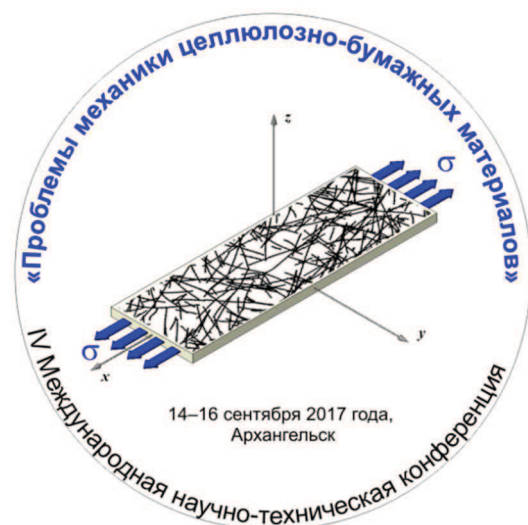




Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»

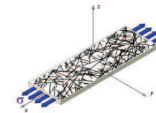
# ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ



## МАТЕРИАЛЫ IV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПОСВЯЩЕННОЙ ПАМЯТИ ПРОФЕССОРА В.И. КОМАРОВА

14–16 сентября 2017 г.

Архангельск  
2017



## **ПРОРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ («ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВЗРЫВЫ») И РАЗВИТИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В МИРЕ И РОССИИ**

**Э.Л. Аким**

*Санкт-Петербургский государственный технологический университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, Россия*

*Для лесного сектора России прорывные технологии являются единственным путем выхода на инновационный путь развития. Они должны учитывать специфику российской лесосырьевой базы и быть адаптательны к современному основному технологическому оборудованию. На примере работ по биорефинингу древесины лиственницы и древесины осины показана возможность реализации прорывных отечественных технологий на современном технологическом оборудовании.*

## **BREAKTHROUGH TECHNOLOGIES ("TECHNOLOGICAL EXPLOSIONS") AND THE DEVELOPMENT OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY IN THE WORLD AND IN RUSSIA**

**E.L. Akim**

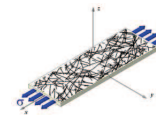
*Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design (SPbSUITD), Saint Petersburg, Russia*

*For the forest sector of Russia, breakthrough technologies are the only way to enter the innovative path of development. They should take into account the specifics of the Russian timber resource base and be adaptable to modern basic technological equipment. On the example of works on biorefining of larch and aspen wood, the possibility of implementing breakthrough domestic technologies on modern technological equipment.*

Целлюлозно-бумажную промышленность справедливо считают локомотивом развития Лесного сектора [1-4], а для ряда богатых лесом стран и регионов – и локомотивом развития экономики в условиях перехода к зеленой экономике и к циркулярной экономике [5-9].

Наша страна, занимавшая в 1980 году четвертое место в мире, сегодня находится в середине второго десятка, произведя в 2016 году 8,5 млн. т бумаги и картона (и 2,6 млн. т товарной целлюлозы). Задачей Российской «Лесной технологической платформы» как части Платформы «Био-Тех2030» является создание и реализация инновационной модели развития лесного комплекса России, ее научное и кадровое обеспечение [5,9].

Как показывают анализы и прогнозы ФАО ООН, Лесной сектор России и мира, также, как и большинство секторов традиционной индустрии



вышли на «технологическое плато». Оно характеризуется замедлением динамики, падением отдачи от инвестиций, отсутствием радикальных инноваций и т.п. В условиях непрерывного роста населения земли для экстенсивного роста за счет первичной индустриализации развивающихся стран и рынков ресурсов явно недостаточно. Дальнейшее промышленное развитие связано с «Прорывными технологиями», с запуском следующего инновационно-технологического цикла – сменой технологической парадигмы. Для многих отечественных производств такой путь является единственным путем выживания в условиях мировой конкуренции и свободной торговли. Предприятия лесного сектора, которые были спроектированы и построены в середине прошлого века, ныне подлежат полной реконструкции. Реконструкция позволит создать принципиально новые предприятия XXI века, минуя те стадии, которые проходили лидеры мирового лесного комплекса за последние десятилетия. Иными словами, лесной комплекс России должен «перешагнуть» через стадии, которые поэтапно проходил в последние десятилетия лесной комплекс передовых лесопромышленных стран. Реализация такой модели технологического и интеллектуального прорыва требует серьезного научного и кадрового обеспечения, предвидения рынков и тенденций их развития на несколько десятилетий вперед [5].

