

DOI 10.15593/2409-5125/2015.04.10

УДК 676.0

В.А. Житнюк, Е.В. Белкина

Группа предприятий «ПЦБК»

Е.С. Ширинкина, Я.И. Вайсман

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕЦИРКУЛЯЦИИ СКОПА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ КАРТОННО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В процессе переработки макулатурного и целлюлозного сырья на предприятиях картонно-бумажной промышленности образуются промой волокна, которые частично используются в системе оборотного водоснабжения. Оставшееся избыточное количество промыв отводится на очистку, в результате которой образуется осадок – скоп, обладающий высоким ресурсным потенциалом, поскольку содержит в своем составе около 90 % волокна. В работе представлены результаты исследований по использованию образующегося скопа в качестве вторичного сырьевого ресурса при производстве картонно-бумажной продукции путем его рециркуляции в технологическом процессе. Разработаны рекомендации по повышению эффективности обезвоживания скопа путем предварительной обработки его суспензии высокомолекулярными флокулянтами марки «Праестол» в дозе 1,0–2,0 кг/т. Выполнена оценка возможности рециркуляции скопа при производстве товарной продукции из 100 % макулатурного сырья и из композиции, состоящей из целлюлозы высокого выхода (80 %) и макулатуры (20 %). Установлена возможность добавления скопа, уловленного на общезаводских очистных сооружениях, в макулатурную массу совместно с упрочняющими добавками на основе катионных смол с высоким зарядом. Определена оптимальная доза внесения скопа в макулатурную массу до 10 % мас., обеспечивающая получение товарной продукции, соответствующей техническим требованиям.

Ключевые слова: скоп, макулатура, упрочняющая добавка, высококатионная смола, флокулянт.

В связи с истощением лесных ресурсов современное картонно-бумажное производство в настоящее время все в большей степени ориентируется на использование макулатурного сырья. Доля переработки макулатуры в Европейском союзе составляет по-

рядка 78 %, в России – около 55 % образующейся макулатуры перерабатывается предприятиями целлюлозно-бумажной отрасли, при этом около 80 % всей используемой макулатуры приходится на долю ящичного картона [1]. На начальном этапе производства макулатурное сырье подвергается очистке и фракционированию, при этом в ходе последующей формовки бумажного полотна на бумагоделательной машине происходит частичная потеря короткого волокна (размер фракций около 0,3 мм) в виде промыв, аккумулируемых в специальных емкостях и частично используемых в системе оборотного водоснабжения. Неиспользованные в системе оборотного водоснабжения промыв с высоким содержанием волокна отводятся на очистные сооружения, где осуществляется процесс механического разделения жидкой и твердой фаз с формированием волокнистого осадка – скопа, удельное образование которого при производстве картонно-бумажной продукции из макулатуры составляет порядка 80 кг абсолютно сухого вещества на 1 т перерабатываемого сырья [2, 3]. Поскольку скоп является многотоннажным отходом, состоящим в основном из макулатурного волокна (около 90 % мас.), актуальной является разработка направлений использования его ресурсного потенциала.

В качестве объектов исследования были выбраны два типичных производства картонно-бумажной продукции, относящихся к одному предприятию, использующих 100%-е макулатурное сырье и композицию целлюлозы высокого выхода (80 %) и макулатуры (20 %). Система локальной очистки сточных вод на объектах отсутствует, образующиеся стоки поступают на общезаводские очистные сооружения. Скоп, образующийся в результате очистки сточных вод, представляет собой обводненную суспензию, сложно поддающуюся транспортировке и последующей переработке. На основании анализа современных технологических решений в области обращения с осадками сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий [4–6] была установлена целесообразность предварительного обезвоживания скопа механическими методами.

