

Ц Б К

Pulp

еллюлоза

Paper

умага

Board

артон

08 [2011]

- В ближайшем будущем...
- От наших спецкорров:
Пермь, Костромская область; Санкт-Петербург.
- Проекты: Братск, Усть-Илимск; "Лиственница"...
- Обзор Рынка: гофрокартон и тара из него;
обои...
- Новые разработки российских технологов.
- Экология – в соответствии с нормативами ЕС.
- Плантационное выращивание тополя в Китае.
- Зарубежные поставщики предлагают...
- Календарь выставок и конференций.

Проект «Лиственница».¹

Биорефайнинг осины

Э. Л. Аким, Я. В. Бучельникова,
Л. К. Молотков, М. В. Коваленко,
Ю. Г. Мандре, СПб ГТУРП;
Ю. Н. Заяц, АО «Группа «Илим»;
А. Д. Сергеев, СибНИИ ЦБП;
О. В. Рыбников;
Н. Я. Рассказова, СПб ГТУ РП

Существует ряд аспектов, по которым проект «Лиственница» оказывается в настоящее время связанным с проблемами биорефайнинга осины и других видов тополей. Как уже отмечалось в предыдущих статьях [1-2], лесные запасы России состоят на 58 % из лиственницы (сибирской и даурской) и сосны. В лесосырьевой базе ОАО «Группа «Илим» возможный ежегодный объем заготовки древесины лиственницы (сибирской и даурской) может составить свыше 1,3 млн кубометров, а в целом по России – 105 млн кубометров. Однако, наряду с сосной и лиственницей в сибирской лесосырьевой базе содержатся и лиственные породы, прежде всего осина и береза. Поэтому на практике при переработке лиственницы всегда оказывается некоторое количество и этих пород. Сибирские ЛПК и ЦБК работают уже несколько десятилетий. При естественном лесовосстановлении после сплошных ру-

бок восстановление леса начинается с роста именно осины, и поэтому можно говорить о припевающихся осино-вых лесах в регионах расположения этих предприятий. Поэтому проблема квалифицированного использования осины становится актуальной для Сибири. Еще более актуальна она для Северо-запада России.

Однако, с учетом мировых тенденций, в настоящее время целесообразнее рассматривать не просто проблемы использования в ЦБП осины, а анализировать всю совокупность проблем, связанных с ее биорефайнингом. Как известно, биорефайнинг – это комплексная глубокая химическая переработка древесины с превращением ее основных компонентов в товарные продукты с высокой добавленной стоимостью (как много-, так и малотоннажные). По аналогии с «нефтехимическим синтезом» можно говорить о «лесохимическом синтезе», с использованием всех достижений нефтехимии и лесохимии [3, 4].

Биорефайнинг рассматривают как современное направление развития мирового лесного комплекса, одно из важнейших направлений как Европейской, так и **Российской Лесной Технологической платформы**. При реализации принципов биорефайнинга осуществляется перевод целлюлозно-бумажных предприятий, ориентированных на выпуск ограниченного набора продуктов в интегрированные многопрофильные пред-

приятия, с широким спектром выпускаемой продукции [1].

Морфология осины. Тополь дрожащий (*Populus tremula* L.), на практике именуемый осиной, – одна из лесообразующих древесных пород в России. Осина характеризуется быстрым ростом. Она образует высокоплотные чистые и смешанные древостои. Максимальный прирост древесины наступает в возрасте 45 – 50 лет и к этому времени ее запас на гектаре достигает 250 – 300 пл. м³. К перестойным осиновым лесам относится, как известно, деревья в возрасте более 50 лет, при этом разрешенный возраст рубки составляет 41 год. После вырубki осина успешно возобновляется вегетативным, при помощи корневых отпрысков, и семенным путем. Это позволяет осине удерживать занятые ею территории [5].

Осина («Тополь дрожащий») – раздельнополая порода. Одни деревья несут женские соцветия и образуют мелкие семена с опушением, которые легко разносятся ветром, а другие – мужские. По всем свойствам (лесообразующим, качеству древесины) они подобны. Для осины свойственно формовое разнообразие по морфологическим признакам, структуре древесины и устойчивости к поражению центральной белой гнилью. Одни формы (клоны) к 30 – 40 годам поражены гнилью до 80 – 90 %. В других насаждениях, даже в возрасте 60 – 80 лет, гнилью поражается не более 10 % де-

¹Проект «Разработка инновационной технологии комплексной переработки древесины лиственницы (с выводом на мировые рынки нового вида товарной целлюлозы)» осуществляется при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки России). Инициатором проекта «Лиственница» выступило ОАО «Группа «Илим» в партнерстве с Санкт-Петербургским государственным технологическим университетом растительных полимеров.