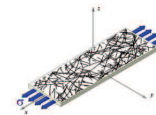
Существуют различные подходы к разработке длительных прогнозов. Так, в книге Тони Себа «Чистый прорыв» приводятся тезисы, относящиеся к «Прорывным технологиям» или к «Технологическому взрыву», среди которых:

– в течение ближайших полутора десятилетий мир, в котором мы живем, необратимо изменится в результате технологического взрыва, который уже начался;

– технологический взрыв – это комбинация технологий, создающих новые рынки или радикально трансформирующих старые;

– прорывные технологии сегодня – это накопители энергии, электромобили, беспилотные автомобили, солнечная энергетика. Есть и другие.

В качестве примера неудачного прогноза Тони Себа приводит следующую историю: «В 1985-м крупнейшая телекоммуникационная компания мира АТ&Т наняла фирму «Мак Кензи и Ко» и задала ей один вопрос: каков будет рынок мобильных телефонов в ближайшие 15 лет? В АТ&Т хотели знать – стоит ли, и, если да, то насколько решительно стоит, вкладываться в новые рынки. Мак Кензи спрогнозировала, что объем мобиль-



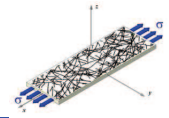
ной телефонии в США в течении 15 лет составит 900 тыс. человек. В реальности оказалось 109 миллионов. «Мак Кензи и Ко» ошиблись в 120 раз. В результате, AT&T не пошла на рынок мобильной связи и осталась со своим бизнесом проводной связи». К такой «точности прогноза» привели не учет возможности появления новой «прорывной технологии» или недооценка ее значимости.

Классическая модель прорывной технологии - повсеместное вытеснение шариковыми ручками перьевых ручек, приведшее к исчезновению потребности в промокательной бумаге – «Промокашке». Однако, можно говорить о том, что технологии и материалы не умирают полностью, а возрождаются потом на новом витке спирали. Так, в современных памперсах, целлюлозный компонент – «флафф-палп», выполняет не столько впитывающие функции, сколько транспортирующие, перенося жидкость к суперсорбенту, и ограждающие, препятствуя обратному процессу.

Подход Тони Себа перекликается с методологией «форсайта» - «Foresight». Форсайт представляет собой систему методов экспертной оценки стратегических направлений социально-экономического и инновационного развития, выявления технологических прорывов, способных оказать воздействие на экономику и общество в средне- и долгосрочной перспективе. При этом важнейшим его элементом является прогноз развития потребляющих отраслей, т.е. прогноз развития рынков.

Обсуждение перспектив Лесного Комплекса России было проведено на Петербургском экономическом форуме в июне 2017 года. За год до этого, выступая на Петербургском экономическом форуме 2016 года профессор Массачусетского технологического института Лорена Грэм сказал, что только реформы способны поставить развитие новых технологий на поток. Он сказал также «Россия может предложить великие идеи, но не в состоянии ими воспользоваться!». Это положение полностью относится и к ЦБП. В качестве примеров можно привести отбелку целлюлозы молекулярным кислородом и бессточную технологию на Селенгинском ЦКК. Так, бесхлорная отбелка целлюлозы родилась в нашей стране еще в 1956 году и по такой технологии сегодня в мире отбеливают свыше 90 % от общего объема производимой беленой целлюлозы, на Селенгинском ЦКК в 1990 году была реализована в действие первая в мире бессточная технология.

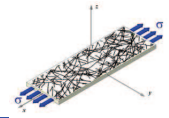
В отличие от других отраслей Российской промышленности (химической, текстильной и др.), целлюлозно-бумажная промышленность России сохранила объемы производства продукции на уровне 1990 года [5].



