольку некоторые биологически активные, в том числе биоцидные, свойства сфагновых мхов можно связать с их наличием [4, 6].

Полисахариды сфагновых мхов и торфа, подверженные воздействию ультразвука, щелочных и окислительных агентов, увеличивают свою растворимость в воде, а также одновременно повышают антимикробные свойства и интерферогенную активность.

Материалы и методы исследований. Объектами исследований по выделению и характеристике полисахаридов сфагнового торфа и растений – торфообразователей сфагновых мхов являлись мхи *Sph. magellanicum* (сфагнум магелланикум) и *Sph. fuscum* (сфагнум фускум), а также сфагновый торф малой степени разложения (R) 10 % – сфагнум фускум и сфагнум магелланикум. Для исследований использовали фрезерный фускум-торф, отобранный из штабелей на поле 8а участка 8 торфопредприятия «Туршовка» Минской области. На этом торфяном месторождении были отобраны также два вида сфагнового мха. Магелланикум-торф отобран на поле 4 участка торфомассива «Сидень», карта 3 ПУ «Витебскторф» Витебской области.

При характеристике исходного сырья выделение основных групп полисахаридов сфагновых мхов и торфа проводили по методике, принятой для оценки группового химического состава верхнего торфа низкой степени разложения в части выделения водорастворимых, легкогидролизующихся и трудногидролизующихся веществ, в том числе составляющих углеводного комплекса – РВ. Для определения массовой доли полисахаридов брали две параллельные навески каждого образца, которые предварительно обезбитуминировали, после чего остаток служил для последовательного выделения водорастворимых (5 ч, 96–98 °С), затем легкогидролизующихся веществ методом кислотного гидролиза 2%-ной серной кислотой на кипящей водяной бане в течение 5 ч, а потом трудногидролизующихся соединений – целлюлозы (для торфов после удаления гуминовых веществ) при гидролизе 80%-ной серной кислотой [3]. По этой же методике анализировали содержание этих групп полисахаридов в составе холоцеллюлозы.

Выделение холоцеллюлозы проводили в обезбитуминированных образцах торфа и мха путем делигнификации образцов 10%-ной надуксусной кислотой при температуре 65 °С в течение 10 мин. Для отделения гемицеллюлозы от целлюлозы полученные образцы холоцеллюлозы сфагновых мхов и торфа подвергали экстракции 18%-ным раствором гидроксида натрия. Затем щелочные растворы нейтрализовали уксусной кислотой до pH 4,0 и осаждали полисахариды пятикратным объемом этилового спирта. Выпавшие полисахариды отделяли декантированием, а затем центрифугированием, полученный остаток промывали на центрифуге спиртом и ацетоном [4].

Фракции легкогидролизующихся полисахаридов выделяли также по методу Кочеткова – экстракцией смесью 0,5%-ных растворов щавелевой кислоты и оксалата аммония в течение 2 ч при температуре 100 °С [10]. Предварительно из торфяного и растительного сырья удаляли водорастворимые полисахариды методом экстракции на водяной бане дистиллированной водой при температуре 80 °С в течение 2 ч. Водорастворимые фракции отбрасывали. Так как сфагновый мох и торф малой степени разложения отличаются малой относительной плотностью и высокой поглотительной способностью, гидромодуль для мха составил 1 : 38, для торфа – 1 : 12,5. Отфильтрованные растворы после экстракции гемицеллюлоз концентрировали упариванием и осаждали полисахариды 96%-ным этиловым спиртом в соотношении 1 : 5. Выпавшие в осадок полисахариды отделяли декантированием, а затем центрифугированием и промывали на центрифуге спиртом и ацетоном.

Содержание уроновых кислот в холоцеллюлозе устанавливали двумя независимыми методами: методом декарбоксилирования уроновых кислот горячей 19%-ной соляной кислотой и титриметрическим методом. По первому из них навески холоцеллюлоз нагревали с 19%-ной соляной кислотой при температуре 145 °С. Содержание уроновых кислот определяли по количеству выделившегося в результате декарбоксилирования углекислого газа, который поглощали титрованным 0,25 *n* раствором гидроксида натрия. Избыток щелочи титровали 0,1 *n* раствором соляной кислоты. По второму методу к навеске холоцеллюлозы добавляли избыток титрованного раствора щелочи. Через сутки непрореагировавшую щелочь титровали раствором серной кислоты в присутствии фенолфталеина [4].

