

ПОЛУЧЕНИЕ ФУЛЬВОПОДОБНЫХ КИСЛОТ МЕТОДОМ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ДЕСТРУКЦИИ ТОРФА

В. М. Крайко, В. М. Дударчик, Е. В. Ануфриева, Е. Л. Дудникова

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Разработан метод окислительной деструкции торфа, значительно увеличивающий выход водорастворимых фульвоподобных кислот. В качестве окислителя-деструктора гумуссодержащего сырья был выбран пероксид водорода, как наиболее простой в осуществлении и не загрязняющий реакционную среду побочными продуктами.

На осоковый и пушицевый торфа со степенью разложения 30–35 %, влажностью в пределах 40–70 % воздействовали пероксидом водорода в количестве 0,9–1,0 массовых частей по отношению к сухой массе торфа, при дробном введении по 10–25 % от полной дозы с последующим тщательным перемешиванием. В полученных после обработки препаратах значительно возрастает количество водо- и кислоторастворимых соединений.

Разработана методика оценки количества растворимых веществ после окислительной деструкции торфа, выход которых составил больше 20 %.

Ключевые слова: торф; групповой состав; гуминовые кислоты; фульвокислоты; фульвоподобные кислоты; окислительная деструкция.

Для цитирования. Крайко В. М., Дударчик В. М., Ануфриева Е. В., Дудникова Е. Л. Получение фульвоподобных кислот методом окислительной деструкции торфа // Природопользование. – 2025. – № 1. – С. 190–195.

PRODUCTION OF FULVIC ACIDS BY PEAT OXIDATIVE DESTRUCTION METHOD

V. M. Kraiko, V. M. Dudarchik, A. V. Anufrieva, E. L. Dudnikova

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. A method for increasing the yield of fulvic acids from peat raw materials is proposed. On the basis of studies of group composition of the most typical and widespread peats in Belarus it is shown that humic acids contain up to 45 % of organic matter in them, while the yield of fulvic acids is low and contains about 15 % in the most humified samples. In order to use fulvic acids for practical purposes it is necessary to develop methods to increase their yield from raw materials. Oxidative destruction of peat by hydrogen peroxide was carried out as the most effective, easy to implement and not polluting the reaction medium with oxidizing by-products.

Hydrogen peroxide in the amount of 0.9–1.0 mass parts in relation to peat dry mass was applied to sedge and downy peat with the degree of decomposition of 30–35 %, moisture content in the range of 40–70 %, with the fractional injection of 10–25 % of the full dose followed by thorough mixing. The amount of water- and acid-soluble compounds significantly increases in the preparations obtained after treatment. The technique of the estimation of the amount of soluble substances after peat oxidative destruction, the yield of which was more than 20 %, was developed.

Keywords: peat; group composition; humic acids; humic acids; fulvic acids; fulvic-like acids; oxidative destruction.

For citation. Kraiko V. M., Dudarchik V. M., Anufrieva A. V., Dudnikova E. L. Production of fulvic acids by peat oxidative destruction method. *Nature Management*, 2025, no. 1, pp. 190–195.

Введение. Одним из перспективных и наименее изученных направлений использования гумусовых препаратов является регулирование переноса тяжелых и редких металлов в природной и техногенной средах. Для этой цели можно использовать фульвокислоты (ФК) ряда каустобиолитов, в особенности торфа, специфичность которых заключается в том, что, с одной стороны, они являются водо- и кислоторастворимыми, а с другой – способными к взаимодействию с металлами, включая тяжелые, редкоземельные и другие, и в последние годы к ним резко возрос интерес разработчиков новейших технологий, специализирующихся на добыче указанных металлов, а также очистке техногенных отходов [1].

Ограничением в применении ФК является их невысокое содержание в природном сырье, составляющее порядка 5–15 %, для использования в практике необходимо разрабатывать методы увеличения их выхода из сырья. Перспективным приемом, позволяющим получать на основе торфа дешевые и экологически безопасные комплексообразователи является окислительная деструкция его органического вещества. Специфичность фракционного состава ГК торфа обуславливает их легкую окисляемость до водорастворимых соединений, обладающих комплексообразующими свойствами по отношению к металлам. Получаемые при этом водорастворимые кислоты гумусовой природы получили название «фульвоподобные» для того, чтобы подчеркнуть их отличие от природных ФК. Причем выходы получаемых при этом фульвоподобных кислот (ФПК) должны быть выше содержания ФК исходного сырья и получаемые ФПК должны по потребительским качествам быть не хуже натуральных, т. е. сохранять их свойства как по растворимости, так и по отношению к образованию комплексов с редкоземельными элементами, тяжелыми металлами, что является определяющим при их использовании в качестве добавок в геотехнологические растворы в технологиях подземноскважинного, чанового либо кучного выщелачивания.

