

УДК 630.86+674.031.623.237.7:630.86

СОСТАВ, СВОЙСТВА И ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ВЕГЕТАТИВНОЙ ЧАСТИ ТОПОЛЯ ПОСЛЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЭКСТРАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ. СООБЩЕНИЕ 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТВЕРДЫХ И ЖИДКИХ ОТХОДОВ

© *Е.В. Исаева*, Т.В. Рязанова*

Сибирский государственный технологический университет, пр. Мира, 82, Красноярск, 660049 (Россия), e-mail: sibstu@sibstu.kts.ru

Работа посвящена изучению химического состава отходов переработки вегетативной части тополя бальзамического с целью отыскания путей их квалифицированного использования.

Ключевые слова: тополь, вегетативная часть, полисахариды, белки, минеральные вещества, кормовая добавка, биотопливо.

Введение

В Сибирском государственном технологическом университете проводятся работы по изучению химического состава и возможности комплексного использования вегетативной части тополя [1–4]. Разработана технология получения эфирного масла и спиртового экстракта [5]. Основные отходы производства этих продуктов – твердый остаток вегетативной части тополя и кубовая жидкость, образующаяся на стадии выделения из нее эфирных масел, в своем составе содержат комплекс веществ, обладающих широким спектром биологической активности. Утилизация отходов после выделения экстрактивных веществ из вегетативной части тополя имеет важное экологическое и экономическое значение.

Для твердого послеэкстракционного остатка, с нашей точки зрения, наиболее целесообразны следующие направления использования: переработка его методом микробиологической конверсии; гидролиз разбавленной серной кислотой с последующей биохимической переработкой гидролизата и получение топливных гранул.

Экспериментальная часть

Вегетативная часть тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) представляет собой побеги с почками. В зависимости от фенологического состояния дерева массовая доля почек в составе вегетативной части тополя бальзамического изменяется с 27 до 62% по массе. Пробы древесной ткани отбирали с деревьев 20–30-летнего возраста, произрастающих в районе Красноярска.

Объекты исследования: твердый остаток после удаления из вегетативной части тополя эфирных масел методом гидродистилляции; твердый остаток после экстракции сырья 94%-ным этиловым спиртом методом настаивания в течение 5 ч при 70 °С; кубовая жидкость, образующаяся в результате отгонки из сырья эфирных масел.

Исаева Елена Владимировна – профессор кафедры химической технологии древесины и биотехнологии, доктор технических наук, тел. (391) 227-36-54, e-mail: IsaevaElena08@mail.ru

Рязанова Татьяна Васильевна – заведующий кафедрой химической технологии древесины и биотехнологии, профессор, доктор технических наук, тел. (391) 227-52-77, e-mail: Tryazanova@yandex.ru

* Автор, с которым следует вести переписку.

Для исследования химического состава использовали общепринятые в химии растительного сырья методы [6]. Влажность сырья определяли методом высушивания, зольные компоненты – методом сжигания. Содержание полисахаридов исследовали, применяя различные условия гидролиза минеральными кислотами.

Содержание целлюлозы в образцах изучали азотнокислым методом в спиртовой среде; среднюю молекулярную массу целлюлозы – вискозиметрически после растворения ее в щелочном растворе железиннокислого натриевого комплекса [7].

Для количественного определения лигнина использовали метод гидролиза 72%-ной серной кислотой в модификации Комарова [6]. Выделение диоксанлигнина из растительного материала проводили по методу Пеппера в токе азота [8]. Метоксильные группы диоксанлигнина находили по модификации метода Цейзеля с применением газохроматографического анализа; содержание общих гидроксильных групп – методом ацетилирования, алифатических гидроксильных и карбоксильных групп – с помощью метода Энkvиста [9]. Элементный состав устанавливали с помощью CHN-анализатора [6].

Содержание белков определяли по методу Бузуна. Аминокислотный состав белков исследовали на аминокислотном анализаторе AAA 339 M (MICROTECHNA, Чехия). Гидролиз белков и подготовка образцов для аминокислотного анализа проводили по методикам, описанным в работах [10, 11].

Массовую концентрацию элементов в твердом остатке вегетативной части тополя бальзамического и кубовой жидкости определяли методом рентгеновского флуоресцентного анализа на спектрометре «Спектроскан». Сущность метода заключалась в осаждении ионов металлов из раствора, полученного в результате минерализации пробы азотной кислотой, и добавлении к осадку гидроксида циркония с последующей фильтрацией и анализом осадка, полученного на фильтре, рентгенофлуоресцентным методом.