ревьев, а содержание гнили в стволе составляет не более 6 – 8 %. Особенно устойчива к гнилям трехплодная форма осины. Она отличается от других диплоидных форм интенсивным ростом в высоту и по диаметру, быстрым очищением ствола от сучьев, долговечностью, образованием более плотной древесины из-за увеличенного содержания волокон либриформа и пониженного содержания сосудов и сердцевинных лучей.

Древесина тополей относится к рассеянно-сосудистым породам, подобно березе и буку. Основная масса древесного вещества образована волокнистыми элементами – волокнами либриформа, выполняющими механическую функцию, обеспечивая прочность ствола дерева.

В этом контексте и приводится ниже анализ результатов экспериментальных исследований по сопоставлению морфологических особенностей данных видов древесины осины. Исследования, по описанным ранее методикам [6-8], включали: определение твердости древесины по Янка; оценку физико-механических свойств образцов в режиме сжатия по осям анизотропии, а также электронно-микроскопические исследования. Исследования проводились на кубиках (размером 20х20х20 мм), полученных из спила осиновой древесины, разделенного на три условных зоны (здоровой, пораженной гнилью, пограничной).

На рис. 1 (а, б), приведены электронные микрофотографии здоровой древесины осины, а на рис. 1 (в, г) – древесины, пораженной гнилью. Исследования проводились по методике [6]. По сравнению с трахеидами хвойных пород, у осины волокна либриформа значительно уже и короче; они имеют узкие полости и относительно толстые стенки со щелевидными порами. Длина древесных волокон зависит от места их расположения на поперечном сечении ствола. В центральной части, в молодой по образованию древесине, длина волокон со-

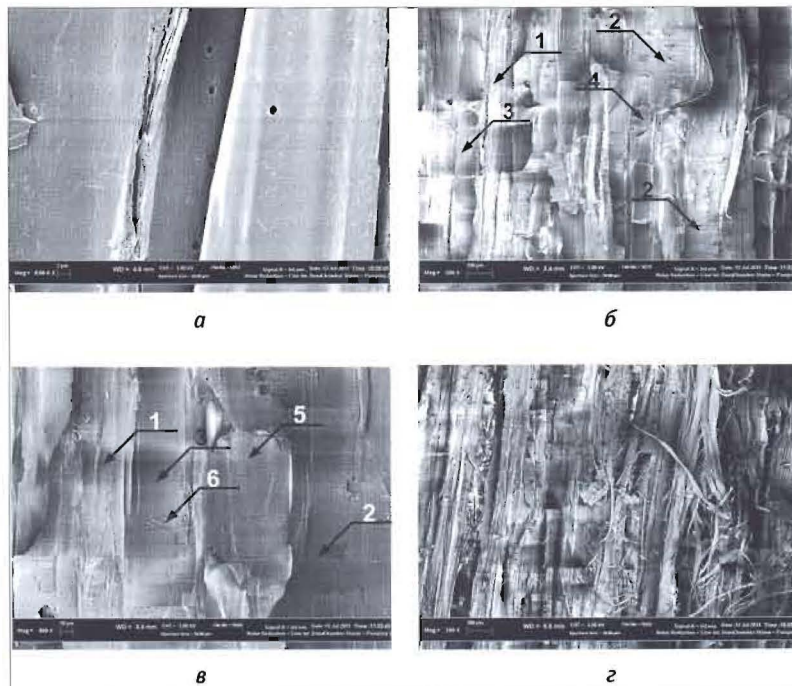


Рис. 1. Электронная микрофотография древесины осины:

а. Электронная микрофотография радиального скола здоровой древесины осины (масштаб: 100 μm);

б. Электронная микрофотография радиального скола здоровой древесины осины (масштаб: 20 μm): 1 – волокна либриформа; 2 – сердцевинный луч; 3 – сосуд; 4 – перфорация на конце членика сосуда; 5 – простые поры овальной формы на стенке сосуда.