ФПК представляют собой продукты направленного каталитического окисления природных каустобиолитов (в частности, некоторых торфов высокой степени гумификации), водорастворимые в широком диапазоне pH, способные к комплексообразованию с тяжелыми металлами за счет наличия в их составе функциональных групп, представляющих собой в основном фенольные гидроксилы и карбоксильные группы.

Идея работы заключается в подборе условий мягкого дозированного окисления высокомолекулярных гумусовых веществ (ГВ) и переводом их в ФК или ФПК с увеличением выхода целевого продукта. Недоокисление или чересчур жесткое окисление не позволяет получать продукты с необходимыми качественными показателями.

Материалы и методы исследований. Сырьем для получения комплексообразующих веществ могут служить природные материалы (каустобиолиты), в составе которых в значительном количестве присутствуют ГВ, состоящие, как известно, из гуминовых кислот (ГК) и ФК. К таким материалам относятся торф, бурый уголь, сапропель.

Объектами исследований послужили торфы различных типов и видов. Из низинных видов торфа выбраны осоковый, из переходных – древесный и осоково-сфагновый, из верховых – сосново-пушицевый и пушицево-сфагновый. Их степень разложения и ботанический состав, определенные микроскопическим методом, представлены в табл. 1. Из приведенных характеристик видно, что исследуемые образцы торфа являются типичными и широко распространены в Беларуси.

Таблица 1. Характеристика объектов исследования

Table 1. Characteristics of research objects

Месторождение	Вид торфа	Ботанический состав, %	Степень разложения, %	Зольность А _c , %
Славное	Сосново-пушицевый	Пушица – 60; сосна – 15; сфагновый магелланикум – 20; сфагновый фускум – ед.; сфагновый ангустифолиум – 5	40	1,5
	Пушицево-сфагновый	Сосна – 5; пушица – 50; сфагновый магелланикум – 35; сфагновый ангустифолиум – 10	35	1,6
	Пушицево-сфагновый	Сосна – ед.; пушица – 35; сфагновый магелланикум – 45; сфагновый ангустифолиум – 10	30	1,3
Есмоновский мох	Сосново-пушицевый	Сосна – 20; пушица – 40; сфагновые мхи – 30; шейхцерия – 10	40	1,4
	Древесный переходный	Сосна – 25; береза – 25; тростник – 5; пушица – 10; осоки – 15; сфагновые мхи – 20	45	2,5
	Осоково-сфагновый переходный	Береза – 5; тростник – 10; вахта – 5; осоки – 30; пушица – 15; сфагновые мхи – 35	35	2,2
Туршевка-Чертово	Пушицевый	Сосна – 10; пушица – 80; сфагновые мхи – 10	35	1,2
	Осоковый	Осока – 75; тростник – 15; гипновый мох – 10	30	2,2

Торф имеет сложный и разнородный химический состав. В него входят почти все группы органических соединений, слагающих исходное растительное вещество. Групповой состав торфа является наиболее полной его характеристикой, которая дает представление о содержании в нем основных групп органических соединений: битумов, легко- и трудногидролизующих веществ, гуминовых веществ и «лигнина» (негидролизующего остатка).

Групповой состав торфа определяли по методу Инсторфа [2]. Результаты определения группового состава представлены в табл. 2.

