

Упруго-релаксационные свойства древесины и их связь с проблемами секвестирования углерода

Э.Л. Аким¹, А.А. Пекарец¹, С.З. Роговина², А.А. Берлин²

1. Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна (СПб ГУПТИД). 198095,

Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4, akim-ed@mail.ru

2. Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова РАН

(Москва, 119991, Россия).

Рассмотрим взаимосвязи упруго-релаксационных свойств древесины с проблемами секвестирования углерода и формирования лесных почв

1. Роль полимерных компонентов древесины в прочности дерева и леса.
2. Ураганы и лесоповал.
3. Проблемы секвестирования углерода и лесные почвы.
4. Лесная почва как хранилище углерода.
5. Биочар и Биочар-Сибирь
6. Переработка гидролизного лигнина из отвалов в торрефицированное биотопливо.

Проанализирована роль полимерных компонентов древесины в прочности дерева и леса, в устойчивости леса к ураганам и лесоповалу, в формировании лесной почвы как хранилища углерода и перспективы использования «Биочара» в лесных и сельскохозяйственных почвах.

Релаксационное состояние полимерных компонентов древесины, биотопливо и проблемы глобального изменения климата

В предыдущие годы нами была представлена концепция об определяющей роли релаксационного состояния полимерных компонентов древесины на всех стадиях жизненного цикла древесины и леса, а также была представлена новая инновационная технология древесных и древесно-угольных брикетов А.А. Пекарца. Одной из особенностей этой технологии является то, что получаемый древесный брикет имеет плотность 1,30...1,32 и весьма специфические упруго-релаксационные свойства. Такая высокая плотность приводит к специфическим особенностям протекания последующей карбонизации – как частичной, при осуществлении торрефикации, так и полной – при получении древесного угля. Полученный древесный уголь обладает высокой плотностью и пористостью и измельчается по хрупкому механизму, давая частицы биочара, не вымываемые из почвы. Кроме того, при его сжигании не образуется так называемый черный углерод (ЧУ).

Эвтектика «арабиногалактан-вода» и ее роль в жизни лиственницы и ее переработке

Но для того, чтобы получить такой брикет надо вначале превратить древесные опилки в древесную муку – и это делается путем **хрупкого разрушения опилок** в условиях практически нулевой влажности.

В древесине лиственницы жидкая фаза представлена **эвтектикой «арабиногалактан-вода»**, с температурой замерзания ниже **-60°C**, которая и обеспечивает морозостойкость дерева в условиях вечной мерзлоты и сибирских морозов.

Таким образом, в коллайдере за счет испарения воды разрушается эвтектика «арабиногалактан-вода». Последующее увлажнение древесной муки водяным паром придает системе **экструдированность**.

Россия – экспортер пеллет и брикетов

В 2020 году Россия экспортировала 2,32 млн тонн древесных пеллет – 6% от мирового объема производства пеллет

(ФАО 2019 -Древесные пеллеты и прочие агломераты – 46 миллионов тонн).

В первом полугодии 2021 года производство топливных пеллет увеличилось на 19%, цены на гранулы прибавили 17%.

В Риге, по технологии А.А. Пекарца, запущено инновационное производство древесных, древесно-угольных и торрефицированных брикетов , в дополнение к 5 работающим в России аналогичным линиям по производству брикетов.

По технологии А.А. Пекарца из отвалов гидролизного лигнина (Станция Зима) получены топливные брикеты со свойствами торрефицированных брикетов.

Успешно развивается Союз Участников Пеллетного Рынка, совмещающая функции как торговой, так и технической ассоциаций.

50 млн. тонн пеллет– много или мало???

Учтенный объем заготовки древесины в мире – **около 4 млрд кубометров в год, половина используется как топливо в самых бедных странах мира;**

Древесный уголь – свыше 50 млн тонн в год, Африка -33 млн тонн в год;

Каменный уголь – около 7,5 млрд тонн в год; содержание общей серы в углях колеблется в основном от 0,2 до 10%.