В ходе обезвоживания скопа на вакуум-филт্রে в опытно-промышленных условиях была достигнута низкая эффективность

процесса в связи с плохой водоотдачей суспензии. Поэтому для повышения эффективности процесса обезвоживания были проведены исследования по использованию реагентов, изменяющих структуру связей частиц скопа с водой и улучшающих его водоотдачу в процессе обезвоживания. В качестве реагентов исследовались полимерные органические флокулянты и неорганические коагулянты в различных комбинациях и соотношениях. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты исследований эффективности обезвоживания скопа на вакуум-фильтре

| Наименование пробы | Доза реагента, кг/т | Время обезвоживания скопа, с | | | Сухость скопа, % |
|---|---------------------|------------------------------|--------|--------|------------------|
| | | 100 мл | 200 мл | 250 мл | |
| Необработанный скоп (контрольный образец) | 0,0 | 9,1 | 44,8 | 175,1 | 20,0 |
| Скоп, обработанный Праестолом 806 (0,1% -й раствор) | 1,0 | 2,5 | 9,4 | 50,2 | 25,5 |
| | 2,0 | 2,2 | 8,0 | 18,9 | 24,8 |
| Скоп, обработанный Праестолом 810 (0,1% раствор) | 1,0 | 2,3 | 11,9 | 46,0 | 25,7 |
| | 2,0 | 2,0 | 6,2 | 27,3 | 24,6 |
| Скоп, обработанный $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 1% -й р-р | 1,0 | 10,2 | 48,9 | 157,7 | 19,4 |
| | 3,0 | 9,5 | 50,8 | 169,0 | 21,0 |
| Скоп, обработанный глиноземом (разбавлен в 10 раз) | 3,0 | 9,3 | 44,6 | 160,5 | 18,4 |
| | 5,0 | 9,7 | 46,6 | 141,1 | 18,3 |
| Скоп, обработанный флокулянтом Б-17, 1% -й раствор | 2,0 | 9,7 | 43,8 | 178,4 | 16,7 |
| | 2,5 | 9,0 | 46,5 | 243,4 | 20,1 |

Как видно из представленных данных, при обработке скопа флокулянтами Праестол 806 и Праестол 810 в соотношениях 1–2 кг/т скорость его обезвоживания и сухость на выходе существенно увеличились по сравнению с контрольной пробой и пробами, обработанными неорганическими коагулянтами и флокулянтом Б-17. В связи с чем оптимальным является использование

Праестолов для предварительной обработки скопа перед обезвоживанием на вакуум-фильтре в дозе 1–2 кг/т обезвоживаемого скопа. В результате внедрения предложенной технологии обезвоживания объем образующегося скопа сократился на 31 %.

В результате теоретических исследований в области использования ресурсного потенциала скопа [7–12] была установлена потенциальная возможность его рециркуляции в технологическом процессе производства.

В связи с чем на следующем этапе исследований определялась возможность использования скопа в качестве вторичного сырьевого ресурса при производстве картонно-бумажной продукции. Поскольку исследуемый скоп содержит в своем составе короткое волокно (фракция около 0,3 мм), введение его в бумажную композицию негативно скажется на прочностных свойствах готовой продукции. Поэтому на основании анализа научно-технической информации [13–15] была установлена целесообразность введения в композиции со скопом упрочняющих добавок на основе катионных смол с высоким зарядом.

Эффективность применения катионных смол оценивалась на двух типах проб: композиции из 100%-го макулатурного волокна, композиции, состоящей на 80 % из целлюлозы высокого выхода и 20 % макулатурного волокна. В исследованиях использовалась катионная смола Hercobond 6950 EU для упрочнения бумаги и картона в сухом состоянии (табл. 2).

Таблица 2

Оценка влияния катионной смолы с высоким зарядом на свойства целлюлозной и макулатурной массы

| Наименование показателя | Целлюлозная масса | | Макулатурная масса | |
|--|-------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| | Исходная масса | Масса с Hercobond 6950 EU | Исходная масса | Масса с Hercobond 6950 EU |
| Помол ШР | 48 | 48 | 26 | 18 |
| Оптическая плотность подсеточной воды* | 0,231 | 0,282 | 0,039 | 0,012 |
| Скорость обезвоживания, с: | | | | |
| 300 мл | 7,6 | 7,9 | 2,9 | 2,3 |
| 500 мл | 31,3 | 31,4 | 10 | 5,4 |
| 700 мл | 77,5 | 79,3 | 23,6 | 14,1 |

Окончание табл. 2

| Наименование показателя | Целлюлозная масса | | Макулатурная масса | |
|---|-------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| | Исходная масса | Масса с Hercobond 6950 EU | Исходная масса | Масса с Hercobond 6950 EU |
| Физико-механические показатели отливок бумажного полотна | | | | |
| Сопротивление продавливанию, кПа | 328 | 347 | 235 | 295 |
| Излом, число двойных перегибов | 8 | 9 | 57 | 99 |
| Разрывная длина, м | 5500 | 6260 | 3950 | 4630 |
| Сопротивление торцевому сжатию, кН/м | 366 | 359 | – | – |
| Сопротивление плоскостному сжатию, Н | 2,49 | 2,45 | – | – |

* Чем ниже оптическая плотность, тем выше удержание волокна.