Моносахаридный состав полисахаридов определяли методом кислотного гидролиза 2 М раствором трифторуксусной кислоты с последующей хроматографией гидролизатов.

Результаты исследований и их обсуждение. Для выделения полисахаридов использовали сфагновые торфа двух видов – сфагнум фускум и сфагнум магелланикум ($R = 10$ %), и соответствующие растения-торфообразователи – мхи *Sph. fuscum* (сфагнум фускум) и *Sph. magellanicum* (сфагнум магелланикум). Физико-химическая характеристика исходных проб представлена в табл. 1.

Таблица 1. Физико-химическая характеристика исходных проб торфа и мха**Table 1. Physical and chemical characteristics of initial samples of peat and moss**

| Номер образца | Вид торфа/мха | Массовая доля | | | | рН |
|---------------|-------------------|---------------|--------------------|---------|--------------------------------|-----|
| | | влаги, % | сухого вещества, % | золы, % | органического вещества, % в СВ | |
| 1 | Магелланикум-торф | 38,2 | 61,8 | 1,32 | 98,68 | 4,0 |
| 3 | Фускум-торф | 28,2 | 71,8 | 1,86 | 98,24 | 4,4 |
| 5 | Магелланикум-мох | 15,1 | 84,9 | 2,64 | 97,36 | 3,9 |
| 6 | Фускум-мох | 15,2 | 84,8 | 2,26 | 97,74 | 4,0 |

Образец магелланикум-торфа, отобранный из залежи и высушенный в лаборатории до воздушно-сухого состояния, отличается более высоким содержанием влаги, которая находится на уровне 38,2 %, а для фускум-торфа, отобранного из штабеля, содержание влаги составляет 28,2 %. По содержанию минеральных веществ образцы торфа существенно не различаются, массовая доля золы в сухом веществе торфа составляет 1,32 и 1,86 % соответственно. Сфагновые мхи, отобранные на нативном торфяном месторождении и высушенные в лаборатории до воздушно-сухого состояния, имеют одинаковую влажность – 15,1–15,2 %, и близкий уровень содержания минеральных веществ – 2,26 и 2,64 %.

Характеристика углеводного комплекса исходного сырья представлена в табл. 2.

Таблица 2. Характеристика углеводного комплекса образцов сфагнового торфа и сфагновых мхов**Table 2. Characterization of a carbohydrate complex of samples of sphagnum peat and sphagnum mosses**

| Вид сырья | Содержание компонентов, % на органическую массу | | | |
|------------------------------|---|------------------------|------------------|------------|
| | Магелланикум-торф (R = 10 %) | Фускум-торф (R = 10 %) | Магелланикум-мох | Фускум-мох |
| Водорастворимые вещества | 5,8 | 6,5 | 6,9 | 7,8 |
| В том числе РВ в них | 1,5 | 1,8 | 1,7 | 2,2 |
| Легкогидролизующие вещества | 44,0 | 43,4 | 51,6 | 53,2 |
| В том числе РВ в них | 24,1 | 23,3 | 30,5 | 29,9 |
| Трудногидролизующие вещества | 21,3 | 22,6 | 26,8 | 24,4 |
| В том числе РВ в них | 20,5 | 21,9 | 25,3 | 24,2 |
| Сумма гидролизующих веществ | 71,1 | 72,5 | 85,3 | 85,4 |
| В том числе РВ в них | 46,1 | 47,0 | 57,5 | 56,3 |

Исследуемые сфагновые торфа низкой степени разложения характеризуются невысоким выходом водорастворимых веществ, которое составляет для магелланикум-торфа 5,8 %; для фускум-торфа – 6,5 %, присутствие этих соединений в соответствующих мхах несколько выше – 6,9 и 7,8 %. Водорастворимые соединения представлены моносахаридами, аминокислотами, органическими кислотами, аминами и рядом других химических соединений, растворимых в горячей воде. Следует отметить, что водорастворимые вещества включают в свой состав значительное количество редуцирующих сахаров (РВ), их доля в массе этих соединений для торфов и мхов составляет 24–28 %.

Как видно из полученных данных, магелланикум- и фускум-мхи богаты гемицеллюлозами, доля которых в органической массе составляет 51,6 и 53,2 % соответственно. Магелланикум- и фускум-торф являются несколько беднее этими соединениями по сравнению с растениями-торфообразователями, но содержание гемицеллюлоз в них также значительно и составляет порядка 43–44 %.