Нефть – около 4, 5 млрд тонн в год; сернистых соединений в различных видах нефтей может быть более 10-ти процентов, хотя обычно этот показатель не превышает шести процентов.

Объем потребления крупнотоннажных полимеров в мире - свыше 265 млн тонн;

Объем потребления бумаги и картона в мире - свыше 430 млн тонн.

Переход к низкоуглеродной экономике

Чтобы положить конец климатическому кризису, нам нужно:

- сажать деревья;
- защищать тропические леса;
- **высасывать углерод из неба и секвестрировать его.**

Для достижения целей углеродной нейтральности срочно необходимо **улавливание, использование и хранение углерода**

(отчет ЕЭК ООН, 3 марта 2021 г.)

В отчете ООН содержится предупреждение о том, что время для выполнения Парижского соглашения и Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года истекает, и содержится призыв к быстрому развертыванию использования и хранения углерода (CCUS) для достижения целей углеродной нейтральности.

Улавливание и хранение углерода (CCUS) - это процесс улавливания выбросов углекислого газа (CO_2) от производства ископаемой энергии и промышленных процессов для хранения глубоко под землей или для повторного использования. CCUS включает обширный портфель существующих экономически жизнеспособных технологий. Широкомасштабное внедрение технологии CCUS в регионе ЕЭК ООН позволит странам для достижения целей Парижского климатического соглашения в среднесрочной перспективе декарбонизировать энергетический сектор и труднодоступные промышленные сектора, чтобы восполнить пробел до тех пор, пока не станут доступны энергетические технологии следующего поколения - с низким, нулевым или отрицательным выбросом углерода. Количество удаления CO_2 , необходимое для достижения углеродной нейтральности, намного превышает то, что могут обеспечить существующие технологии CCUS. Поэтому инвестиции CCUS должны рассматриваться как часть более широкого портфеля действий по предотвращению неприемлемых последствий изменения климата, наряду с развертыванием технологий с низким или нулевым выбросом углерода и увеличением емкости естественных поглотителей углерода, таких как леса, водно-болотные угодья, вечная мерзлота и океаны.