Как видно из представленных данных, введение катионной смолы в целлюлозную композицию не оказало существенного влияния на скорость обезвоживания массы и оптическую плотность подсеточной воды, физико-механические свойства отливок бумажного полотна тоже существенно не изменились, что может быть связано с высоким уровнем анионного загрязнения целлюлозной композиции и расходом высококатионной смолы на их нейтрализацию. Обработка композиции, состоящей на 100% из макулатурного волокна, катионной смолой обеспечило повышение скорости обезвоживания до 2 раз, повышение удержания волокна на сетке бумагоделательной машины и улучшение физико-механических свойств отливок бумажного полотна. В связи с чем исследования по рециркуляции скопа проводились с использованием композиции, состоящей из 100% -го макулатурного волокна.

В исследованиях использовалась макулатурная масса с концентрацией 0,88 % и скоп с очистных сооружений сухостью 16,8 %.

В лабораторных условиях было подготовлено 4 варианта исследуемых образцов:

1. 100% -я макулатурная масса (контрольный образец).
2. 100% -я макулатурная масса, с добавлением катионной смолы Hercobond 6950 EU.

3. Суспензия, состоящая из макулатурной массы (90 %) и скопа (10 %), с добавлением катионной смолы Hercobond 6950 EU.

4. Суспензия, состоящая из макулатурной массы (80 %) и скопа (20 %), обработанная катионной смолой с высоким зарядом Hercobond 6950 EU. Дозировку Hercobond 6950 EU осуществляли непосредственно перед исследованием в количестве 12 кг/т, выдерживая в массе в течение 2 мин.

Полученные композиции подвергались обезвоживанию на аппарате Шоппер–Риглера, удержание волокна оценивали по оптической плотности полученного в ходе обезвоживания массы фильтрата. Изготовленные из представленных композиций отливки бумажного полотна исследовались на прочность (табл. 3).

Таблица 3

Оценка влияния катионной смолы на свойства образцов макулатурной суспензии с добавлением скопа

| Наименование показателя | Номер исследуемого образца суспензии | | | | Нормативное значение |
|---|--------------------------------------|-------|-------|-------|----------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Помол °ШР | 32 | 19 | 20 | 23 | – |
| Оптическая плотность подсеточной воды | 0,057 | 0,017 | 0,009 | 0,018 | – |
| Скорость обезвоживания, с: | | | | | |
| 300 мл | 3,6 | 2,8 | 3,1 | 3,4 | – |
| 500 мл | 13,5 | 5,5 | 6,5 | 8,2 | – |
| 700 мл | 32,1 | 11,5 | 14,0 | 17,3 | – |
| Физико-механические показатели отливок бумажного полотна | | | | | |
| Сопротивление продавливанию, кПа | 284,3 | 283,5 | 266,3 | 242,8 | 225 |
| Излом, число двойных перегибов | 119 | 184 | 71 | 44 | – |
| Разрывная длина, м | 4370 | 4730 | 4270 | 3840 | Не менее 3900 |
| Удельный вес, г/м ² | 101 | 105 | 101 | 106 | – |

Как видно из представленных данных, скорость обезвоживания суспензий с добавлением упрочняющей добавки повысилась по сравнению с контрольным образцом № 1, прочностные свойства образцов с добавлением скопа снизились по сравнению

с контрольным образцом, однако для образца № 3 снижение прочности не превысило допустимых значений.

Поскольку в исследованиях использовался скоп, отобранный с общезаводских очистных сооружений предприятия (в связи с отсутствием локальных очистных сооружений), отливки, изготовленные из композиций № 3 и 4, имели более темный оттенок по сравнению с образцами № 1 и 2, и в их структуре наблюдались включения неволокнистых фракций (рисунок).



