

Переработка сырья и ресурсосбережение

УДК 676.12:622.765

Влияние флотации на качественные показатели макулатурной массы

**Антоненко Л.П., Баранова Д.А.,
Шищиц С.М., Билан А.Д.**

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

С целью изучения влияния флотации на показатели качества волокнистой массы исследовалась масса из макулатуры марок МС-2А, МС-6Б, МС-7Б, МС-8В. Наивысший флотационный потенциал имеет журнальная макулатура (марка МС-7Б). Получена типографская бумага с использованием в композиции 70 % макулатурной массы (марки МС-7Б и МС-6Б по 50 % каждой) и 30 % беленой целлюлозы, которая соответствует требованиям ГОСТ 9095, а также газетная бумага из 100 % макулатурной массы (марки МС-8В*, МС-8В, МС-7Б в равных частях), соответствующая требованиям ГОСТ 6465.

Ключевые слова: макулатура, целлюлоза, бумага, флотация.

З метою вивчення впливу флоатації на показники якості волокнистої маси досліджувалася маса з макулатури марок МС-2А, МС-6Б, МС-7Б, МС-8В. Найвищий флоатаційний потенціал має журнальна макулатура (марка МС-7Б). Одержано типографський папір з використанням у композиції 70 % макулатурної маси (марки МС-7Б і МС-6Б по 50 % кожної) та 30 % вибіленої целюлози, яка відповідає вимогам ГОСТ 9095, а також газетний папір зі 100 % макулатурної маси (марки МС-8В*, МС-8В, МС-7Б у рівних частинах), який задовольняє вимогам ГОСТ 6465.

Ключові слова: макулатура, целюлоза, папір, флоатація.

Макулатуру часто называют основным сырьем бумажной промышленности XXI века. Уже в начале 1990-х гг. темпы использования макулатуры стали опережать темпы использования целлюлозы. Увеличение количества бытовых отходов, особенно в больших городах, и дефицит древесины способствуют росту использования макулатуры в бумажной отрасли, где ее доля составляет приблизительно 50 % [1].

Современные предприятия в случае производства 1 т волокнистого полуфабриката в результате переработки макулатуры сохраняют более 2,5 м³ древесины. В сравнении с получением первичных волокнистых полуфабрикатов,

при получении 1 т макулатурной массы экономится до 4000 кДж/ч электроэнергии и 4,5 м³ промышленных вод; уменьшается количество выбросов вредных загрязнений в атмосферу приблизительно на 27 кг.

Процесс обесцвечивания макулатурной массы с целью расширения ассортимента изделий из нее и замены белых первичных полуфабрикатов занимает заметное место в разработках исследователей передовых стран в бумажной промышленности.

Подготовка макулатурной массы в настоящее время является отдельным высокотехнологическим направлением целлюлозно-бумажной

Таблица 1. Влияние расхода флокулянта на показатели макулатурной массы и флотошлама

Расход флокулянта, мг/дм ³	Потери после флотации, %	Потери волокна, %	Зольность флотошлама, %	Белизна, %	Прирост белизны, %
МС-6Б, белизна — 50,5 %					
0,00	12,06	8,32	31,09	65,2	29,11
2,75	13,04	9,50	27,11	65,5	29,70
5,50	15,22	10,10	33,24	66,7	32,08
МС-7Б, белизна — 32,7 %					
0,00	9,40	6,71	19,54	43,4	32,72
2,75	11,55	9,15	29,28	47,3	44,65
5,50	13,50	11,75	20,98	50,3	53,82
МС-8В, белизна — 32,4 %					
0,00	0,24	0,30	10,50	34,2	5,65
2,75	0,31	0,12	21,32	35,5	9,57
5,50	0,38	0,08	33,52	36,9	13,89
МС-8В*, белизна — 50,9 %					
0,00	0,65	0,35	12,60	51,2	0,59
2,75	1,02	0,98	10,25	55,2	4,91
5,50	1,69	1,46	6,98	53,4	8,45

промышленности. Макулатурная масса из некоторых марок макулатуры после облагораживания и отбелики заменяет листовенную белевую целлюлозу. Одним из наилучших методов удаления печатной краски, наполнителей и загрязнений является флотация [2].