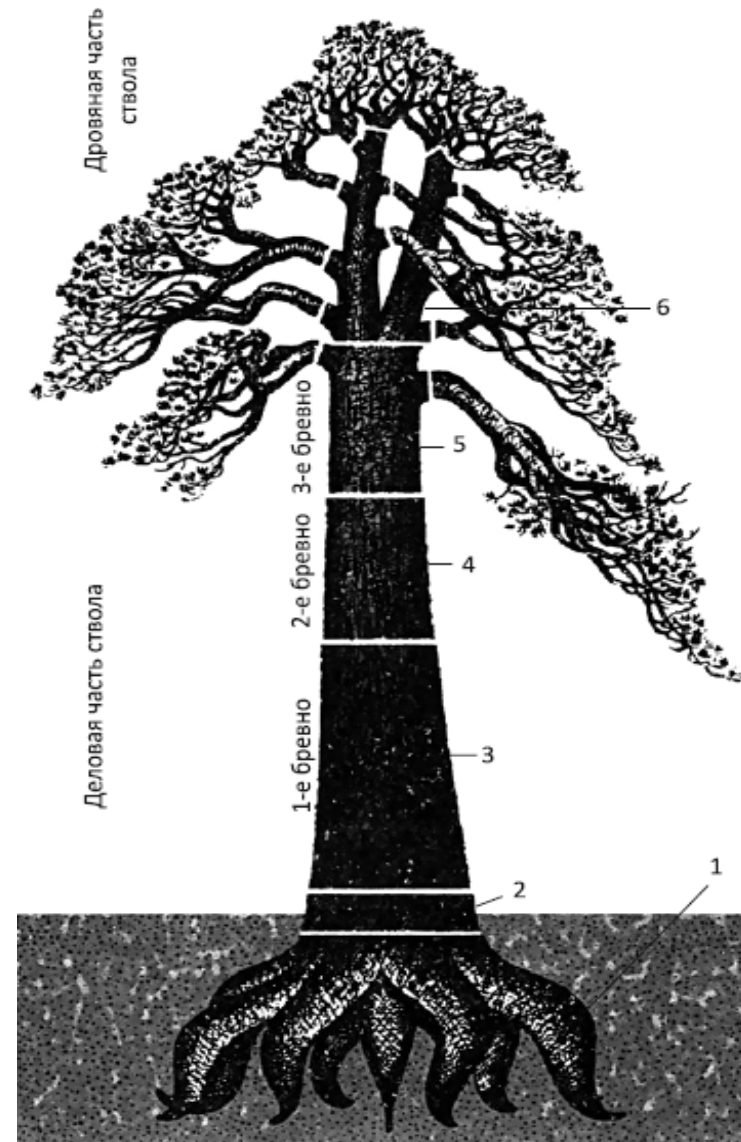
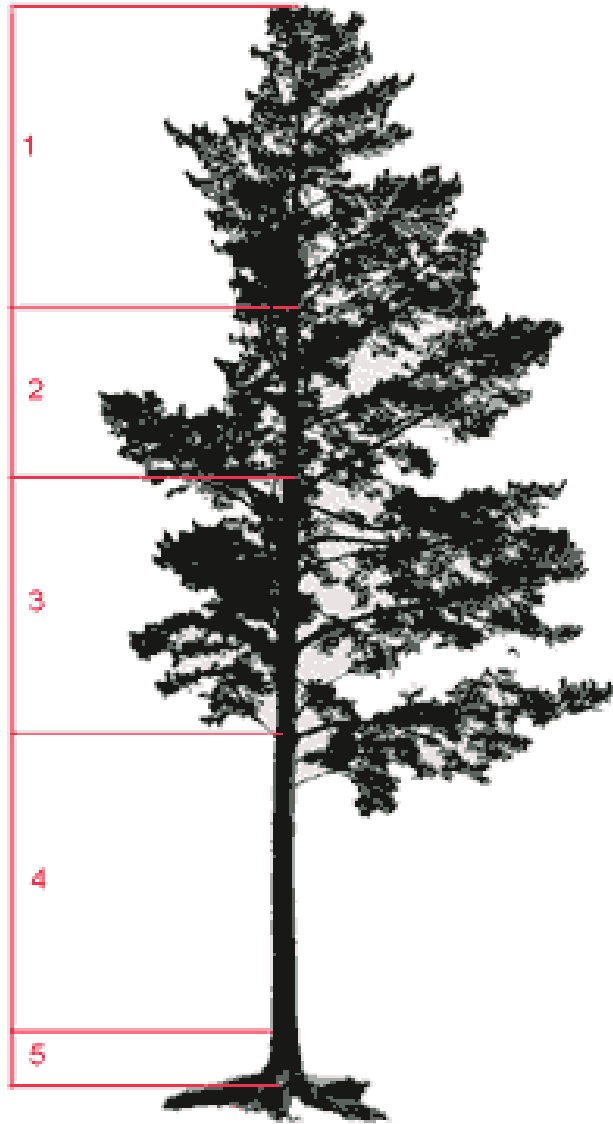
Семь технологии улавливания и хранения углерода, (Международная Панель по изменению климата)

(Scientific American; январь 2019 г., стр. 54-59; Часть 2: Затраты, Возможности и побочные эффекты», Сабина Фасс и др., В Environment Research Letters, Vol. 13, № 6, Статья № 063002; Июнь 2018)