в. Электронная микрофотография древесины осины, пораженной гнилью (масштаб: 2 μm).

г. Электронная микрофотография древесины осины, пораженной гнилью (масштаб: 100 μm).

ставляет 0,4 – 0,6 мм. В годичных слоях 40 – 50 летнего возраста длина волокон достигает максимальной величины и составляет 1,4 – 1,7 мм. Ширина волокон либриформа изменяется в пределах 0,020 – 0,046 мм. В объеме ствола волокна либриформа занимают 60 – 65%.

Сосуды, являющиеся проводящей системой ксилемы, представляют собой длинные широкополостные тонкостенные трубки различной длины. Они образованы короткими (от 0,2 до 1,3 мм) широкими клетками (чле-

никами), которые контактируют друг с другом посредством перфораций в виде единственного отверстия диаметром, равным диаметру членика. На тангентальных стенках сосудов расположены мелкие окаймленные поры без торуса, посредством которых отдельные сосуды контактируют между собой. На радиальных стенках сосудов расположены относительно редко мелкие простые овальные поры. На пересечении с паренхимными клетками сердцевинных лучей тесно, группами по 12-16 штук,

расположены крупные округлой формы простые поры. В объеме ствола сосуды занимают до 26 %. Паренхимные клетки образуют гомогенные сердцевинные лучи, а также ряды вертикальной паренхимы. Древесная паренхима в объеме ствола занимает до 15 %. Волокнистые полуфабрикаты, выработанные из осины, содержат в основном членики сосудов и волокна либриформа (рис. 1 б). Морфологическое строение именно этих элементов древесины и определяет свойства таких полуфабрикатов, придающих бумаге пухлость и непрозрачность.

В качестве параметра оценки древесины по качеству и по степени биодеструкции, был применен тест твердости по Янка (табл. 1), основанный на вдавлении шарика в поверхность кубика древесины [9]. Из представленных данных видно, что для осины определение твердости в каждой зоне является информативной количественной характеристикой процесса деструкции. В связи с глубокой биодеструкцией для осины наблюдаются существенные отличия структуры ядровой зоны от периферии. Для березы также наблюдается изменение по зонам, но не такое существенное. У сосны и лиственницы наблюдаются стабильные показатели (в пределах величины разброса). Полученные данные показывают, что характеристика твердости является достаточно чувствительной и универсальной и может быть использована для оценки качества древесины.

Исследования древесины по определению показателей анизотропии (табл. 2) проводились в условиях одноосного сжатия в поперечном (П), радиальном (Р) и тангенциальном (Т) направлениях. Кубик древесины моделирует поведение отдельных (индивидуальных) единиц древесной щепы, полученных из разных зон древесины (здоровой, пораженной гнилью, пограничной). Условия испытания образцов древесины

Таблица 1.

Твердость по Янка (Н) для различных пород древесины в условном зональном разделении			
Порода древесины	Центральная зона	Пограничная зона	Заболонная зона
Осина	18	880	1021
Береза	1676	2214	2956
Сосна	1550	1572	1585
Лиственница	1372	1600	1651

Таблица 2.

Физико-механические показатели образцов древесины осины (влажность 30%) в условном зональном разделении в направлениях поперечном (П), радиальном (Р) и тангенциальном (Т)									
Показатели	Здоровая древесина			Пограничная зона			Поврежденная древесина		
	П	Р	Т	П	Р	Т	П	Р	Т
Направление									
Плотность образца при влажности более 30%, г/см ³		0,8			0,6			0,2	
Деформация до нагрузки 4000 Н, ϵ_{max} , % от исходного размера	5	58	58	8	67	67	74	73	72
Коэффициент анизотропии	1	11,6	11,6	1	8,4	8,4	1	1	1

в режиме сжатия моделируют поведение древесины в процессе получения ХТММ – в питательном шнеке и вертикальной пропиточной колонне. Изменения показателей анизотропии при испытании древесины в режиме сжатия отражает и степень биодеструкции древесины. Как видно из результатов, представленных в табл. 2, появление в осине гнили приводит к чрезвычайному изменению всех свойств древесного вещества. Поврежденная древесина имеет плотность в 4 раза меньшую, по сравнению со здоровой древесиной, а в пограничной зоне плотность снижается на 25 %, т. е. имеет промежуточное значение. У здоровой древесины в условиях одноосного сжатия в поперечном направлении величина деформации составляет лишь 5 %, ярко выражена анизотропия свойств,

коэффициент анизотропии составляет свыше 11. В пограничной зоне в поперечном направлении величина деформации возрастает до 8 %, коэффициент анизотропии снижается до 8,4. Поврежденная древесина сжимается как губка, при этом в ней практически нет анизотропии свойств, а деформации практически полностью обратимы.