Флотационный метод основывается на всплывании частиц взвеси на поверхность в результате действия подъемной силы мелких пузырьков воздуха с одновременным удалением из массы частиц печатной краски. Для интенсификации процесса флотации используют гидрофобизирующие вещества — флокулянты, а также пенообразователи, роль которых заключается в том, чтобы удерживать на поверхности поднятые с воздухом твердые частицы.

В действительности флотация является вероятностным процессом, который состоит из четырех этапов, каждый из которых имеет свою вероятность. Частичка краски должна столкнуться с пузырьком воздуха, крепко к нему прикрепиться, всплыть на поверхность к слою пены как стабильному агрегату «частица — пузырек воздуха», покинуть систему вместе с удаляемой пеной. Последние два этапа — это вероятность удаления [3–5].

Химикаты, способствующие объединению частиц краски в крупные образования, называются коллекторами. Они повышают гидрофобный характер поверхности объединенных частиц. Благодаря использованию коллектора вероятность удаления загрязнений повышается.

Первичную информацию о возможности использования конкретного вида макулатуры для

флотации позволяет получить исследование так называемой флотационной способности макулатуры. Под этим термином здесь понимается кинетика повышения оптических характеристик макулатурной массы, прежде всего белизны. Таким образом, исследование флотационной способности позволяет определить флотационный потенциал макулатуры, то есть максимальную величину повышения белизны.

С этой целью исследовались следующие марки макулатуры и их композиции: МС-6Б (отходы использования картона с черно-белой и цветной печатью), МС-7Б (журналы, изданные на суперкаландрированной или слабо мелованной бумаге), МС-8В (газеты с черно-белой печатью). В настоящее время значительная часть газет печатается на бумаге с наполнителем и с использованием цветной печати, поэтому мы сочли целесообразным выделить эту макулатуру как подкласс (далее — МС-8В*).

Результаты исследований (табл.1) показали, что в результате флотации достичь высокой белизны макулатурной массы из макулатуры марки МС-8В невозможно.

В случае использования макулатуры марок МС-6Б, МС-7Б и МС-8В* белизна массы увеличивается после проведения флотации. Это объясняется наличием наполнителей в этих марках макулатуры, которые способствуют образованию пены.

Наибольший флотационный потенциал продемонстрировала журнальная макулатура (марка МС-7Б). Это объясняется тем, что к этой марке принадлежит запечатанная суперкаландрированная и мелованная бумага, от которой во время флотации частицы краски отделяются легко и быстро.

Поскольку использование отдельных марок макулатуры в производственных условиях практически невозможно, то нами исследовался флотационный потенциал разных композиций из макулатуры указанных марок. Результаты исследований представлены в табл.2.

Анализ данных, представленных в табл.2, показывает, что использование в композиции макулатуры марки МС-8В не дает возможности достичь белизны макулатурной массы 50 % (что совпадает с литературными данными). Исполь-

Таблица 2. Влияние расхода флокулянта на показатели макулатурной массы (%) и флотошлама

Расход флокулянта, мг/дм ³	Потери после флотации, %	Потери волокна, %	Зольность флотошлама, %	Белизна, %
МС-6Б : МС-7Б = 50 % : 50 %				
0,00	17,6	10,43	42,10	53,38
2,75	19,5	11,60	29,72	56,83
5,50	20,4	13,40	42,32	56,83
МС-7Б : МС-8В = 50 : 50				
0,00	–	–	–	40,78
2,75	6,05	4,91	15,57	41,43
5,50	3,08	2,75	15,63	44,13
МС-7Б : МС-8В* = 50 : 50				
0,00	3,98	1,79	55,09	37,90
2,75	3,70	2,14	45,29	42,50
5,50	13,3	8,76	35,75	44,68
МС-6Б : МС-7Б = 70 : 30				
0,00	18,6	10,39	43,89	58,75
2,75	20,5	13,74	31,74	60,03
5,50	19,5	16,53	18,85	60,05
МС-6Б : МС-7Б = 30 : 70				
0,00	18,7	4,02	41,24	50,30
2,75	12,1	5,56	58,87	51,78
5,50	6,69	10,97	42,96	55,08
МС-7Б : МС-8В = 70 : 30				
0,00	9,10	7,44	18,88	42,95
2,75	8,67	7,00	20,65	43,08
5,50	9,77	7,30	25,52	45,38
МС-7Б : МС-8В* = 70 : 30				
0,00	9,28	4,55	52,29	46,65
2,75	10,6	7,20	28,29	46,68
5,50	15,8	11,80	24,37	48,88
МС-7Б : МС-8В = 30 : 70				
0,00	3,61	0,77	39,00	36,15
2,75	4,22	1,64	30,50	38,78
5,50	2,79	1,73	19,08	42,65
МС-7Б : МС-8В* = 30 : 70				
0,00	–	–	–	49,33
2,75	0,36	0,13	32,56	50,83
5,50	1,15	0,87	11,99	51,35
МС-6Б : МС-7Б : МС-8В = 33 : 33 : 33				
0,00	7,66	2,37	44,97	41,20
2,75	3,82	2,91	30,75	44,13
5,50	3,75	5,56	26,78	48,50