Для предварительной оценки вегетативной части тополя в качестве кормов была взята методика определения перевариваемости корма *in vitro*, предложенная А.Р. Жуковым [12]. Метод основан на способности хлорфенольной смеси растворять органические вещества корма в такой же степени, как и в желудке животного.

Прессование послезэкстракционного остатка вегетативной части тополя для получения топливных гранул (пеллет) осуществляли на прессе «АГС-50» в одноместной пресс-форме при температуре 140–145 °С, давлении 1,01 МПа и без добавления связующего. Продолжительность прессования – 10–15 мин. Связующей основой в процессе прессования, возможно, является лигнин, содержание которого в сырье составляет 50%. Влажность сырья – 6%.

Для исследования теплотворности полученных пеллет применяли метод дериватографии. В качестве объекта сравнения использованы опилки древесины осины с известной теплотворной способностью. Величину теплового эффекта рассчитывали по экзотермическому эффекту на кривых дифференциального термического анализа.

Обсуждение результатов

В таблице 1 представлены результаты исследования химического состава твердого остатка вегетативной части тополя после извлечения эфирных масел методом гидродистилляции (остаток 1) и остатка, полученного после спиртовой экстракции (остаток 2).

Таблица 1. Химический состав остатка вегетативной части тополя после извлечения экстрактивных веществ

Компонент	Содержание, %	
	остаток 1	остаток 2
Минеральные вещества	3,0±1,2	2,6±0,4
Вещества, экстрагируемые спиртом	34,5±7,8	1,5±0,7
Вещества, экстрагируемые водой	5,5±0,6	5,4±1,4
Легкогидролизуемые полисахариды	12,0±2,8	16,0±0,8
Трудногидролизуемые полисахариды	17,0±0,4	22,5±0,7
Лигниновые вещества	25,0±4,2	51,0±2,0

Результаты исследования послезекстракционного остатка вегетативной части тополя показали, что на 90% он представляет собой лигноуглеводный комплекс, который может служить источником углерода для питания микроорганизмов. На долю полисахаридов приходится порядка 40%, которые представлены как легко-, так и трудногидролизруемыми углеводами. Содержание целлюлозы составляет до 60% от суммы углеводов. Установлено, что целлюлозные волокна почек и побегов тополя содержат 60–64% кристаллической и 36–40% аморфной части, характеризуются низкими значениями степени полимеризации (до 500), что говорит об их большей доступности, например, для микробиологической конверсии, по сравнению с целлюлозой древесины и коры.

Содержание лигнина в остатке составляет более 50%. Лигнин почек тополя менее метоксилирован (количество метоксильных групп 6,1%) по сравнению с лигнином древесины и по своему составу близок к лигнинам травянистых растений. Общее содержание гидроксильных групп в лигнине почек тополя составляет 7,9%, в том числе на долю фенольных гидроксильных групп приходится 2,2%. Количество карбоксильных групп – менее 2%. Массовая доля углерода составляет 59%. Расчетная молекулярная масса усредненной фенилпропановой единицы диоксанлигнина составила 187. Простейшую формулу фенилпропановой единицы можно записать в виде $C_9H_{8,55}O_{3,68}(OCH_3)_{0,37}$; эмпирическая формула: $C_9H_{7,60}O_{2,66}(OCH_3)_{0,37}(OH_f)_{0,24}(OH_a)_{0,63}(COOH)_{0,079}$.

Результаты исследования углеводов и лигниновых веществ позволяют предположить, что вегетативная часть тополя бальзамического будет являться доступным сырьем для биодеструкции.

При использовании отходов переработки вегетативной части тополя в качестве сырья для биохимической переработки необходимо исследование белка. Количество белка в пересчете от содержания общего азота составляет 6,4% абсолютно сухого остатка, из них 20% приходится на долю водорастворимого белка. В составе белков идентифицировано 17 аминокислот, в том числе 9 незаменимых. В таблице 2 представлен аминокислотный состав водорастворимых белков почек тополя бальзамического.

Исследования аминокислотного состава белков показали, что на долю незаменимых приходится 27,9% от суммы аминокислот почек тополя бальзамического. Преобладающими незаменимыми аминокислотами являются аргинин, аланин и валин. Из прочих аминокислот необходимо отметить высокое содержание глутаминовой и аспарагиновой кислот, а также пролина (35,8%). Цистин обнаружен в следовых количествах. Белки, содержащиеся в вегетативной части тополя, могут выступать источником азотного питания микроорганизмов.