На рис. 2 представлены кривые сжатия образцов древесины осины здоровой и пораженной гнилью, а на рис. 3 – изменения «мгновенного» модуля упругости этих же образцов. Разрушение образцов пораженной древесины начинается с продольного изгиба отдельных волокон, далее наблюдается смятие у торцов и выпучивание боков.

В образцах пограничной зоны наблюдается сдвиг одной части об-

разца относительно другой по линии активной жизнедеятельности микроорганизмов, по-видимому, проходящей на тангенциальной поверхности, под некоторым углом к оси образца. Можно предполагать, что в поврежденных микроорганизмами сосудах, волокнах либриформа возникают линии скольжения. В дальнейшем эти линии соединяются в линии разрушения и происходит деформирование образца. Образцы здоровой древесины (рис. 2, 3, кривая 3) оказывают большое сопротивление сжатию вдоль волокон.

При поражении гнилью у образцов с глубокой степенью био-деструкции растворение компонентов клеточной стенки происходит интенсивнее и сопровождается необратимым разрушением образца в условиях сжатия. Резкое снижение физико-механических характеристик древесины указывает на селективное расщепление первичной клеточной оболочки и наружного слоя (S1) волокна, что было подтверждено при электронно-микроскопическом исследовании образцов древесины, содержащей гниль (рис. 1 в, г).

Направления переработки древесины осины

Анализ представленных выше экспериментальных данных и их сопоставления с современными химическими технологиями биомассы древесины [10] позволяет рассматривать для древесины осины ряд направлений био-рефайнинга. Из всего многообразия процессов био-рефайнинга для древесины осины в настоящее время используются лишь несколько. Их выбор связан с глубиной поражения осины гнилью. Для механической переработки пригодна, безусловно, только древесина осины не содержащая гнили (кстати, в старые времена на Руси осина рассматрива-

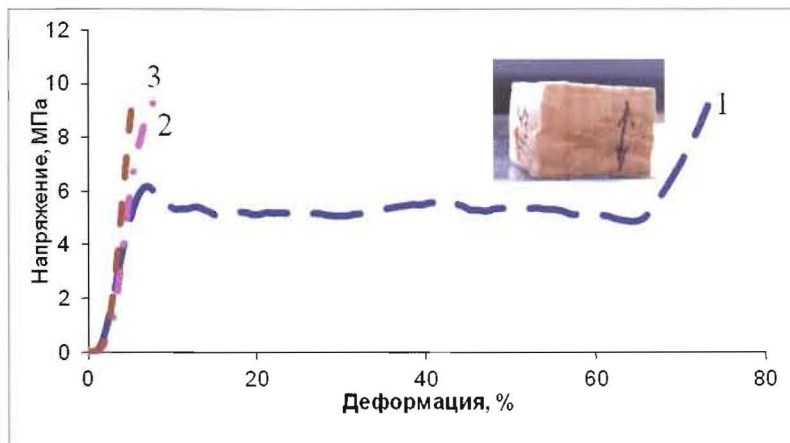


Рис. 2. Кривые сжатия образцов древесины осины вдоль волокон:

- 1 – пораженная гнилью;
- 2 – пограничная древесина;
- 3 – здоровая древесина

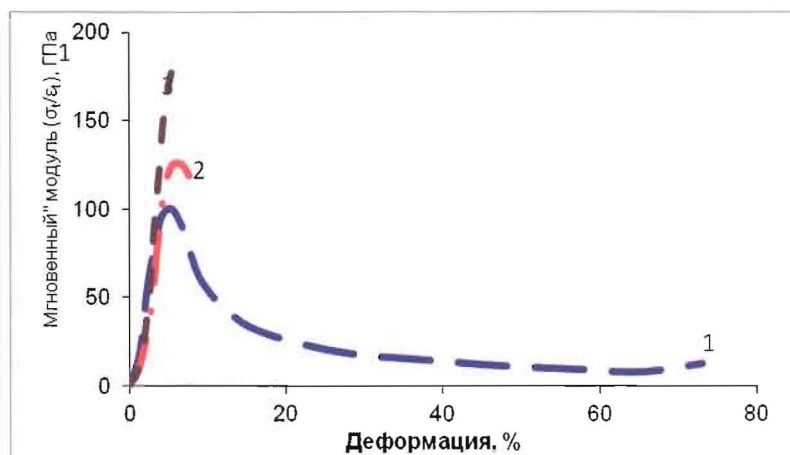


Рис. 3. Изменение «мгновенного» модуля упругости при развитии деформации сжатия образцов древесины осины:

- 1 – пораженная гнилью;
- 2 – пограничная древесина;
- 3 – здоровая древесина

лась как ценнейший строительный материал, применяемый, например, в виде кровельной дранки или лемехов для кровли церквей).

Производство полуфабрикатов высокого выхода (ТММ, ХТММ, БХТММ) из осины в настоящее время в мире применяется достаточно широко. При этом использование БХТММ из осины в композиции при

производстве многих сортов упаковочного картона, а также печатных и офисных видов бумаги позволяет улучшить потребительские свойства (пухлость, жесткость) и снизить себестоимость за счет снижения базового веса картона и бумаги. Для производство полуфабрикатов высокого выхода (ТММ, ХТММ, БХТММ) из осины требуется, однако, древесина

с весьма ограниченным количеством гнили, что будет подробнее рассмотрено ниже.

Для получения сульфатной целлюлозы из осины ограничение по содержанию гнили может быть смягчено. Использование осины в смеси до 40 % с березой для производства лиственной крафт-целлюлозы широко практикуется многими европейскими предприятиями без ущерба качеству конечного продукта.

При переработке смеси осины с другими породами (лиственница, сосна, береза и др.), особенно при использовании пневмотранспорта, частицы здоровой осинового щепы и щепы других пород обеспечивает достаточно полное отделение гнили за счет истирания, тем самым повышается качество щепы.

Описанное выше различие в свойствах твердости древесины (по Янка) проявляется при совместной переработке щепы из смесей пород древесины. При использовании для производства сульфатной целлюлозы осинового щепы, пораженной гнилью, пневмотранспорт щепы выполняет дополнительную функцию механического измельчения гнилых фрагментов щепы, под ударным воздействием более твердых частиц щепы лиственницы, березы, сосны и здоровой осины. Удаляемые при последующем сортировании частицы гнили вместе с опилочной фракцией используются как биотопливо. Поэтому при сульфатной варке, особенно при наличии пневмотранспорта щепы, наличие в осинового щепы гнили не приводит к негативным последствиям.

Совершенно иная картина наблюдается при производстве БХТММ, где использование пневмотранспорта крайне нежелательно из-за жестких требований к качеству щепы и содержанию мелочи [7].

Наличие гнили в древесине осины обуславливает ряд специфических особенностей при ее использо-

вании в производстве БХТММ. Проведенные исследования позволили экспериментально установить и теоретически обосновать взаимосвязь физико-механических свойств древесины, био-деструкции и особенностей процесса переработки здоровой и пораженной гнилью осинового щепы [7]. Было показано наличие ряда эффектов. В условиях получения БХТММ повышенное содержание гнили приводит не только к снижению pH и к увеличению расхода химикатов и воды, но и к созданию систем с ярко выраженными буферными свойствами из-за участия продуктов био-деструкции древесины в образовании «ацетатной буферной системы».

Выполненные исследования позволили предложить и успешно апробировать на практике научно-обоснованные пути решения выявленных проблем при производстве БХТММ из древесины осины:

- Осуществлять сортирование осинового баланса с использованием для производства БХТММ только здоровой древесины, а древесину, пораженную гнилью, использовать для производства сульфатной целлюлозы, оборудованного пневмотранспортом щепы, выполняющего при этом дополнительную функцию механического измельчения гнилых фрагментов щепы, удаляемых впоследствии при сортировании или как био-топливо.

- Оптимизировать процесс получения БХТММ и снизить забуференность стоков при производстве БХТММ за счет ужесточения требований к качеству осинового баланса по допускаемому содержанию гнили.