зование макулатуры марки МС-8В* позволяет достичь более высоких результатов. Наилучшие результаты достигнуты в случае использования макулатуры марок МС-6Б и МС-7Б в разных соотношениях, хотя общие потери достигают 20 %. Можно сделать вывод, что наивысший флотационный потенциал имеют марки макулатуры МС-6Б и МС-7Б, белизна образцов из их ком-

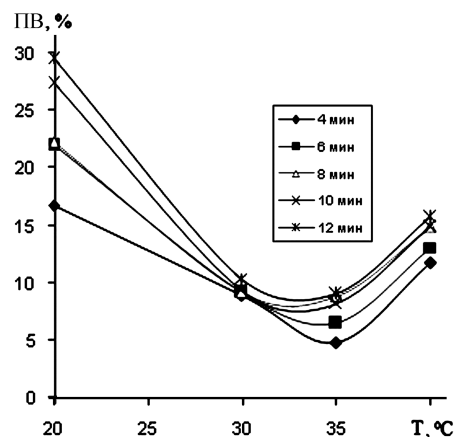


Рис.1. Влияние температуры флотации на потери волокна (ПВ) при расходе флокулянта 2,75 мг/дм³.

позиций колеблется в пределах 50–60 % и соответственно уменьшаются потери волокна. Поскольку в настоящее время предприятия не всегда обеспечены в достаточном количестве некоторыми марками макулатуры, то они заинтересованы в использовании большего количества марок макулатуры, особенно низшего качества [6]. С этой целью был выполнен следующий этап работы, в котором использовались марки макулатуры МС-2А, МС-6Б, МС-7Б, МС-8В, МС-8В* в композиции по 20 % каждой. Результаты исследований представлены на рис.1–3.

Как видно из рис.1, температура флотации существенно влияет на потери волокна. Наибольшие потери наблюдаются при 20 °C и могут достигать 18–30 %, а наименьшие при 35 °C составляют 2,26–5,74 %. На потери волокна влияет продолжительность флотации: с увеличением ее продолжительности больше 6 мин потери волокна возрастают до 18 %. Стремительное увеличение потерь волокна в случае повышения температуры от 35 до 40 °C объясняется тем, что вследствие роста температуры повышается интенсивность флотации и вместе с загрязнениями теряется ценное волокно. Отсюда можно сделать вывод, что с целью уменьшения потерь волокна наиболее целесообразно проводить процесс при 35 °C в течение 6 мин.

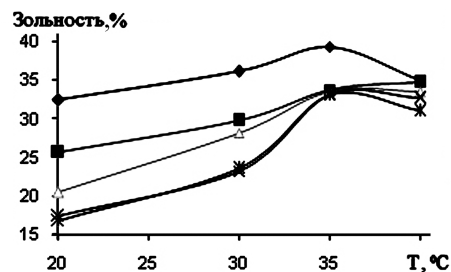


Рис.2. Влияние температуры флотации на зольность флотошлама при расходе флокулянта 2,75 мг/дм³. Обозначения как на рис.1.