При этом, хотя в России за последние 40 лет не построено ни одного нового ЦБК, произошла реструктуризация отрасли. Сегодня Российская ЦБП имеет четко выраженный экспортно-ориентированный характер; в мировых потоках Российская ЦБП позиционируется как поставщик «северных армирующих хвойных волокон» и как поставщик картона и бумаги из первичных волокон. Так, «Группа «Илим» экспортирует товарной целлюлозы в 1,5 - 2,0 раза больше, чем экспортировал СССР в 1980-1990 годах [8].

Важнейшим импортером российской продукции является Китай. Как известно, Китай сегодня самый крупный потребитель как первичного, так и вторичного волокна – как собственного, так и импортируемого. Российский Лесной Комплекс экспортно-ориентирован и стал заметным игроком на мировых рынках, как поставщик «армирующей» северной хвойной целлюлозы, бумаги и картона из первичных волокон. Такая ситуация нравится далеко не всем, и, прежде всего – конкурирующим фирмам и странам, которые прямо или косвенно убеждают всех, что для России предпочтителен сырьевой бизнес и стратегия переноса технологий. (Очень удобная позиция – конкурент всегда будет отставать на 5-7 лет).

Есть три пути развития Российского Лесного Комплекса – инновации, перенос лучших практик и их сочетание. Лесная Технологическая Платформа [7,9], как часть «БиоТех 2030» отвечает на этот вопрос однозначно – мы идем по инновационному пути, точнее по пути его совмещения с переносом лучших практик. И как бы ни хотелось некоторым зарубежным «экспертам», даже с самыми большими регалиями, убеждать, что Россия должна заниматься только переносом технологий, сохранить конкурентоспособность на мировых рынках можно, только идя по пути сочетания инноваций и переноса практик, с одновременной разработкой новых прорывных технологий и концепций. Для Лесного комплекса такой новой концепцией является био-рефайнинг древесины (biorefinery) – производство наукоемкой продукции, с высокой добавленной стоимостью, на базе комплексной глубокой переработки лесных ресурсов непосредственно в регионе произрастания с рациональным использованием всех компонентов древесины. Советский Союз в середине XX века перешел от строительства целлюлозно-бумажных комбинатов (ЦБК) к строительству Лесопромышленных комплексов (ЛПК). Именно так построены Архангельский, Котласский, Братский и Усть-Илимский ЛПК. По сути эти комплексы являлись предприятиями био-рефайнинга. Концепцию био-рефайнинга, в ее широком понимании, и целесообразно брать за основу стратегических



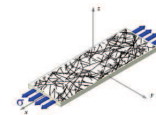
(длительных) прогнозов. В результате специфической особенностью структуры современного целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК) и лесопромышленного комплекса (ЛПК) является отказ от концепции стволового бизнеса и возврат к концепции диверсификации бизнеса.

В докладах Ричарда Филлипса на Симпозиуме EUCERA (Гренобль, 1999), Маркуса Валленберга (Европейская Неделя Бумаги, 2009) и др. отмечалось, что машиностроительные компании в последние десятилетия тратят на R&D значительно больший процент от своего оборота, чем Компании ЦБП. Это позволило им создать новые поколения оборудования большой единичной мощности, хотя и ориентированное на новые технологические процессы, но обладающие достаточной гибкостью. Объединения ряда Компаний позволило практически трем-пяти машиностроительным компаниям монополизировать рынок оборудования для ЦБП и увеличить стоимость оборудования (в пересчете на удельную мощность) примерно в полтора раза.

В условиях глобализации мировой ЦБП, интеграции российской ЦБП в мировую экономическую систему, в мировую ЦБП и мировые рынки, необходимо параллельное и даже упреждающее решение экологических проблем. В 2015 году вышел Документ по стандартизации Российской Федерации «Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Производство целлюлозы, древесной массы и картона» [2].

Поэтому российские инновации, учитывающие, в частности, специфику отечественной лесосырьевой базы, целесообразно совмещать с переносом лучших практик, т.е. лучшего современного оборудования. Только так можно сохранить конкурентоспособность на мировых рынках. В качестве примеров можно привести и биорефайнинг древесины лиственницы (рис.1) и биорефайнинг осины. Как в том, так и в другом случае, в основе лежат фундаментальные исследования связанных с регионом произрастания специфических особенностей древесины, ее надмолекулярной структуры во всем ее морфологическом разнообразии.