Содержание целлюлозы в составе органического вещества исследуемых мхов составляет 24,4 % для фускум-мха и 26,8 % для магелланикум-мха. Близким содержанием трудногидролизующих веществ отличается исследуемый торф (21,3 и 22,6 %). Достаточно высокое содержание трудногидролизующих веществ в торфах обусловлено незначительной степенью гумификации торфяного сырья (R = 10 %), в процессе которой происходит микробиологическая деградация целлюлозы, а также высоким содержанием этих соединений в химическом составе материнского вещества (биомасса сфагновых мхов).

Под воздействием гидролизующих агентов полисахариды торфа деструктируют до низкомолекулярных соединений, представленных в основном моносахаридами, которые обладают редуцирующими свойствами, благодаря наличию альдегидной группы. Исследования гидролизатов сфагновых мхов показали, что значительная часть их органической массы представлена РВ. Их доля в легкогидролизующих углеводах составляет 56,2 % для фускум-мха и 59,1 % для магелланикум-мха. В гемицеллюлозах сфагновых торфов доля РВ несколько ниже – 53,7 и 54,8 % соответственно.

Трудногидролизуемые полисахариды в исследуемых сфагновых мхах на 94–99 % представлены РВ, а в торфах – на 96–97 %.

Суммарный выход соединений углеводного характера для исследуемых мхов составил 85,3–85,4 % от их органической массы за счет повышенного содержания наиболее лабильных компонентов – гемицеллюлоз и водорастворимых веществ. В торфах массовая доля этих соединений также очень велика, но значительно ниже, чем в растениях-торфообразователях, и составила 71,1–72,5 %.

Цель настоящего исследования – выделить полисахариды гемицеллюлоз из торфяного и растительного сырья. Полисахариды гемицеллюлоз связаны с другими компонентами растительных тканей – целлюлозой, лигнином, экстрактивными веществами, поэтому процесс их выделения является многостадийным. Полисахариды гемицеллюлоз растворимы в водных растворах щелочей разных концентраций, мочевины, щавелевой кислоты, щавелевокислого аммония, в диметилсульфоксиде и других растворителях.

В данной работе полисахариды выделяли двумя методами – из холоцеллюлозы экстракцией воднощелочным раствором и из исходного сырья смесью щавелевой кислоты и оксалата аммония после предварительного удаления водорастворимых полисахаридов (метод Кочеткова). В обоих случаях пектины осаждали из полученных растворов пятикратным объемом спирта.

Для выделения холоцеллюлозы необходимо провести делигнификацию торфяного и растительного сырья методом окисления лигнина. В качестве окислителей можно использовать водные растворы гидроперекиси ацетила, хлорита натрия, гидроперекиси ацетона и др.

Делигнификацию обесбитуминированного сырья проводили методом окисления образцов 10 %-ным раствором надуксусной кислоты. В полученных образцах холоцеллюлозы определяли содержание легко- и трудногидролизуемых веществ, негидролизуемого остатка и уроновых кислот.

Выход и характеристика образцов холоцеллюлозы, полученных из сфагновых мхов и торфа, приведены в табл. 3.

Таблица 3. Выход и химическая характеристика выделенных образцов холоцеллюлозы

Table 3. Yield and chemical characteristics of isolated samples of holocellulose

| Показатель | Фускум-мох | Магелланикум-мох | Фускум-торф | Магелланикум-торф |
|------------------------------|------------|------------------|-------------|-------------------|
| Выход холоцеллюлозы | 89,5 | 86,9 | 80,7 | 79,8 |
| Уроновые кислоты | 20,6 | 20,4 | 19,2 | 18,5 |
| Легкогидролизуемые вещества | 61,5 | 60,8 | 59,3 | 57,1 |
| Трудногидролизуемые вещества | 20,4 | 21,3 | 19,4 | 20,8 |
| Негидролизуемый остаток | 16,3 | 17,1 | 14,6 | 15,4 |

Выход холоцеллюлозы из фускум-мха составил 89,5 %, из магелланикум-мха – 86,9 % от органической массы образца. Для сфагнового торфа со степенью разложения 10 % выход холоцеллюлозы несколько ниже: для фускум торфа – 80,7 %, для магелланикум-торфа – 79,8 % от органической массы.