- 1. Облесение и лесовозобновление:** самый дешевый вариант - от 0 до 40 долл. США за тонну с потенциалом от 0,5 до 3,5. Гигатонны углеродного эквивалента (GTSe) в год в 2050 году.
- 2. Биоэнергетика с улавливанием и хранением углерода (BECCS):** производство энергии с использованием возобновляемых источников. Ресурсы в качестве топлива, но требует улавливания углерода из выхлопной трубы и подземного хранения. Скромно дорого - от 100 до 200 долларов за тонну, с потенциалом хранения от 0,25 до 4GTSe / год к 2050 году.
- 3. Biochar: главным образом за счет фиксации почвой;** От 38 до 120 долларов за тонну с потенциалом секвестра 0,25 до 2GTSe / год к 2050 году.
- 4. Улучшенная защита от атмосферных воздействий:** относительно дорогое решение по цене от 50 до 600 долларов за тонну, но с потенциалом для хранения до 5,25 GTЭ в 2050 году.
- 5. Прямой улавливание CO₂ из воздуха:** предполагается, что технология может быть разработана, прогнозируется, что затраты составят от 100 до 300 долларов за тонну, с возможностью хранения до 5GTSe / год.
- 6. Удобрение океана:** относительно недорого (прогнозируется 30 долл. США за тонну) с относительно высоким потенциалом - до 12 ГТСЭ / год к 2050 году, но эта технология представляла достаточные экологические риски, Вариант был исключен из детального рассмотрения в исследовании Фасс.
- 7. Улавливание углерода в почве:** весьма непостоянные затраты от 0 до 200 долларов за тонну, но с потенциалом роста. до 6ГТ в 2050 году.

Корни и секвестирование углерода

(Слева:1-ювенильная древесина; 2- балансовая древесина; 3,4 – деловая древесина; 5 – пень;
Справа: 1-корни в почве; 2-пень; 3 –5 деловая часть ствола; 6 – дровяная часть ствола)



Ветер и корни

Ветровая знакопеременная нагрузка на деревья приводит к усилению образования корневой системы, которая, по сути, является наиболее длительным бассейном секвестирования углерода.

Стоимость секвестирования углерода (CCUS)

В отчете рассматривается стоимость CCUS, которая воспринимается как одно из основных препятствий для развития проекта. По оценкам экспертов, только для Европы стоимость развертывания CCUS, запланированная до 2050 года, может составить 320 миллиардов евро, а необходимая транспортная инфраструктура может добавить еще 50 миллиардов евро. Скорость, с которой можно снизить затраты, будет способствовать масштабному развертыванию. Подчеркивается необходимость масштабных действий и содержится призыв к странам сотрудничать в целях повышения рентабельности крупных инфраструктурных проектов чистой энергии.

Для поддержки долгосрочных обязательств отрасли и правительства по охране окружающей среды необходим обмен передовым опытом как в области внедрения технологий, так и в сфере нормативно-правовой и политической инфраструктуры.

Технологии улавливания CO₂ из промышленных источников

В опубликованном обзоре рассматриваются различные технологии **улавливания** (из промышленных источников, таких как цемент и сталь, производство водорода из ископаемого топлива, сжигание отходов или выработка электроэнергии; из энергии биомассы или непосредственно из воздуха), **хранения** (в водоносных горизонтах или за счет увеличения нефтеотдачи) и **использования** (в минерализации, химических или биологических процессах) **CO₂**.

В нем представлен обзор 31 существующего проекта CCUS в Европе и 24 в Северной Америке.

«Этот краткий обзор технологий является позитивным шагом в улучшении глобального понимания последствий и возможностей перехода к углеродной нейтральности в электроэнергетике и энергоемких отраслях к 2050 году», - заявила директор Энергетической ассоциации США Шейла Холлис. **Скандинавия, США и Соединенное Королевство** лидируют в готовности к CCUS, причем эти страны разрабатывают пилотные проекты и принимают необходимую нормативную базу. Небольшие страны в регионе ЕЭК ООН ищут международных партнеров и финансирование, чтобы сделать CCUS реальностью, поскольку они уравнивают свои климатические цели со своими императивами развития.

«Необходима сильная политическая воля, чтобы к 2030 году сделать доступную, чистую, надежную, устойчивую и современную энергию для всех реальностью», - заявила **Исполнительный секретарь ЕЭК ООН Ольга Алгаерова**.