В 2010 году ОАО «Группа «Илим» и СПб ГТУ РП, вышли в победители по первому открытому конкурсу, проводившемуся в рамках реализации Постановления Правительства РФ №218. В 2010-2014 гг. они выполнили крупнейший в лесном комплексе России инновационный проект – «Разработка инновационной технологии комплексной переработки древесины лиственницы (с выводом на мировые рынки нового вида товарной

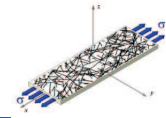


целлюлозы) – проект «Лиственница» (научный руководитель проекта – проф. Э.Л. Аким). Проект был реализован на принципах частно-государственного партнерства, с общим объемом финансирования свыше 350 млн. руб., в том числе объем государственного финансирования – около 150 млн. руб.

Комплексный проект «Лиственница» направлен на разработку и промышленную реализацию био-рефайнинга древесины лиственницы - инновационной технологии сульфатной варки целлюлозы и комплексной химической переработки ее не целлюлозных компонентов, прежде всего - арабиногалактана. К выполнению исследований по проекту были привлечены институты РАН (ИВС, ИХФ, ЦЭПЛ, ИКИ), ВУЗы (СПбГТУРП, СПбГУТД, СПбГЛТУ и др.), отраслевые институты, зарубежные университеты и компании. Проект базировался на исследованиях древесины лиственницы моего учителя, Чл. корр. АН СССР Н.И. Никитина и на разработанной нами ранее [4] концепции об определяющей роли релаксационного состояния полимерных компонентов древесины.

На основании фундаментальных исследований структуры древесины лиственницы, в ходе выполнения проекта впервые было установлено, что в древесине лиственницы арабиногалактан (АГ) находится в виде аква-комплексов, находящихся в жидком состоянии. Этот комплекс локализован в капиллярно-пористой структуре древесины и может быть легко удален, что и позволило предложить инновационные методы, как получения волокнистых полуфабрикатов, так и извлечения из щепы арабиногалактана (рис.1). Методы апробированы в лабораторных и реализованы в промышленных масштабах.

Суть инновационных методов получения волокнистых полуфабрикатов заключается в том, что, в отличие от варки других пород древесины, в которых содержащиеся в них гемицеллюлозы для их последующего извлечения надо подвергать гидролизу до водо-щелоче-растворимых моно- и олигосахаридов, находящийся в жидком состоянии аква-комплекс арабиногалактана (АГ) древесины лиственницы легко экстрагируется перед варкой водой и/или черным щелоком. Иными словами, АГ экстрагируется в полимерной форме и, как водная дисперсная система, и может использоваться как водорастворимое и биологически-активное вещество широкого спектра применения. До формирования много тоннажного рынка арабиногалактана, он может использоваться в качестве био-топлива путем его сжигания в черном щелоке, в классическом содорегенерационном котле.



В связи с пуском на Братском филиале ОАО «Группа «Илим» современной линии непрерывной варки была проведена адаптация и успешное освоение разработанной технологии к этому современному оборудованию. Предложенные инновационные технологии получения волокнистых полуфабрикатов из древесины лиственницы и извлечения арабиногалактана защищены 19 патентами РФ.

Разработанные технологии переработки 100 % лиственницы, а также ее смесей с другими видами древесного сырья реализованы на Братском филиале ОАО «Группа «Илим», который с ноября 2014 года перешел на инновационные технологии производства беленой хвойной целлюлозы. На 1 июня 2017 года выпущено и реализовано продукции – товарной целлюлозы, произведенной по инновационной технологии, на сумму свыше 40 миллиардов рублей.