Массовая доля уроновых кислот в холоцеллюлозе обоих мхов мха была практически одинаковой – 20,6 и 20,4 %. Содержание уроновых кислот в холоцеллюлозе торфов для фускум торфа – 19,2 %, магелланикум-торфа – 18,5 %.

Массовая доля легкогидролизуемых веществ в холоцеллюлозе фускум мха составила 61,5 %, из магелланикум-мха – 60,8, а в холоцеллюлозе торфов – 59,3 и 57,1 % соответственно.

Содержание трудногидролизуемых углеводов для всех образцов находилось на уровне 20 %. При этом наибольшим их содержанием характеризовалась холоцеллюлоза магелланикум-мха (21,3 %), а наименьшим – магелланикум-торфа (20,8 %).

Полисахариды выделяли из холоцеллюлозы щелочной экстракцией с последующим осаждением спиртом.

По методу Кочеткова полисахариды выделяли смесью растворов щавелевой кислоты и оксалата аммония из всех образцов исходного торфа и мха после удаления водорастворимых веществ. Из полученных растворов полисахариды также осаждали спиртом. Данные по выходу полисахаридов представлены в табл. 4.

Выход полисахаридов из холоцеллюлозы фускум-мха составил 5,0 % от органической массы холоцеллюлозы, или 5,3 % от органической массы мха; для магелланикум-мха – 4,4 и 4,9 % соответственно. Для сфагновых торфов выход полисахаридов значительно выше и составил 18,1 % от органической массы холоцеллюлозы фускум-торфа и 14,3 % холоцеллюлозы магелланикум-торфа, а на органическую массу торфа – 20,6 и 18,6 % соответственно.

Таблица 4. Выход полисахаридов из торфяного и растительного сырья**Table 4. Polysaccharide yield from peat and plant raw materials**

| Сырье | Метод выделения | Выход полисахаридов, % на ОМ | |
|-------------------|------------------|------------------------------|-----------------|
| | | холоцеллюлозы | исходного сырья |
| Фускум-мох | Из холоцеллюлозы | 5,0 | 5,3 |
| | По Кочеткову | – | 1,2 |
| Магелланикум-мох | Из холоцеллюлозы | 4,4 | 4,9 |
| | По Кочеткову | – | 1,4 |
| Фускум-торф | Из холоцеллюлозы | 18,1 | 20,6 |
| | По Кочеткову | – | 4,2 |
| Магелланикум-торф | Из холоцеллюлозы | 14,3 | 18,6 |
| | По Кочеткову | – | 4,6 |

Выход полисахаридов, выделенных по методу Кочеткова, из фускум-мха составил 1,2 % от органической массы, для магелланикум-мха – 1,4 %. Для сфагновых торфов выход полисахаридов значительно выше и составил – 4,2 и 4,6 % соответственно.

Выделение полисахаридов по методу Кочеткова оказалось менее эффективным: по-видимому, была выделена лишь незначительная их фракция.

Методом кислотного гидролиза 2 М раствором трифторуксусной кислоты с последующей хроматографией гидролизатов изучен моносахаридный состав всех пектинов (табл. 5).

Таблица 5. Содержание моносахаридов в гидролизатах полисахаридов, % на сухую навеску**Table 5. Monosaccharide content in polysaccharide hydrolysates, % per dry weight**

| Моносахарид | Метод выделения, сырье | | | | | | | |
|----------------------|------------------------|------------------|-------------|-------------------|---------------------|------------------|-------------|-------------------|
| | из холоцеллюлозы | | | | по методу Кочеткова | | | |
| | Фускум-мох | Магелланикум-мох | Фускум-торф | Магелланикум-торф | Фускум-мох | Магелланикум-мох | Фускум-торф | Магелланикум-торф |
| Галактоза | 10,5 | 12,8 | 3,0 | 4,2 | 6,3 | 5,1 | 4,0 | 3,8 |
| Глюкоза | 11,4 | 8,4 | 8,7 | 7,9 | 6,5 | 6,8 | 4,6 | 4,2 |
| Манноза | 6,5 | 7,3 | 1,6 | 5,0 | 2,7 | 4,3 | 2,0 | 2,9 |
| Арабиноза | 4,2 | 3,6 | 3,4 | 2,1 | 2,5 | 2,6 | 1,5 | 2,4 |
| Ксилоза | 11,3 | 9,8 | 8,9 | 8,4 | 5,1 | 6,1 | 4,0 | 3,9 |
| Рамноза | 5,4 | 2,6 | 1,5 | 1,1 | 2,6 | 3,7 | 1,4 | 1,5 |
| Суммарное содержание | 49,3 | 44,5 | 27,1 | 28,7 | 25,6 | 28,6 | 17,5 | 18,7 |

Все полисахариды независимо от исходного сырья и метода выделения имеют одинаковый моносахаридный состав, но их суммарное содержание выше в образцах полисахаридов, выделенных из холоцеллюлозы мхов.