Рассматривая вегетативную часть тополя как сырье для производства различных продуктов, необходимо также знать о количественном и качественном составе минеральных веществ. Например, недостаток микроэлементов в кормах влияет на обмен веществ в организме животных, приводит к снижению привесов, роста молодняка, специфичным заболеваниям и т.д. [13].

Микроорганизмы, кроме источников углерода, нуждаются в минеральных соединениях, присутствие которых в небольших количествах может оказать стимулирующее действие на накопление биомассы. В частности, для нормального развития грибов необходимо наличие в среде натрия, калия, магния, которые стимулируют рост. Уровень Ca^{2+} и некоторых других катионов (Sr^{2+} , Ba^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Mg^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+}) влияет на интенсивность роста мицелия и спорообразования, в частности у грибов рода *Trichoderma* [14].

В таблице 3 приведена массовая концентрация элементов в твердом остатке 1 вегетативной части тополя бальзамического и кубовой жидкости, образующейся на стадии выделения эфирных масел.

Таблица 2. Аминокислотный состав водорастворимого белка почек тополя бальзамического, % от суммы аминокислот

Наименование	Содержание	Наименование	Содержание
Аланин	5,6	Лейцин	1,1
Аргинин	16,2	Лизин	2,0
Аспарагиновая кислота	11,2	Метионин	1,2
Валин	2,6	Пролин	8,4
Гистидин	1,0	Серин	2,9
Глицин	4,1	Тирозин	2,8
Глутаминовая кислота	37,2	Треонин	1,7
Изолейцин	1,6	Фенилаланин	0,5

Таблица 3. Макро- и микроэлементный состав остатков

Элемент	Содержание, мг/кг		Элемент	Содержание, мг/кг	
	остаток 1	кубовая жидкость		остаток 1	кубовая жидкость
Макроэлементы			Цинк	3,61	0,14
Фосфор	0,89	1,14	Свинец	0,32	0,01
Сера	0,33	0,84	Кадмий	0,03	–
Азот	5,30	1,40	Марганец	0,51	0,49
Калий	2,35	4,05	Алюминий	0,25	0,01
Натрий	0,47	0,35	Стронций	0,07	0,02
Кальций	6,24	3,92	Хром	0,07	0,07
Магний	1,08	1,44	Никель	0,04	0,01
Микроэлементы			Молибден	0,02	–
Железо	1,99	0,59	Серебро	0,03	–
Медь	1,01	0,24	Титан	0,01	–

Из результатов таблицы 3 видно, что содержание токсичных элементов и тяжелых металлов в исследуемых образцах, согласно «Медико-биологическим требованиям и санитарным нормам качества продовольственного сырья и пищевых продуктов №5061-89», не превышает предельно допустимой концентрации и, следовательно, не окажет негативного воздействия на окружающую среду.

Кубовая жидкость представляет собой сумму водорастворимых веществ, переходящих в раствор в процессе выделения из сырья летучих компонентов методом гидродистилляции. В ее составе находится до 35% редуцирующих веществ, порядка 5% минеральных веществ, 7% белка.

Результаты анализа показали, что отходы, образующиеся на стадии выделения из вегетативной части тополя экстрактивных веществ, в своем составе содержат лигноуглеводный комплекс, вещества, обладающие широким спектром биологической активности, и могут быть использованы для получения биопрепаратов или кормовых продуктов на ее основе.

Использование вегетативной части тополя после извлечения эфирных масел в качестве биологически активной кормовой добавки. Не все отходы, образующиеся после выделения экстрактивных веществ из вегетативной части тополя бальзамического, могут быть использованы для биохимического производства, часть из них в условиях дефицита кормов может быть применена в качестве добавок к кормам животных.

При оценке пригодности растительного материала в качестве кормов особенно важно наличие в нем протеина, клетчатки, каротина, минеральных компонентов и других соединений. Обобщающими показателями качества являются перевариваемость корма и сбалансированность по аминокислотному составу.

Оценка химического состава твердого остатка вегетативной части тополя показала, что в нем содержится определенное количество питательных и биологически активных веществ, представляющих кормовую ценность.