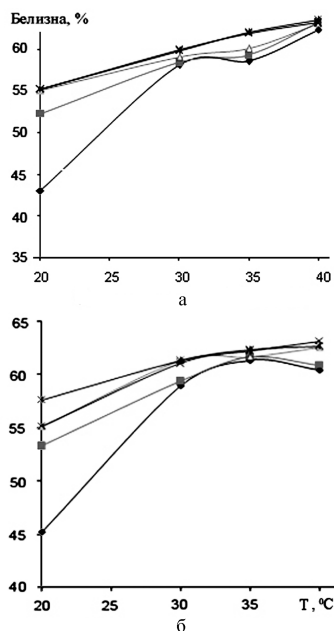


Рис.3. Влияние температуры флотации на показатели белизны макулатурной массы: а — без использования флокулянта; б — при расходе флокулянта 2,75 мг/дм³. Обозначения как на рис.1.

К такому же выводу приходим, анализируя зависимости зольности флотошлама от длительности флотации (рис.2). В результате флотации макулатурной массы при 35 °С зольность флотошлама составляет 31–44 %, что объясняется наименьшими потерями волокна при этой температуре. Поэтому считаем нецелесообразным увеличение времени флотации до 12 мин. По нашему мнению, достаточно вести флотацию в течение 4–6 мин при 35 °С.

Как видно из рис.3, температура флотации значительно влияет на белизну полученного полуфабриката, если флокулянт не используется. Например, в случае увеличения температуры флотации от 20 до 35 °С даже при условии

флотации в течение 4 мин белизна полуфабриката возрастает на 15 %, при увеличении времени флотации эта разница несколько уменьшается, и при 40 °С полуфабрикат достигает белизны 62 %. В случае использования флокулянта при 30–35 °С и продолжительности флотации 6–12 мин прирост белизны макулатурной массы составляет около 1–1,5 %.

Повышение температуры от 35 до 40 °С почти не влияет на белизну полуфабриката, поэтому считаем нецелесообразным повышать ее более 35 °С.

Анализ зависимостей подтверждает сделанные нами предположения, что в случае использования флокулянта повышение температуры более 35 °С не имеет смысла, а увеличение продолжительности флотации больше 6 мин не приводит к существенному увеличению белизны полуфабриката.

Поскольку для производства типографской бумаги нужно сырье с высоким показателем белизны, было решено определить флотационный потенциал макулатуры марок МС-2А и МС-7Б с использованием флокулянта ОПЕА (синтезированного в НГУУ «КПИ») и промышленного флокулянта Fennox 50. Результаты исследований представлены в табл.3. Из нее можно сделать вывод, что лучшая селективность процесса флотации наблюдается при использовании флокулянта ОПЕА. При расходах этого флокулянта 2,75 мг/дм³ наименьшие потери волокна (6 %) и наибольший прирост белизны (20 % для МС-7Б и 7 % для МС-2А), поэтому в дальнейшем для флотации будем использовать флокулянт ОПЕА.

В процессе флотации на Киевском картонно-бумажном комбинате было обнаружено большое содержание жирных кислот в отстойниках, что вызвало проблемы с обезвоживанием и переработкой флотошлама. Считалось, что большое содержание жирных кислот в флотошламе является следствием использования мыла как коллектора. Чтобы определить причину этого, был исследован флотошлам разных марок макулатуры. Флотацию проводили в идентичных условиях. Для того, чтобы получить 100 см³ флотошлама, было профлотировано 1800 см³ макулатурной массы из макулатуры марок МС-8В, МС-7Б и МС-2А концентрацией 1 % и использовано для этого 60 мг мыла. Содержание жирных кислот в флотошламе после фло-

Таблица 3. Влияние флокулянтов на флотацию макулатурной массы

Расход флокулянта, мг/дм ³	Потери после флотации, %	Потери волокна, %	Зольность флотошлама, %	Белизна, %	Прирост белизны, %
Марка макулатуры — МС-2А					
0,00	5,31/5,31	8,18/8,18	30,96/30,96	85,9/85,9	3,2/3,2
2,75	11,69/5,04	6,12/6,86	47,60/37,28	88,8/86,5	6,7/4,0
5,50	12,38/8,22	7,20/9,52	41,49/31,82	90,2/88,2	8,4/6,0
Марка макулатуры — МС-7Б					
0,00	13,50/13,50	11,75/11,75	19,54/19,54	59,0/59,0	4,0/4,0
2,75	13,34/9,40	6,10/6,71	47,70/29,28	68,4/62,3	20,6/9,9
5,50	17,51/11,55	7,24/9,15	41,49/20,98	68,4/62,4	20,6/10,0

Примечание. В числителе — ОПЕА, в знаменателе — Fennox 50. Белизна МС-2А — 83,2/83,2, а МС-7Б — 56,7/56,7.