«Пока мы готовимся к диалогу на высоком уровне по энергетике, созванному Генеральным секретарем ООН под эгидой Генеральной Ассамблеи ООН в сентябре, ЕЭК ООН привержена поддержке государств-членов **сделать 2021 год годом реальных действий в области энергетики**».

Крупномасштабное развертывание CCUS потребует огромных геологических хранилищ. В настоящее время известные подходящие осадочные бассейны в регионе ЕЭК ООН определены в Северной Америке и Западной Европе, а именно в Великобритании, Нидерландах и Норвегии. ЕЭК ООН готовит исследование потенциала хранения в Восточной Европе, на Кавказе и в Центральной Азии, в частности в Российской Федерации (Волга Урал, Западная Сибирь, Каспийский субрегион), Казахстане, Азербайджане и Каспийском море.

Различные аспекты формирования и функционирования почвы

В 1996 г. на конференции Американского Химического общества (ACS) нами были представлены доклады, в которых анализировалась роль высокоэластичного состояния лигнина и других полимерных компонентов древесины в природе и технологии, а почва рассматривалась как лигноцеллюлозно-минеральный композит (с этих позиций предлагалось анализировать формирование, трансформацию и функционирование почвы).

В детальном обзоре Сергея Шевченко и Джорджа Бейли 1996 **«Жизнь после смерти: пересмотр лигнин-гуминовых связей»**, авторы заключают, что основным источником гумуса на поверхности Земли является опад растений, который становится матрицей первичной структуры почвы. При этом более химически стойкая лигниновая часть растений программирует химические и структурные особенности «потомков» – гуминовых кислот. Эта структура изменяется с возрастом в течение геологического времени. Однако некоторые важные особенности сохранены, и направление изменений регулируется как исходной структурой, так и условиями окружающей среды. В последние годы шведскими учеными показана особая роль аминокислотного азота в формировании корневой системы деревьев

Жизнь после жизни: лесные почвы как путь секвестирования углерода

Полимерные аспекты формирования и функционирования почвы, практически не рассмотрены в обзоре Шевченко, в котором основное внимание уделено химическим аспектам проблемы.

Именно полимерные аспекты формирования лесных почв обуславливают возможность секвестирования углерода лесными почвами, т.е. решение проблем, непосредственно связываемым с глобальным изменением климата.

Наши исследования позволяют анализировать полимерные аспекты секвестирования углерода лесными почвами. Почва при этом может рассматриваться как органоминеральный композит, армированный корнями деревьев и других растений.

Можно предполагать, что интенсивность роста корневой системы и общая масса подземной части дерева связаны с ветровой нагрузкой на дерево и лес в целом.

Иными словами, ветровая знакопеременная нагрузка на дерево в условиях его непрерывного роста за счет биосинтеза, не только аналогична ориентационной вытяжке химических волокон, но и стимулирует увеличение биомассы подземной части дерева.

Именно эта подземная часть и после смерти дерева участвует в формировании лесной почвы.

Полимерные аспекты секвестирования углерода лесными почвами.

Почва может рассматриваться как органоминеральный композит, армированный корнями деревьев и других растений.

В условиях перехода мира к низкоуглеродной экономике Россия может внести значительный вклад в международные инициативы благодаря обширным площадям лесных и сельскохозяйственных угодий, накопленному опыту изучения и управления углеродом почв. По оценкам отечественных экспертов, за счет выбывших из оборота площадей сельскохозяйственных угодий земли в России секвестрировали около 20 млн т диоксида углерода в год. Среди вариантов использования заброшенных земель с/хоз назначения рассматривается и лесовыращивание на них лесных плантаций, и просто сохранение сельскохозяйственных угодий в качестве важнейшего ресурса в решении международной задачи регулирования глобального цикла углерода и смягчении изменений климата на основе компенсации выбросов парниковых газов.



**Лесные почвы и корни деревьев-
наиболее длительное секвестирование
углерода**



Этому дереву было 250 лет

Биочар как одно из направлений секвестирования углерода

Дополнением к секвестированию углерода корнями деревьев является biochar. В этой форме удаления углерода в специализированной печи в отсутствие кислорода проводится пиролиз биомассы, превращая ее в форму древесного угля и генерируя полезные побочные продукты, такие как генераторный газ.