В таблице 4 приведена сравнительная характеристика твердого остатка 1 вегетативной части тополя после отгонки эфирных масел и кормовых добавок, используемых в настоящее время в животноводстве.

Как свидетельствуют данные таблицы 4, по количеству питательных веществ, представляющих кормовую ценность, вегетативная часть тополя, после извлечения из нее экстрактивных веществ близка к древесной зелени хвойных.

В связи с возможностью использования послеэкстракционного остатка вегетативной части тополя в качестве кормовой добавки отметим высокое содержание аргинина (58% от суммы незаменимых аминокислот белка), необходимого для нормального роста организма животных (табл. 2).

Таблица 4. Сравнительная характеристика кормовых добавок

Наименование компонента	Содержание, %		
	остаток 1	древесная зелень еловая [15]	витаминная мука из древесной зелени [16]
Зольность	2,0	3,4	...
Сырой протеин	6,6	6,3	...
Каротин, мг/кг	31,2	28,8	73,7
Сырая клетчатка	17,6	23,5	31,7
Кальций, мг/кг	6,24	0,67	0,92
Фосфор, мг/кг	0,89	0,15	0,03
Перевариваемость	34,4	38,2	...

Таким образом, по своей характеристике твердый остаток вегетативной части тополя соответствует ТУ 477-15-147-80 «Хвойная кормовая мука»: влажность – 8–12%; содержание каротина – не нормируется; массовая доля клетчатки – не более 30%; перевариваемость – не менее 30%, и может быть использован в качестве кормовой добавки.

Использование вегетативной части тополя в качестве биотоплива. На сегодняшний день тема применения альтернативного топлива весьма актуальна. Рынок биотоплива быстро растет и развивается. В последние несколько лет темпы его роста составляют приблизительно 30% [17].

Природно-ресурсные и климатические условия Красноярского края позволяют говорить о достаточно большом секторе малой альтернативной энергетики, который может быть обеспечен топливом в виде биомассы, представляющей собой отходы лесного комплекса [18].

Одним из важнейших показателей, определяющих ценность топлива с энергетической точки зрения, является его теплотворность, т.е. количество тепла, выделяемое при полном сгорании 1 кг твердого, жидкого или одного нормального кубометра газообразного топлива. В настоящее время в газогенераторных технологиях можно использовать древесные топливные гранулы, теплотворная способность которых на уровне 16800 кДж/кг.

Сравнительные данные высшей теплоты сгорания некоторых природных горючих материалов растительного происхождения [19] и вегетативной части тополя приведены в таблице 5.

Из данных таблицы 5 видно, что по химическому составу и теплотворной способности вегетативную часть тополя после выделения экстрактивных веществ можно отнести к твердому углеродному топливу, обогащенному кислородом, наряду с такими «классическими» энергоносителями, как древесина и торф. Низкое содержание азота, а также большое содержание в структуре кислорода позволяют говорить об экологичности данного вида топлива, а достаточно высокое содержание углерода и водорода позволяют получать высокую теплотворную способность.

Полученные результаты позволяют рекомендовать остаток вегетативной части тополя к использованию при производстве топливных гранул.

Таблица 5. Высшая теплотворная способность некоторых природных горючих материалов

	Горючий компонент				
	вегетативная часть тополя	древесина	торф	бурый уголь	каменный уголь
Высшая теплота сгорания, МДж/кг	21,60	18,34	22,83	27,31	31,78
C–H–O, %	50 – 7 – 42	50 – 6 – 44	60 – 6 – 34	70 – 6 – 24	80 – 6 – 14
Зольность, %	< 3	1	4–10	10–20	10–35

Выводы

Таким образом, жидкие и твердые отходы производства переработки вегетативной части тополя могут быть использованы для получения биопрепаратов и кормов, обогащенных высокобелковыми добавками, витаминами и микроэлементами, что позволит не только улучшить экологическое состояние предприятия и окружающей среды, но и расширить ассортимент выпускаемой продукции, а следовательно, повысить экономическую эффективность производства.