Определено содержание уроновых кислот в составе выделенных полисахаридов (табл. 6).

Таблица 6. Содержание уроновых кислот в образцах полисахаридов, % на органическое вещество**Table 6. Uronic acid content in polysaccharide samples, % organic matter**

| Метод выделения | Сырье | Массовая доля уроновых кислот |
|---------------------|-------------------|-------------------------------|
| Из холоцеллюлозы | Фускум-мох | 20,1 |
| | Магелланикум-мох | 17,3 |
| | Фускум-торф | 19,5 |
| | Магелланикум-торф | 17,6 |
| По методу Кочеткова | Фускум-мох | 18,4 |
| | Магелланикум-мох | 17,3 |
| | Фускум-торф | 16,8 |
| | Магелланикум-торф | 18,1 |

Содержание уроновых кислот в органическом веществе полисахаридов, выделенных из холоцеллюлозы магелланикум-мха – 17,3 %, фускум-мха – 20,1 %. Массовая доля уроновых кислот в полисахаридах, выделенных из холоцеллюлозы торфов, находилось практически на том же уровне и составляло

17,6 и 19,5 % соответственно. Для пектинов, выделенных по методу Кочеткова, содержание уроновых кислот было несколько ниже, и находилось в пределах 17,3–18,4 для мхов и 16,8–18,1 для торфов.

Исходя из достаточно высокого содержания в составе полисахаридов уроновых кислот, можно предположить, что выделенные соединения относятся к кислым полисахаридам класса пектинов. Невысокое содержание моносахаридов в растворах гидролизатов полисахаридов можно объяснить тем, что нейтральные моносахариды, связанные с уроновыми кислотами, с трудом гидролизуются, причем гидролиз в основном происходит по гликозидным связям между нейтральными моносахаридами. При этом образуются альдоби- и триуроновые кислоты, а содержание моносахаридов невысокое.

Выводы.

1. Из холоцеллюлозы двух видов сфагнового мха (фускум и магелланикум) и двух соответствующих видов малоразложившегося торфа, а также из исходного торфяного и растительного сырья по методу Кочеткова выделено восемь образцов полисахаридов. Выход полисахаридов из холоцеллюлозы фускум-мха составил 5,3 %, для магелланикум-мха – 4,9 % от органической массы. Для сфагнового торфов выход пектинов значительно выше и составил 20,6 % для фускум-торфа и 18,6 % для магелланикум-торфа. Массовая доля полисахаридов, выделенных по методу Кочеткова, существенно ниже и составила для фускум-мха 1,2 %; для магелланикум-мха – 1,4, для фускум-торфа – 4,2, для магелланикум-торфа – 4,6 % от органической массы сырья.

2. Все полисахариды независимо от исходного сырья и метода выделения имеют одинаковый качественный моносахаридный состав. Невысокое содержание моносахаридов в растворах гидролизатов, по-видимому, связано с наличием в их составе уроновых кислот, так как гликозидные связи нейтральных моносахаридов с уроновыми кислотами гидролизуются с трудом. Установлено, что массовая доля уроновых кислот в образцах полисахаридов, выделенных из холоцеллюлозы мхов, составляет для магелланикум-мха 17,3 %, для фускум-мха – 20,1 % от органического вещества. В полисахаридах, выделенных из холоцеллюлозы торфов, содержание уроновых кислот находится практически на том же уровне – 17,6 и 19,5 % соответственно. Для пектинов, выделенных по методу Кочеткова, содержание уроновых кислот несколько ниже и находится в пределах 17,3–18,4 % от органического вещества для мхов и 16,8–18,1 % для торфов.