тации МС-8В составляло 326, МС-2А — 320, МС-7Б — 423 мг/дм³, то есть в 5–7 раз больше, чем расход мыла. Можно сделать вывод, что количество жирных кислот в флотошламе преимущественно зависит от способа производства бумаги или картона, способа нанесения печатной краски на него и незначительно зависит от расхода мыла. Это объясняется тем, что наибольшее количество жирных кислот содержится в макулатуре марки МС-7Б, в состав которой входит мелованная бумага, имеющая значительную запечатанность.

Пригодность макулатуры для использования в производстве бумаги для печати зависит от многих факторов: группы и марки макулатуры, загрязнений, стадий переработки, бумагообразующих свойств, и физико-механических показателей.

Исследовали влияние процесса флотации на эти показатели при разных расходах флокулянта [7]. Для исследования выбрали марки макулатуры МС-6Б, МС-7Б, МС-8В, а для сравнения МС-2А, поскольку она имеет наилучшие показатели качества, но достаточно дорогая.

Во время флотации МС-6Б и МС-7Б значительных изменений в показателях разрывной длины не наблюдалось. Эти марки, как показано выше, имеют наилучший флотационный потенциал, а их разрывная длина (2300 и 3150 м) достаточна для изготовления бумаги и обеспечения ее физико-механических показателей.

Анализируя влияние флотации на показатель прочности на излом во время многоразовых перегибов наблюдается стремительное уменьшение количества двойных перегибов. Объясняется это тем, что во время подготовки макулатурная масса диспергуется в гидроразбивателе, в результате чего увеличивается количество короткого волокна. Однако, показатель прочности на излом во время многоразовых перегибов для образцов из макулатуры марки МС-8В* после флотации возрастает на 16,6 %. Это объясняется тем, что в случае производства газетной бумаги не используются проклеивающие реагенты, в результате удаления которых уменьшаются механические показатели образцов.

Показатель сопротивления продавливанию для всех марок макулатуры, которые использовались, увеличивается с добавлением флокулянта до 2,75 мг/дм³. Это объясняется удалением вместе с пеной наполнителей из массы, которая проходит процесс очистки, а следовательно, увеличивается количество водородных связей в отливке волокнистой массы. Расход флокулянта 5,5 мг/дм³ не так эффективно влияет на сопротивление продавливанию, по-

скольку во время флотации образуется больше пены, с которой теряется и длинное волокно.

В образцах из макулатуры марки МС-7Б, которая имеет высокий флотационный потенциал и разрывную длину, сопротивление разрыву составляет всего 470 мН. Это объясняется многостадийной переработкой и тем, что сырье, из которого изготавливают бумагу для журналов и рекламных буклетов, имеет незначительное содержание длиноволокнистой фракции в композиции, а увеличение количества водородных связей вследствие удаления наполнителей не приводит к значительному увеличению этого показателя.

Механическая прочность бумаги значительно зависит от длины волокна, из которого она изготовлена. На аппарате Каяни определялась длина волокна макулатурной массы из марок МС-6Б и МС-7Б (каждой по 50 %). В случае флотации макулатурной массы увеличилось количество волокон длиной 0,41–1,23 мм.

Белизна образцов из макулатуры разных марок повышается незначительно. Наибольший флотационный потенциал продемонстрировала журнальная макулатура (марка МС-7Б), прирост белизны после флотации составляет 18 % и достигает 61 %.

Согласно ГОСТ 9095, в композицию типографской бумаги № 2 марки А входит 20 % древесной массы белой (ДМ) и 80 % сульфитной беленой хвойной целлюлозы. Поэтому с целью экономии средств и сохранения леса было решено заменить ДМ на макулатурную с использованием макулатуры марок МС-6Б и МС-7Б, которые лучше всего подходят по цене и качеству.