Рис. Лабораторные отливки бумажного полотна

Таким образом, оптимальная доза скопа, уловленного на общезаводских очистных сооружениях, в композиции не должна превышать 10 % мас. С целью вовлечения большего количества скопа в технологический процесс рекомендовано внедрение локальных очистных сооружений, обеспечивающих выделение чистого волокна до подачи стоков в общезаводскую канализационную систему.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Установлена возможность рециркуляции скопа, образующегося после очистки сточных вод картонно-бумажного производства на общезаводских очистных сооружениях. Показано, что при совместном внесении скопа и упрочняющих добавок на основе катионных смол в бумажную композицию достигается удержание скопа в бумажном полотне.

2. Доказана возможность получения товарной продукции требуемого качества при внесении скопа в композицию в количестве не более 10 % мас. С целью снижения содержания механических примесей в скопе рекомендована организация локальных очистных сооружений и начаты исследования в направлении внедрения систем механического обезвоживания ушедшего с подсеточной водой волокна в производстве.

Реализация предложенных мероприятий обеспечит использование ресурсного потенциала скопа, позволит сократить объемы образования скопа, подлежащего дальнейшей переработке или обезвреживанию при этом обеспечить получение товарной продукции, соответствующей установленным техническим требованиям.

Библиографический список

1. Макулатуры хватит на всех... // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2013. – № 3. – С. 18–20.
2. Повышение эффективности технологического процесса производства бумажной продукции из макулатуры путем применения систем удержания-обезвоживания волокна / Е.А. Глезман, В.А. Житнюк, Е.С. Ширинкина, Я.И. Вайсман, Е.В. Белкина // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2014. – № 7. – С. 62–68.
3. Ресурсосберегающая технология использования скопа при производстве картонно-бумажной продукции в условиях группы предприятий «ПЦБК» / В.А. Житнюк, Е.В. Белкина, Е.А. Глезман, Е.С. Ширинкина, Я.И. Вайсман // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы II междунар. науч.-техн. конф. – Архангельск, 2015. – С. 165–171.
4. Combustion of primary and secondary pulp mill sludge and their respective blends with coal: A thermogravimetric assessment / R.N. Coimbra, S. Paniagua, C. Escapa, L.F. Calvo, M. Otero // Renewable Energy. – 2015. – № 83. – P. 1050–1058.
5. Co-firing of paper mill sludge and coal in an industrial circulating fluidized bed boiler / M.Y. Tsai, K.T. Wu, C.C. Huang, H.T. Lee // Waste Manag. – 2002. – № 22. – P. 439–442.
6. Thermogravimetric analysis of the co-combustion of paper mill sludge and municipal solid waste / Shanchao Hu, Xiaoqian Ma, Yousheng Lin, Zhaosheng Yu, Shiwen Fang // Energy Conversion and Management. – 2015. – № 99. – P. 112–118.
7. Баталин Б.С., Козлов И.А. Утилизация скопа ООО «Пермский картон» // Экология и промышленность России. – 2009. – № 6 – С. 20–22.
8. Zule J., Cernec F., Likon M. Chemical properties and biodegradability of waste paper mill sludge to be used for landfill covering // Waste Management and Research. – 2007. – № 25. – P. 538–546.

9. Reuse of waste Sludge from papermaking processes in cement composites / R. Yadollahi, T. Hamzeh, A. Ashory, Sh. Pourmousa, M. Jafari, K. Rashedi // *Polimer Engineering and science*. – 2013. – P. 183–188.

10. Chemical and microbiological stability of waste sludge from paper industry intended for brick production / F. Cernes, J. Zule, A. Moze, A. Ivanus // *Waste Management and Research*. – 2005. – № 23. – P. 106–112.

11. Дулькин Д.А., Спиридонов В.А., Комаров В.И. Современное состояние и перспективы использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2007. – 118 с.

12. Баталин Б.С. Скоп как сорбционно-активное вещество // *Изв. вузов. Строительство*. – 2006. – № 2. – С. 37–39.