Таблица 2. Групповой состав органического вещества торфа

Table 2. Group composition of peat organic matter

Место-рождение	Вид торфа	Степень разложения	Битумы	Легкогидролизующие вещества	Трудногидролизующие вещества	Гуминовые вещества			Негидролизующий остаток
						всего	ГК	ФК	
% на органическую массу торфа									
Славное	Сосново-пушицевый	40	8,1	20,1	7,8	50,5	37,2	13,3	13,5
	Пушицево-сфагновый	35	7,3	25,1	8,1	51,1	36,6	14,5	8,4
		30	6,1	26,9	13,1	41,9	28,8	13,1	12,1
Есмоновский Мох	Сосново-пушицевый	40	8,2	23,2	6,7	51,5	38,0	13,5	10,4
	Древесный переходный	45	7,3	13,8	2,7	65,5	45,8	19,7	10,7
	Осоково-сфагновый	35	7,7	18,3	4,3	59,5	40,8	18,7	10,2
Туршевка-Чертово	Пушицевый	35	7,9	22,8	8,3	48,3	34,8	13,5	12,7
	Осоковый	30	3,7	24,5	13,3	48,6	35,9	12,7	9,9

Как видно из полученных данных, в зависимости от вида торфа и степени разложения содержание битумов колеблется от 3,7 до 8,2 %. Углеводный комплекс торфа представлен легкогидролизующими и трудногидролизующими веществами. Содержание легкогидролизующих веществ исследуемых образцов торфа колеблется от 13,8 до 26,9 % органической массы. В исследованных образцах количество трудногидролизующих веществ колеблется в пределах 2,7–13,3 % на органическую массу торфа. Как видно из полученных данных исследуемых образцов торфа, суммарное содержание гуминовых веществ находится в пределах 41,9–65,5 %. Характерно, что ГК на фоне ФК преобладают во всех исследованных образцах. Их содержание составляет от 28,8 до 45,8 %, ФК – от 12,7 до 19,7 % органической массы торфа. Негидролизующий остаток (лигнин) в исследуемых образцах изменяется в пределах 8,4–13,5 %.

Таким образом, на основании исследований группового состава каустобиолитов мы выбрали для дальнейшей работы в качестве наиболее перспективного сырья два вида торфа месторождения Туршевка-Чертово: низинный, осоковый, $R = 30$ %, $W = 47,7$ %, $A^c = 2,2$ % и верховой, пушицевый, $R = 35$ %, $W = 43,2$ %, $A^c = 1,2$ %.

Для увеличения выхода ФПК из каустобиолитов наиболее перспективным является использование метода окислительной деструкции гуминовых веществ. В качестве окислителя-деструктора гумуссодержащего сырья был выбран пероксид водорода как наиболее простой в осуществлении, самый перспективный и не загрязняющий реакцию среду побочными продуктами. Окисление органических веществ пероксидом водорода представляет собой достаточно мягкое воздействие по сравнению с рядом других окислителей и, как правило, ограничивается окислением отдельных специфических групп [3–5]. Пероксид водорода – экологически чистый окислитель, его применение не приводит ко вторичному загрязнению продуктами разложения реагента, кроме того, его можно использовать в широком диапазоне pH. В зависимости от pH среды пероксид водорода может действовать по-разному: в щелочной среде – как нуклеофильный реагент, в кислой и нейтральной (водной) среде – как электрофильный. При этом происходит образование карбонильных и карбоксильных групп, а щелочная среда способствует более целенаправленному превращению органических соединений при окислении в карбоновые кислоты.

Механизм окислительной деструкции ГК торфа до конца не выяснен. Доказано, что в ГК торфа конденсированные ароматические ядра соединены мостиками с неопределёнными связями, обеспечивающими полисопряжение. Разрушение таких мостиков при окислении ведет к уменьшению размеров систем полисопряжения. Вместе с этим происходит уменьшение молекулярных масс ГК и образование водорастворимых продуктов, обогащенных кислородными функциональными группами. В отличие от ГК такие продукты не выпадают в осадок в кислой среде при $pH = 1,0$ – $2,0$ [6, 7].

Окисление торфа осуществляли введением в него окислителя следующим образом. Торф измельчали, просеивали через сито с размером ячеек 3 мм. Навески торфа по 10 г на с. в. ($W = 40\text{--}50\%$) помещали в отдельные емкости, в которые при постоянном перемешивании вводили пероксид водорода (30 %) в соотношении H_2O_2 : ОБ торфа, равном 1 : 1. После введения окислителя через небольшой промежуток времени наблюдался разогрев смеси. Температура в процессе обработки поднималась до $60\text{--}80\text{ }^\circ\text{C}$. После снижения температуры реакционные смеси перемешивали и оставляли на сутки. Затем их заливали водой (1 : 10 на ОБ торфа) и еще сутки настаивали при комнатной температуре для экстракции ФПК.