Список литературы

- Исаева Е.В., Бурдейная Т.М., Рейсер Г.А. К вопросу о комплексном использовании вегетативной части тополя // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2007. Т. 50, вып. 6. С. 53–56.
- Исаева Е.В., Ложкина Г.А., Рязанова Т.В., Вялков А.И., Домрачев Д.В., Ткачев А.В. Хромато-масс-спектрометрическое исследование летучих компонентов вегетативной части тополя бальзамического // Химия растительного сырья. 2008. №1. С. 63–66.
- Исаева Е.В., Ложкина Г.А., Рязанова Т.В., Морозов С.В., Черняк Е.И. Флавоноиды почек тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.), произрастающего в Красноярске. 1. Флавоноиды этилацетатного экстракта почек тополя бальзамического // Химия растительного сырья. 2008. №2. С.47–53.
- Исаева Е.В., Ложкина Г.А., Рязанова Т.В. Исследование спиртового экстракта почек тополя бальзамического // Химия растительного сырья. 2009. №1. С. 83–88.

5. Патент №2322501 (РФ). Способ комплексной переработки вегетативной части тополя бальзамического / Г.А. Ложкина, Е.В. Исаева // 2008. БИ №11.
6. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М., 1991. 320 с.
7. Рязанова Т.В., Чупрова Н.А., Исаева Е.В. Химия древесины. Красноярск, 1996. 358 с.
8. Грушников О.П., Елкин В.В. Достижения и проблемы химии лигнина. М., 1973. 296 с.
9. Закис Г.Ф. Функциональный анализ лигнинов и их производство. Рига, 1987. 230 с.
10. Ушанова В.М., Лебедева О.И., Девятловская А.Н. Основы научных исследований. Ч. 3: Исследование химического состава растительного сырья. Красноярск, 2004. 360 с.
11. Галимова В.И. Динамика белков в тканях сосны обыкновенной, лиственницы Сукачева и тополя бальзамического // Сезонные структурно-метаболические ритмы и адаптация древесных растений. Уфа, 1977. С. 64–75.
12. Жуков А.П. Труды Саратовского зооветинститута. Саратов, 1961. Т. 10. С. 109–124.
13. Калниньш И.К. Лес – сельскому хозяйству. М., 1978. 192 с.
14. Krystofova S., Varecka L., Betina V. Effects of Agentsw Affecting Ca²⁺ hemostasis on Trichoderma Viride Growth and Conidiactijn // Folia microbiologica, 1996. Vol. 41, N3. Pp. 49–253.
15. Ягодин В.И. Основы химии и технологии переработки древесной зелени. Л., 1981. 224 с.
16. Воынова Р.М., Яншевский Р.М., Пусена З.Я., Спрога Л.П. Продукты переработки древесины – сельскому хозяйству. Рига, 1973. Т. 1. С. 90–93.
17. Головков С.И., Коперин И.Ф., Найденов В.И. Энергетическое использование древесных отходов. М., 1987. 224 с.
18. Редька Н.И., Ходаков Г.С., Никитин В.П., Ремизов В.В., Сед А.Д. Механохимическая технология производства композиционного топлива на основе биомассы – торфа и отходов сельскохозяйственного и лесного производств // Экологические системы. 2003. №5. [Электронный ресурс]. URL: http://esco-ecosys.narod.ru/2003_5/art74.htm.
19. Федотов Р.А. Твердое биотопливо – А что это такое? Из чего можно изготовить качественное биотопливо // Комплексное решение проблем утилизации отходов лесной отрасли, и теплообеспечения «лесных» районов края : сб. докл. второго практ. семинара. Красноярск, 2006. С. 137–146.

Поступило в редакцию 4 июля 2011 г.

*Isaeva E.V.**, *Ryazanova T.V.* COMPOSITION, PROPERTIES AND RECYCLING OF VEGETATIVE POPLAR AFTER REMOVAL OF EXTRACTIVES. REPORT 1. THE CHEMICAL COMPOSITION OF SOLID AND LIQUID WASTE

Siberian State Technological University, Mira st., 82, Krasnoyarsk, 660049 (Russia), e-mail: sibstu@sibstu.kts.ru

Work is devoted studying of a chemical compound of a waste of processing of a vegetative part of a poplar balsam for the purpose of search of ways of their qualified use. It is established that the rest after removal of extractives on 90% represents lingo-carbohydrate a complex. On a share of polysaccharides it is necessary an order of 40%. The maintenance of protein of 6,4%. As a part of proteins 17 amino acids, including 9 irreplaceable are identified. Major minerals: calcium, potassium, magnesium, iron, copper, etc. Thus, a vegetative part of a poplar after extraction экстрактивных substances can be used as raw materials for biochemical processing.

Keywords: a poplar, a vegetative part, polysaccharides, squirrels, a substance mineralnye, a fodder additive, biofuel.