- Во избежание развития вторичной гнили минимизировать сроки хранения осинового баланса, (особенно в летний период), а при неизбежности летнего хранения – использовать, например, хранение баланса в штабелях «под шубой» из смеси снега и опилок.

На протяжении достаточно длительного времени осина рассматривалась в лесной промышленности как сорная, малоценная порода. Последнее десятилетие с успешным опытом плантационного выращивания тополя, прежде всего в Китае [11], показало, насколько перспективна эта порода.

Поэтапная реализация всех рассмотренных выше направлений позволит перейти на практике к осуществлению принципов биорефининга осины и других видов тополей и откроет новые возможности интенсификации лесопользования, при одновременном предотвращении ухудшения породного состава лесосырьевой базы.

Обычно, обсуждая различные аспекты использования в ЦБП древесины, заготовленной на плантациях, в том числе на плантациях ускоренного роста, основное внимание уделяют вопросу их продуктивности. Однако, не меньшее значение имеет и исключительная однородность такого сырья. Принципиально иная картина наблюдается для российских предприятий, работающих на древесине, заготавливаемой в естественных лесах. И хотя в СССР плантационное выращивание тополя осуществлялось, например, для **Херсонского ЦБК**, в настоящее время конкурентоспособность плантационного выращивания тополя для России представляется достаточно дискуссионным. При обсуждении этого вопроса целесообразно учитывать и последние достижения в этой области в мире, прежде всего, в Китае [11].

Список литературы

1. Чуйко В. А., Аким Э. Л. «Актуальные проблемы инновационного развития целлюлозно-бумажной промышленности России», «Целлюлоза. Бумага. Картон», № 8, стр. 3-9, 2010.
2. Херберт П., Аким Э. «Тенденции глобальных рынков ЦБП и про-

ект «Лиственница». «Целлюлоза. Бумага. Картон.», № 6, стр. 3-9, 2011.

3. «Forest Products Annual Market Review, 2010-2011», UNECE/FAO UN, Geneva – NY, 2011, 155 p.

4. «Ежегодный анализ рынков лесных товаров 2009-2010 годы» Организация Объединенных Наций, Женева – Нью-Йорк, 2010 г., 224 стр.

5. Яблоков А.С. «Воспитание и разведение здоровой осины». Гослесбуиздат, М., 1963, 440 с.

6. Аким Э. Л., Молотков Л. К., Сапрыкина Н. Н., Коваленко М. В., Мандре Ю. Г., Махотина Л. Г., Сергеев А. Д., Виноградов Н. В. «Электронно-микроскопические исследования анатомического строения древесины лиственницы». «Целлюлоза. Бумага. Картон», № 7, стр. 3-10, 2011.

7. Аким Э.Л., Коваленко М. В. Рассказова Н.Я., Бучельникова Я.В. «Особенности использования осинового сырья в ЦБП». «Целлюлоза. Бумага. Картон.», № 8. стр. 54-61, 2009.

8. Аким Э.Л., Коваленко М.В., Рассказова Н.Я., Васильев В.В., Ерохина О.А., Бучельникова Я.В., Мандре Ю.Г. «Программно-аппаратный комплекс для изучения свойств древесины лиственницы». «Целлюлоза. Бумага. Картон.». № 5, стр. 22-26, 2011.

9. David W. Green, Marshall Begel and William Nelson. Janka Hardness Using Nonstandard Specimens. Research Note FPL-RN-0303. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2006.

10. «Технология целлюлозно-бумажного производства», Справочные материалы. СПб. 2002-2010, Много-томник, в 7-и томах.

11. A. Lebedys, W. Kollert, Poplar resources and markets from European perspective. 1st meeting of European Poplar Producers, Forest Management Division, FAO, Rome, Valladolid, 18 May 2010.



**ООО Торговая Компания
«УпакПолиграфКартон»**

Предприятие является
официальным трейдером
крупнейших целлюлозно-бумажных
заводов России,
производящих сырье
для изготовления гофроупаковки.

**Картон для плоских слоёв
гофрированного картона**

Топ-лайн, крафт-лайн

Бумага для гофрирования

Гофротара

Тел./факс: 8 (831) 430-28-41, 430-31-15,
434-44-50, 430-69-03, 260-03-90.
e-mail: info@ypk-nn.ru
http://www.ypk-nn.ru