Когда древесный уголь применяется на сельскохозяйственных полях или в лесных почвах, он связывает углерод в почве и может повысить урожайность сельскохозяйственных и лесных культур.

Но никто еще не пытался развернуть biochar в больших масштабах. Фасс и ее соавторы считают это вероятным источником ежегодного удаления углекислого газа в объеме от 300 до 2 миллиардов тонн по цене от 90 до 120 долларов за тонну. Это от 15 до 100 миллиардов тонн в этом столетии.

Система biochar как один из методов секвестрирования углерода

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (IPCC, 2018) определила семь стратегий улавливания углерода, одной из которых является биоуголь. В двух последующих отчетах МГЭИК2 в 2019 году рассматривается 12-летний горизонт (т.е. крайний срок до 2030 года) для сокращения выбросов углерода и достижения значительного прогресса во внедрении хранилищ углерода, чтобы предотвратить превышение указанного глобального потепления на $1,5^{\circ}\text{C}$. в отчете за 2018 год.

В то время как чисто экономические выгоды получают все большее и большее количество конечных пользователей, отсутствует ясность в отношении способности биочара улавливать углерод для дальнейшего увеличения его (долгосрочной глобальной) ценности, и необходимы изменения в политике.

Генная инженерия, лес и ураганы.

С позиций релаксационного состояния и усталостной прочности древесины обратимся к одной из достаточно дискутируемых в последнее время проблем – к использованию методов генной инженерии для выведения деревьев с пониженным содержанием лигнина. При этом забывается роль лигнина в устойчивости лесов к ураганам и опасность выращивания лесов с пониженным содержанием лигнина в древесине.

На международной конференции по проблемам древесины и ЦБП в октябре 1999 г. в Гренобле был пленарный доклад о применении генной инженерии в лесном комплексе. При этом рассматривались две основные задачи – ввести ген быстрого роста в лесные породы бореальных лесов и снизить содержание лигнина для облегчения варки древесины в ЦБП. При обсуждении этого доклада Э.Л. Акимом был задан вопрос:

«Как специалист ЦБП я могу только аплодировать снижению лигнина в щепе, идущей на варку. Но как специалист по композиционным материалам я обязан задать вопрос – а вы у леса спросили? Ведь уменьшение содержания лигнина в живом дереве резко снизит его ветроустойчивость!»

Ураганы и лес

Проанализируем проблему: Ураганы и лес.

Через два месяца после конференции в Гренобле, 25-26 декабря 1999 г., на Францию обрушился сильнейший ураган «Лотар», который дошел до Парижа. В результате урагана пострадали около миллиона семей на севере Франции. Сильнее всего пострадали Булонский лес и парк в Версале.

Зимние ураганы в южной части Швеции стали обычным явлением в последние годы. Так, рекордный по масштабам повреждения лесов ураган Gudrun произошел 8 января 2005 года. Объем древесины, вываленных этим ураганом составил около 75 миллионов кубометров.

Следующий мощный ураган, получивший имя Per, произошел 14 января 2007 года и привел к вываливанию 12 миллионов кубометров деревьев. В феврале 2008 г. в Швеции случился очередной мощный ураган, нанесший существенные повреждения южной части страны. Судя по значительным масштабам повреждений, нанесенных инфраструктуре (по сообщению РБК, были обесточены 80 тыс. домов, упавшие деревья блокировали около 40 автодорог), ураган, скорее всего, нанес большой урон и лесам. Нынешний ураган пока остается безымянным, и масштабы повреждения лесов остаются неизвестными. (01.12.2011).

Участившиеся в Скандинавских странах ураганы, приводящие к массовым повреждениям лесов (в особенности в Швеции), однозначно связываются экспертами с изменениями климата, вызванными хозяйственной деятельностью человека (выбросами "парниковых газов").