13. Бумагообразующие свойства различных видов вторичного сырья / А.М. Идиатуллин, Н.А. Тараканова, И.С. Идиатуллина, И.В. Любавина // *Целлюлоза. Бумага. Картон*. – 2013. – № 9. – С. 52–57.

14. Осипов П.В. Совершенствование системы удержания на потоках машин применением фиксирующих полимеров // *Целлюлоза. Бумага. Картон*. – 2001. – № 1–2. – С. 37–43.

15. Житнюк В.А., Шипигусев А.А. Исследование возможности снижения катионной потребности полуцеллюлозной массы перед подачей на бумагоделательную машину при производстве бумаги для гофрирования // *Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной промышленности: сб. материалов II Всерос. отрасл. науч.-практ. конф.* – Пермь, 2014. – С. 83–89.

References

1. Makulatury khvatit na vsekh... [Wastepaper will suffice for all]. *Tselluloza. Bumaga. Karton*, 2014, no. 3, pp. 18–20.

2. Glezman E.A., Zhitnyuk V.A., Shirinkina E.S., Vajsman Ya. I., Belkina E.V. Povyshenie effektivnosti tekhnologicheskogo protsessa proizvodstva bumazhnoj produktsii is makulatury putem primeneniya sistem uderzhaniya-obevozkhvaniya volokna [Improving the efficiency of technological process of paper production from waste paper by the application of chemical products for fiber retention and dewatering]. *Tselluloza. Bumaga. Karton*, 2014, no. 7, pp. 62–68.

3. Zhitnyuk V.A., Belkina E.V., Glezman E.A., Shirinkina E.S., Vajsman Ya.I. Resursosberegayushchaya tekhnologiya ispolzovaniya skopa pri proizvodstve kartonno-bumazhnoj produktsii v usloviyakh gruppy predpriyatij “PZBK” [Resource saving technology of pulp and paper sludge usage in cardboard and paper production in group of companies “PCBK”]. *Materialy 2 mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii “Problemy mekhaniki tsellulozno-bumazhnykh materialov”*. Arkhangelsk, 2015, pp. 165–171.

4. Coimbra R.N., Paniaguua S., Escapa C., Calvo L.F., Otero M. Combustion of primary and secondary pulp mill sludge and their respective blends with coal: A thermogravimetric assessment. *Renewable Energy*, 2015, vol. 83, pp. 1050–1058.

5. Tsai M.Y., Wu K.T., Huang C.C., Lee H.T. Co-firing of paper mill sludge and coal in an industrial circulating fluidized bed boiler. *Waste Management*, 2002, vol. 22, pp. 439–442.
6. Shanchao Hu, Xiaoqian Ma, Yousheng Lin, Zhaosheng Yu, Shiwen Fang. Thermogravimetric analysis of the co-combustion of paper mill sludge and municipal solid waste. *Energy Conversion and Management*, 2015, vol. 99, pp. 112–118.
7. Batalin B.S., Kozlov I.A. Utilizatsiya skopa OOO «Permskij karton» [Pulp and paper sludge of “Perm cardboard”]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii*, 2009, no. 6, pp. 20–22.
8. Zule J., Cernec F., Likon M. Chemical properties and biodegradability of waste paper mill sludge to be used for landfill covering. *Waste Management and Research*, 2007, no. 25, pp. 538–546.
9. Yadollahi R., Hamzeh T., Ashory A. Reuse of waste Sludge from papermaking processes in cement composites. *Polimer Engineering and science*, 2013, pp. 183–188.
10. Cernes F., Zule J., Moze A., Ivanus A. Chemical and microbiological stability of waste sludge from paper industry intended for brick production. *Waste Management and Research*, 2005, no. 23, p. 106–112.
11. Dulkin D.A., Spiridonov V.A., Komarov V.I. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy ispolzovaniya vtorichnogo volokna iz makulaturiy v mirovoj i otechestvennoj industrii bumagi [Current status and prospects of using recycled fiber from waste paper in the global and national paper industry]. *Arkhangelsk: Izdatelstvo Arkhangel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2007, 118 p.
12. Batalin B.S. Skop kak sorbtionno-aktivnoe veshchestvo [Skop as the sorption-active substance]. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo*, 2006, no. 2, pp. 37–39.
13. Idiatullin A.M., Tarakanova N.A., Idiatullina I.S., Lyubavina I.V. Bumagoobrazuyushchie svoystva razlichnykh vidov vtorichnogo syrya [Papermaking properties of different types of recycled sources]. *Tselluloza. Bumaga. Karton*, 2013, no. 9, pp. 52–57.
14. Osipov P.V. Sovershenstvovanie system uderzhaniya na potokakh mashin primeneniem fiksiruyushchikh polimerov [Improving of fiber retention systems at paper machine by using fixing polymers]. *Tselluloza. Bumaga. Karton*, 2001, no. 1–2, pp. 37–43.
15. Zhitnyuk V.A., Shipigusev A.A. Issledovanie vozmozhnosti snizheniya kationnoj potrebnosti polytselluloznoj massy pered podachej na bumagodelatelnuyu mashinu pri proizvodstve bumagi dlya gofirovaniya [The possibility research of reducing the cationic demand of pulp mass before being applied to the paper machine in the production of fluting]. *Sbornik materialov II Vserossijskoj otraslevoj nauchno-prakticheskoy konferentsii «Perspektivy razvitiya tekhniki i tekhnologii v tsellyulozno-bumazhnoj promyshlennosti»*. Perm, 2014, pp. 83–89.