Фильтровали нерастворившийся остаток, промывали водой до обесцвечивания фильтрата. Определяли оптическую плотность фильтрата ($\text{pH} = 1,5\text{--}2,0$).

Выпаривали фильтрат на водяной бане во взвешенных чашках. Остаток на фильтре высушивали в сушильном шкафу при температуре $40\text{ }^\circ\text{C}$ до постоянного веса.

Находили значение веса растворенного остатка (A_p) и остатка на фильтре (A_c).

Выход растворимых веществ определяли несколькими способами:

1) по сухому остатку, %:

$$B_c = \frac{A - A_c}{A} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где A – исходная навеска торфа до обработки, с. в.; A_c – остаток обработанного торфа после удаления растворимых соединений;

2) по растворимому остатку, %:

$$B_p = \frac{A_p \cdot 100}{A}, \quad (2)$$

где A_p – сухой остаток перешедших в раствор веществ, после обработки торфа пероксидом водорода, растворения в воде и выпаривания.

Результаты и их обсуждение. Проведенные эксперименты по выделению ФПК из различных торфов показали, что при обработке низинного торфа пероксидом водорода осуществлялся разогрев реакционной смеси, при окислении верхового торфа повышение температуры не происходило. Аналогичные явления наблюдали авторы работы [8], которые предположили, что на ход процесса окисления оказывает влияние содержание ионов железа в торфе. Была выполнена следующая серия опытов.

Взяли по две навески по 10 г на ОБ пушицевого и осокового торфа. В одну из навесок пушицевого и соответственно осокового торфа внесли растворенную соль железа хлористого в количестве 5 мг/г торфа. Такое количество железа соответствует его содержанию в низинном торфе. Смеси тщательно перемешали и дали подсохнуть до влажности исходного торфа, после чего провели окисление пероксидом водорода в соотношении H_2O_2 : ОБ торфа, равном 1 : 1. В пробах с низинным торфом реакционную смесь разогрели до температуры $70\text{ }^\circ\text{C}$, в верховом торфе окисление с добавкой железа осуществляли при температуре $68\text{ }^\circ\text{C}$, без добавки – при температуре $21\text{ }^\circ\text{C}$. Результаты эксперимента представлены в табл. 3.

Таблица 3. Влияние условий выделения на температуру реакции и выход фульвоподобных кислот

Table 3. Effect of extraction conditions on reaction temperature and yield of fulvic-like acids

Количество Fe^{3+} , мг/г	T , $^\circ\text{C}$	Оптическая плотность, D	pH	Выход ФПК, %
<i>Пушицевый торф</i>				
0	21	0,31	2,0	10,9
5	68	0,54	1,5	24,0
<i>Осоковый торф</i>				
0	70	0,27	1,9	23,5
5	90	0,30	1,7	22,6

Как видно из полученных данных, добавка соединений железа в верховой торф повышает температуру процесса окисления, оптическую плотность раствора ФПК, а также выход продуктов окисления в 2 раза, pH при этом уменьшается. Добавка ионов железа в низинный торф не приводит к существенным изменениям, незначительно увеличиваются температура процесса и оптическая плотность, уменьшается pH, но при том не изменяется выход продукта.

Для определения выхода водорастворимых веществ торфа при его окислении пероксидом водорода пробы низинного и верхового торфа обработали по изложенной выше методике. Полученные результаты приведены в табл. 4.

Таблица 4. Выход водорастворимых веществ торфа**Table 4. Output of water-soluble substances of peat**

Проба	Сухой остаток после выделения водорастворимых соединений (A_c)	Количество перешедших в раствор ФПК (по разности) ($A^* - A_c$)	Выход (B_c), %	Количество перешедших в раствор ФПК после выпаривания (A_p)	Выход (B_p), %
Торф низинный**	7,64	2,35	23,5	2,29	22,9
Торф верховой***	7,60	2,40	24,0	2,22	22,2

* Исходная навеска (A) – 10,0 г.

** Осоковый, $W = 47,7$ %; $A^c = 2,1$ %.

*** Пушицевый, $W = 43,2$ %; $A^c = 1,2$ %.

Из полученных данных видно, что значения выхода ФПК, рассчитанные по взвешиванию сухого остатка после выделения водорастворимых веществ и по количеству перешедших в раствор веществ, практически совпадают и составляют около 24 %.