Ураганы и вредители леса

Ураганы приводят не только к непосредственному повреждению лесов (вываливанию деревьев), но и создают условия для массового размножения на вываленной древесине некоторых видов насекомых, способных приводить к разрастанию очагов повреждения и усыхания лесов. Нынешний ураган с этой точки зрения более опасен, чем предыдущие, по двум причинам: во-первых, до начала теплого периода (лёта короеда-типографа) остается значительно меньше времени, и во-вторых, этот ураган, судя по всему, повредил леса, в которых уже имеются очаги короедов, развившиеся благодаря предыдущим двум ураганам. По разным данным, пострадало от нескольких сотен тысяч до более чем миллиона кубометров леса. Управление лесного хозяйства и концерн "Сёдра" начали подсчитывать убытки, нанесенные ураганом, который бушевал на юге страны в минувшие выходные. Как сообщает "КП" в Северной Европе", если по подсчетам предпринимателей из "Сёдра" было повалено полтора миллиона кубометров леса, то по данным лесного ведомства, убытки составляют всего лишь 350000 кубометров леса. В данный момент более 4800 домашних хозяйств в Швеции обесточены. К большинству из них электричество подключат в течение 30 ноября. От урагана пострадала существенная часть северной Европы - Норвегия, Дания, Калининградская область, Польша, Эстония, Санкт-Петербург.

Ураган в Ленинградской области в 2010 г. 30.07.10 11:02 / 100ТВ / Сообщение о произошедшем шторме в Петербурге, об урагане над Волховским и Приозерским районами. Задержки 25 поездов и электричек. Прямая рекомендация горожанам, выезжающим в Приозерском направлении, брать с собой бензопилы, поскольку дороги завалены. Видео: ночная гроза над Петербургом.

В некоторых странах серьезный ущерб наносят насекомые-вредители, болезни, стихийные бедствия и инвазивные виды

Вспышки активности лесных насекомых-вредителей ежегодно наносят ущерб **35 млн. га лесов**, в первую очередь, в умеренных и северных зонах. Лубоед горной сосны с 1990-х годов уничтожил более **11 млн. га леса в Канаде и западных Соединенных Штатах Америки** и вызвал беспрецедентную эпидемию, отягощенную высокими зимними температурами. Сильные ураганы, бури и землетрясения также нанесли значительный ущерб обширным лесным территориям после 2000 года. Древесные инвазивные виды вызывают особую озабоченность в малых островных государствах, где они представляют угрозу для среды обитания эндемичных видов. В большинстве случаев доступность и качество информации о событиях такого рода по-прежнему оставляют желать лучшего.

Элементный состав торрефицированных брикетов, торфа и технических лигнинов ряда заводов (по данным М.И. Чудакова).

Объект	Углерод	Водород	Сера
Гидролизный лигнин	59-68	5,27-5,93	0,09-0,50
Торф	50-60	5,0-6,5	0,1-1,5
Торрефицированный брикет (Качуг)	65-70	4,2-4,8	0,05

Теплотворная способность древесной щепы, древесных пеллет и брикетов, а также тресты и костры конопли

*-литературные данные; ** - экспериментальные данные

Вид топлива	Теплотворная способность, кДж/кг	Плотность, кг/м ³	Энергетическая плотность, ГДж/м ³
Щепа	10*; 10,8-11,9**	290*	2,9*
Пеллеты	17,5*	650*	11,4*
Треста	18,1**	-	-
Треста (без костры)	17,0**	-	-
Костра	18,0-18,5**	113-170**	2,04-3,14**
Брикет из опилок лиственницы	20,37**	1280**	26,07**
Карбонизированный брикет из опилок лиственницы	35,60**	805**	28,66**

Доклады Э.Л. Акима и А.А. Пекарца в Женеве 05.11.2019 на Европейской неделе Леса



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ !

e-mail: akim-ed@mail.ru

tel: +7-812-786-53-23

+7-921-905-71-89

Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,

198095, г. Санкт-Петербург,
ул. Ивана Черных, 4

АКИМ ЭДУАРД ЛЬВОВИЧ