References

1. Isaeva E.V., Burdeinaia T.M., Reiser G.A. *Izvestiia vuzov. Khimiia i khimicheskaiia tekhnologiia*, 2007, vol. 50, no. 6, pp. 53–56. (in Russ.)
2. Isaeva E.V., Lozhkina G.A., Riazanova T.V., Vialkov A.I., Domrachev D.V., Tkachev A.V. *Khimiia rastitel'nogo syr'ia*, 2008, no. 1, pp. 63–66. (in Russ.)
3. Isaeva E.V., Lozhkina G.A., Riazanova T.V., Morozov S.V., Cherniak E.I. *Khimiia rastitel'nogo syr'ia*, 2008, no. 2, pp. 47–53. (in Russ.)
4. Isaeva E.V., Lozhkina G.A., Riazanova T.V. *Khimiia rastitel'nogo syr'ia*, 2009, no. 1, pp. 83–88. (in Russ.)
5. Патент №2322501 (Russia). 2008. (in Russ.)
6. Obolenskaia A.V., El'nitskaia Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornye raboty po khimii drevesiny i tsellulozy*. [Laboratory work on the chemistry of wood and cellulose]. Moscow, 1991, 320 p. (in Russ.)
7. Riazanova T.V., Chuprova N.A., Isaeva E.V. *Khimiia drevesiny*. [Wood Chemistry]. Krasnoyarsk, 1996, 358 p. (in Russ.)

* Corresponding autor.

8. Grushnikov O.P., Elkin V.V. *Dostizheniia i problemy khimii lignina*. [Achievements and challenges of lignin chemistry]. Moscow, 1973, 296 p. (in Russ.)
9. Zakis G.F. *Funktsional'nyi analiz ligninov i ikh proizvodstvo*. [Functional analysis of lignins and their production]. Riga, 1987, 230 p. (in Russ.)
10. Ushanova V.M., Lebedeva O.I., Deviatlovskaya A.N. *Osnovy nauchnykh issledovaniy. Ch. 3: Issledovanie khimicheskogo sostava rastitel'nogo syr'ia*. [Basics of research. Part 3: The study of the chemical composition of the plant material]. Krasnoyarsk, 2004. 360 p. (in Russ.)
11. Galimova V.I. *Sezonnye strukturno-metabolicheskie ritmy i adaptatsiya drevesnykh rastenii*. [Seasonal structural rhythms and metabolic adaptation of woody plants], Ufa, 1977, pp. 64–75. (in Russ.)
12. Zhukov A.P. *Trudy Saratovskogo zoovetinstnuta*. Saratov, 1961, vol. 10, pp. 109–124. (in Russ.)
13. Kalnin'sh I.K. *Les – sel'skomu khoziaistvu*. [Forest – agriculture]. Moscow, 1978, 192 p. (in Russ.)
14. Krystofova S., Varecka L., Betina V. *Folia microbiologica*, 1996, vol. 41, no. 3, pp. 49–253.
15. Iagodin V.I. *Osnovy khimii i tekhnologii pererabotki drevesnoi zeleni*. [Fundamentals of chemistry and technology of processing wood greens]. Leningrad, 1981, 224 p. (in Russ.)
16. Volynova R.M., Ianshevskii R.M., Pusena Z.Ia., Sproga L.P. *Produkty pererabotki drevesiny – sel'skomu khoziaistvu*. [Wood processing products – agriculture]. Riga, 1973, vol. 1, pp. 90–93. (in Russ.)
17. Golovkov S.I., Koperin I.F., Naidenov V.I. *Energeticheskoe ispol'zovanie drevesnykh otkhodov*. [Energy use of wood waste]. Moscow, 1987, 224 p. (in Russ.)
18. Red'kta N.I., Khodakov G.S., Nikitin V.P., Remizov V.V., Sed A.D. *Ekologicheskie sistemy*, 2003, no. 5. URL: http://esco-ecosys.narod.ru/2003_5/art74.htm. (in Russ.)
19. Fedotov R.A. *Kompleksnoe reshenie problem utilizatsii otkhodov lesnoi otrasli, i teplo obespecheniia «lesnykh» raionov kraia: sbornik dokladov vtorogo prakticheskogo seminara*. [Complex solution of the waste timber industry, and provide warmth "forest" areas of the region: a collection of reports on the second workshop]. Krasnoyarsk, 2006, pp. 137–146. (in Russ.)

Received July 4, 2011