Список использованных источников

1. Наумова, Г. В. Торф в биотехнологии / Г. В. Наумова. – Минск : Наука и техника, 1987. – 125 с.
2. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск : Беларуская навука, 2009. – 328 с.
3. Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск, 1975. – 320 с.
4. Шарков, В. И. Химия гемицеллюлоз / В. И. Шарков, Н. И. Куйбина. – Л. : Лесная промышленность, 1972. – 440 с.
5. Химия биологически активных природных соединений / под ред. Н. А. Преображенского и Р. П. Евстигнеевой. – М. : Химия, 1976. – 512 с.
6. Биологически активные соединения различных видов сфагнового торфа / Г. В. Наумова [и др.] // Химия твердого топлива. – 2015. – № 3. – С. 8–13.
7. Дмитрук, В. Н. Фармакологическое исследование растений рода *Sphagnum* / В. Н. Дмитрук, М. В. Белоусов, Л. Г. Бабешина. – Германия : Lambert, 2011. – 261 с.
8. Исследование полисахаридов некоторых видов рода *Sphagnum* / Л. Г. Бабешина [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. – 2011. – № 3. – С. 413–422.
9. Полисахариды из торфов и мхов / Н. В. Юдина [и др.] // Химия растительного сырья. – 1999. – № 4. – С. 97–100.
10. Химия углеводов / Н. К. Кочетков [и др.]. – М. : Химия, 1967. – 674 с.

References

1. Naumova G. V. *Torf v biotekhnologii* [Peat in biotechnology]. Minsk, Sci. and Tech. Publ., 1987, 125 p. (in Russian)
2. Tomson A. E., Naumova G. V. *Torf i produkty ego pererabotki* [Peat and the products of its proceeding]. Minsk, Belarus. Sci. Publ., 2009, pp. 56–141. (in Russian)
3. Lishtvan I. I., Korol' N. T. *Osnovnye svoystva torfa i metody ih opredeleniya* [Basic properties of peat and methods of their determination]. Minsk, Sci. and Tech. Publ., 1975, 320 p. (in Russian)
4. Sharkov V. I., Kujbina N. I. *Himiya gemicellyuloz* [Chemistry of hemicelluloses]. Leningrad, Forestry Industry Publ., 1972, pp. 440 p. (in Russian)
5. Preobrazhenskiy R. P. and Evstigneeva N. A. (Eds.). *Himiya biologicheskii aktivnykh prirodnykh soedinenij* [Chemistry of biologically active natural compounds]. Moscow, Chem. Publ., 1976, 512 p. (in Russian)

6. Naumova G. V., Thomson A. E., Zhmakova N. A., Makarova N. L., Ovchinnikova T. F. *Biologicheski aktivnye soedineniya razlichnyh vidov sfagnovogo torfa* [Biologically active compounds of various kinds of sphagnum peat]. *Himiya tverdogo topliva = Chemistry of Solid Fuels*, 2015, no. 3, pp. 8–13. (in Russian)
7. Dmitruk V. N., Belousov M. V., Babeshina L. G. *Farmakologicheskoe issledovanie rastenij roda Sphagnum* [Pharmacological study of plants of the genus *Sphagnum*]. Germany, Lambert Publ., 2011, 261 p. (in Russian)
8. Babeshina L. G., Gorina Y. V., Kolokolova A. P., Krasnov E. A., Karpova M. R. *Issledovanie polisaharidov nekotoryh vidov roda Sphagnum* [Study of polysaccharides of some species of the genus *Sphagnum*]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Himiya = J. of Siberian Federal University. Chemistry*, 2011, no. 3, pp. 413–422. (in Russian)
9. Yudina N. V., Pisareva S. I., Zvereva A. V., Dmitruk S. E., Kalinkina G. N. *Polisaharidy iz torfov i mhov* [Polysaccharides from peats and mosses]. *Himiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of Plant Raw Materials*, 1999, no. 4, pp. 97–100. (in Russian)
10. Kochetkov N. K., Bochkov A. F., Dmitriev B. A., Usov A. I., Chizhov O. S., Shibaev V. N. *Himiya uglevodov* [Chemistry of carbohydrates]. Moscow, Chemistry Publ., 1967, 674 p. (in Russian)

Информация об авторах

Жмакова Надежда Анатольевна – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: zhmakova@mail.ru

Макарова Наталья Леонидовна – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: nat.makarova05@gmail.com

Information about the authors

Nadezhda A. Zhmakova – Ph. D. (Technical), Associate Professor, Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: zhmakova@mail.ru

Natalya L. Makarova – Ph. D. (Technical), Associate Professor, Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: nat.makarova05@gmail.com