Изготавливали образцы типографской бумаги с разным соотношением целлюлозы и макулатурной массы, %: 30 и 70; 50 и 50; 70 и 30; 30 и 70 с использованием модифицированного крахмального клея. Физико-механические показатели всех композиций типографской бумаги достигли уровня, требуемого стандартом, лишь показатель гладкости существенно отличается, потому что образцы бумаги изготавливались в лабораторных условиях и не каландрировались. В композиции с большим содержанием целлюлозы наилучшие показатели качества, но это не выгодно с экономической точки зрения (даже 50 % беленого первичного полуфабриката — большие затраты). Для увеличения показателей прочности и усиления гидрофобности бумаги в композицию из 30 % целлюлозы и 70 % макулатурной массы вводили 1,2 % от а.с.в. модифицированного крахмального клея КТЕА-2. В результате механические показатели увеличи-

лись и достигли уровня типографской бумаги из композиции 50 % целлюлозы и 50 % макулатурной массы.

Нами получена типографский бумага с использованием в композиции 70 % макулатуры марок МС-7Б и МС-6Б (по 50 % каждой) и 30 % целлюлозы с добавлением 1,2 % от а.с.в. крахмального клея, которая по своим показателям удовлетворяет ГОСТ 9095. Также нами была получена газетная бумага. В композицию газетной бумаги входит древесная масса и полубеленая целлюлоза. С целью экономии средств использовали в композиции макулатуру МС-8В* и МС-7Б (в равных количествах), которая наиболее подходит по цене и качеству.

Композиция 30 % целлюлозы и 70 % макулатурной массы удовлетворяет ГОСТ 6445 по основным показателям. Но даже такая композиция не выгодна экономически. Поэтому было принято решение изготовить газетную бумагу из 100 % макулатурной массы. Композиция состояла из равных частей марок макулатуры МС-8В*, МС-8В и МС-7Б. Основные показатели бумаги в целом удовлетворяют требованиям ГОСТ 6445.

В результате математической обработки методом Гаусса-Зейделя установлены оптимальные условия процесса флотации: температура — 35 °С, длительность — 6 мин, расход флокулянта — 2,7 мг/дм³.

Таким образом, показано, что наибольшим флотационным потенциалом обладает журналь-

ная макулатура (марки МС-7Б), а наименьшим — газетная (МС-8В). Наивысший флотационный потенциал наблюдался при флотации с использованием флокулянта ОПЕА. Получена типографская бумага с использованием в композиции 70 % макулатурной массы и газетная бумага из 100 % макулатурной массы.

Список литературы

1. Шабалин М., Аким Э. Флотация макулатурной массы // Целлюлоза. Бумага. Картон. — 2006. — № 8. — С. 58–62.
2. СТР PTS. The 4th Advanced training course on deinking technology. Vol. 9: Physico-chemical of Deinking. — Grenoble, 1999. — 58 p.
3. Papermaking Science and Technology. Book 7. Recycled Fiber and Deinking / Ed. L.Yottsching, H.Pakarinen. — Jyvaskyla, Finland, 2000. — 649 p.
4. Heindel T.J. The fundamentals of flotation deinking. Institute of paper Science and technology // TAPPI Pulping Conf., San Francisco, California, 19–23 Oct. 1997. — 17 p.
5. Соковнин О.М., Заюскина Н.В. Методология оценки и количественного расчета, эффективности безинерционной флотации // Хим. пром-сть. — 2003. — Т. 80, № 10. — С. 524–532.
6. Ласкар Алан. Технология подготовки бумажной массы с обесцвечиванием макулатуры // Целлюлоза. Бумага. Картон. — 2007. — № 3. — С. 44–48.
7. Агеев М.А. Флотационное облагораживание газетной и писчепечатной макулатуры : Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Екатеринбург, 1999. — 24 с.

Поступила в редакцию 02.12.09

Floation Influence on Waste Paper Mass Qualitative Characteristics

Antonenko L.P., Baranova D.A., Shischits S.M., Bilan A.D.

National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev

Waste paper mass from МС-2А, МС-6Б, МС-7Б, МС-8В types for floatation influence on fibrous mass quality analysis is investigated. Journal waste paper of МС-7Б type has the highest floatation potential. Printing paper by use in a composition of 70 % waste paper mass of МС-7Б and МС-6Б types in 50 % proportion and 30 % of bleached cellulose (satisfies the requirements of the State Standard 9095) just as newsprint paper of 100 % of waste paper mass of МС-8В*, МС-8В, МС-7Б types in equal parts (satisfies the requirements of the State Standard 6465) are obtained.

Key words: waste paper, cellulose, paper, floatation.

Received December 2, 2009