Получено 29.10.2015

**V. Zhitnyuk, E. Belkina,
E. Shirinkina, Ya. Vajsman**

**STUDY OF THE PULP AND PAPER SLUDGE
RECIRCULATION IN TECHNOLOGICAL PROCESS
OF CARDBOARD PRODUCTION**

In the process of wastepaper and pulp treatment in cardboard production, forming of sewage with fiber takes place. This sewage can be partially used in water recycling system; another part of sewage goes to waste water treatment plant. The result of sewage treatment is pulp and paper sludge formation with high resource potential (because of the high content of fiber in sludge up to 90 %). This work presents the results of pulp and paper sludge recirculation in technological process. Recommendations for improving of pulp and paper sludge dewatering efficiency by preliminary introduction of high molecular flocculants “Praestol” in dose 1,0–2,0 kg/ton. The estimation of pulp and paper sludge introduction opportunity to 100 % wastepaper and pulp (80 % cellulose and 20 % wastepaper mass) compositions with high cationic resins is made. The optimal dose of pulp and paper sludge (up to 10 % mass) in paper composition, which provide the production of final product in accordance to technical requirements.

Keywords: pulp and paper sludge, wastepaper, reinforcing additive, highly cationic resin, flocculant.

***Житнюк Виталий Анатольевич** (Пермь, Россия) – главный технолог группы предприятий «ПЦБК» (614037, г. Пермь, ул. Бумажников, 1), аспирант кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: Vitaly.Zhitnyuk@pcbkr.ru).*

***Белкина Екатерина Васильевна** (Пермь, Россия) – ведущий инженер-технолог исследовательской лаборатории группы предприятий «ПЦБК» (614037, г. Пермь, ул. Бумажников, 1), магистрант кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: Ekaterina.Belkina@pcbkr.ru).*

***Ширинкина Екатерина Сергеевна** (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: shirinkina.es@mail.ru).*

***Вайсман Яков Иосифович** (Пермь, Россия) – д-р мед. наук, профессор, научный руководитель кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: eco@pstu.ru).*

Zhitnyuk Vitalij (*Perm, Russian Federation*) – Chief technologist of Group of Companies “PCBK”(614037, Perm, Bumazhnikov str., 1), Postgraduate Student, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: Vitaly.Zhitnyuk@pcbkr.ru).

Belkina Ekaterina (*Perm, Russian Federation*) – Leading engineer-technologist of research laboratory of Group of Companies “PCBK” (614037, Perm, Bumazhnikov str., 1), Undergraduate Student, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: Ekaterina.Belkina@pcbkr.ru).

Shirinkina Ekaterina (*Perm, Russian Federation*) – Ph.D. in Technical Sciences, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: shirinkina.es@mail.ru).

Vajsman Yakov (*Perm, Russian Federation*) – Doktor of Medical Sciences, Professor, Scientific Director of Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: eco@pstu.ru).