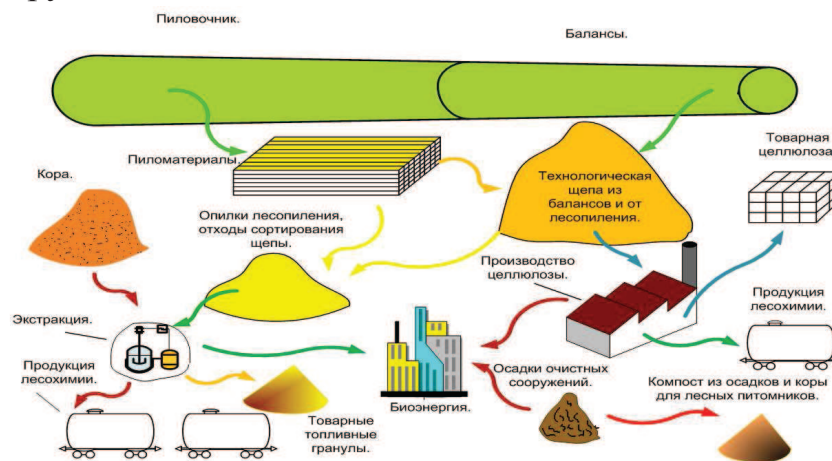
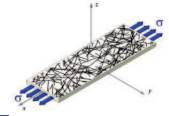


Рис.1. Био-рефайнинг древесины лиственницы

Ранее, применительно к условиям Светогорского ЦБК (Интернейшенал Пейпер) были проведены работы по биорефайнингу древесины осины. Специфической особенностью осиновой древесины в Северо-западном регионе России является практически полное поражение древесины сердцевинной, прижизненной гнилью. Проведенные исследования показали, что такая гниль четко локализована. Это позволяет при удалении пораженных сердцевинной гнилью областей получать из здоровой части древесины волокнистые полуфабрикаты необходимого качества. При получении из пораженной прижизненной гнилью беленой химико-термомеханической массы (БХТММ) продукты биодеструкции компонентов древесины переходят в сточные воды, для переработки которых, применительно к условиям ОАО «Светогорск», совместно с Компанией KWI, была разработана уникальная система локальной очистки. Она включает ступени физико-





химической и биологической очистки, после которых полу-очищенные стоки смешиваются с остальными стоками комбината и поступают на общезаводскую многоступенчатую систему очистки. Флотошлам и избыточный активный ил после обезвоживания сжигаются как биотопливо в многотопливном котле (МТК).

Для лесного сектора России прорывные технологии являются единственным путем выхода на инновационный путь развития, с учетом того что они должны быть адаптативны к современному основному технологическому оборудованию. Европейский прогноз развития лесного сектора [5] отмечает, что инновации могут улучшить показатели любого сценария. Тридцати- сорока- летняя задержка в развитии лесного комплекса Российской Федерации открывает уникальную возможность реализации инновационного сценария за счет комплексной реконструкции существующих предприятий на базе совмещения научных достижений предшествующих десятилетий с новейшими поколениями техники и технологии. Наиболее целесообразным путем реконструкции существующих предприятий будет переход на использование наукоемких технологий и на производство наукоемкой продукции.

#### Список литературы

1. Ежегодный обзор рынка лесных товаров 2014-2015: Женева: ЕЭК ООН, 2016. 135 с.
2. ИТС 1 – 2015, «Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона» Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Москва Бюро НДТ, 2015.
3. Кирван М. Упаковка на основе бумаги и картона: пер. с англ. В.Е. Ашкинази; науч. ред. Э.Л. Аким, Л.Г. Махотина. СПб.: Профессия, 2008. 488 с.
4. Научные основы химической технологии углеводов / [А.Г.Захаров и др.]; М. Изд-во ЛКИ, 2008. 528 с.
5. Прогноз развития лесного сектора Российской Федерации до 2030 года: Рим: ЕЭК ООН, 2012. 106 с.
6. Hansen E., Panwar R., Vlosky R.. The Global Forest Sector: Changes, Practices, and Prospects // Taylor & Francis Group, 2014, NY, 462 p., ISBN: 978-1-4398-7927-6. Второе издание – март 2017 г., ISBN 978-1-138075818-CAT# K34144, March 2017.
7. Forest-based Sector Technology Platform (FTP). Strategic Research and Innovation Agenda for 2020. Forest-based Sector Technology Platform (FTP). Annex to the Strategic Research and Innovation Agenda. CEPI.
8. Forest Products Annual Market Review 2015-2016. Forestry and Timber. UNECE.
9. National Research agenda 2007-2030. Russian forest-based sector. 2007.