Закключение. ГВ являются универсальными природными комплексообразователями, образуют устойчивые растворимые комплексы с металлами и их соединениями в широком диапазоне pH, поэтому препараты на их основе должны также обладать способностью растворяться в тех же пределах pH. Особую роль в этом процессе играют ФК. Меньшая молекулярная масса, менее конденсированное ароматическое ядро и высокое содержание полярных групп обуславливают лучшую растворимость и подвижность ФК и их комплексов по сравнению с ГК.

Как следует из литературных данных и проведенных исследований, в торфе может содержаться до 45 % от органического вещества ГК, выход же ФК невысок и составляет около 15 %. Количество ФК в органическом веществе сапропеля еще меньше – 5–7 %, выход водорастворимых органоминеральных соединений из бурого угля составляет 2 % на органическую массу.

Для использования ФК в практических целях необходимо разрабатывать методы увеличения их выхода из сырья. Перспективным приемом, позволяющим получать на основе торфа дешевые и экологически безопасные комплексообразователи, является окислительная деструкция его органического вещества. Специфичность фракционного состава ГК торфа обуславливает их легкую окисляемость до водорастворимых ФПК, обладающих комплексообразующими свойствами по отношению к металлам.

Процессы деструкции каустобиолитов окисляющими агентами требуют точной дозировки и соотношения реагирующих масс, температуры, времени и тщательного соблюдения других условий ведения процесса, так как низкая степень деструкции продукта приведет к невысокому выходу целевых кислоторастворимых фульвоподобных продуктов, а высокая – к потере каркасной структуры ФК, что естественным образом скажется на качестве получаемого конечного продукта. Наиболее перспективным является метод окислительной деструкции гуминовых веществ с использованием пероксида водорода как наиболее эффективного, простого в осуществлении и не загрязняющего реакционную среду побочными продуктами.

С целью получения ФПК использовали как осоковый, так и пушицевый торф со степенью разложения 30–35 % и влажностью в пределах 40–70 %, на который воздействовали пероксидом водорода в количестве 0,9–1,0 массовых частей по отношению к сухой массе торфа, при дробном введении по 10–25 % от полной дозы с последующим тщательным перемешиванием.

Установлено, что выход водорастворимых веществ после окислительной деструкции как низинного, так и верхового торфа составил около 24 %.

Список использованных источников

1. Волков, И. В. Реакции микроэлементов с гуминовыми кислотами как основа сорбционной дезактивации и очистки техногенных отходов : дис. ... канд. хим. наук : 02.00.04 / Волков Илья Владимирович. – Екатеринбург, 2016. – 164 л.
2. Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы его определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск : Наука и техника, 1975. – 320 с.
3. Кухаренко, Т. А. Окисленные в пластах бурые и каменные угли / Т. А. Кухаренко. – М. : Наука, 1972. – 214 с.
4. Верховданова, Н. Т. Исследование продуктов окислительной деструкции сапропелитов / Н. Т. Верховданова, В. В. Тутурин // Химия твердого топлива. – 1977. – № 1. – С. 17–23.
5. Влияние обработки бурого угля перекисью водорода на выход буроугольного воска / О. В. Базарова, А. Г. Шевченко, И. В. Рубан [и др.] // Химия твердого топлива. – 1990. – № 5. – С. 18–21.
6. Бамбалов, Н. Н. Деструкция гуминовых кислот торфа пероксидом водорода / Н. Н. Бамбалов, Т. П. Смычник // Весті Академії навук БССР. Серія хімічних навук. – 1986. – № 3. – С. 75–78.

7. Смычник, Т. П. Влияние пероксида водорода на деструкцию фракций ГК торфа / Т. П. Смычник, В. М. Дударчик // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. – 2000. – № 1. – С. 109–112.
8. Смычник, Т. П. Влияние соединений железа на окислительную деструкцию торфа пероксидом водорода / Т. П. Смычник, Н. Н. Бамбалов // Природопользование. – 2011. – Вып. 19. – С. 176–179.

References

1. Volkov I. V. *Reakcii mikroelementov s guminovymi kislotami kak osnova sorbcionnoj dezaktivacii i ochistki tekhnogennyh othodov. Diss. kand. him. nauk* [Reactions of trace elements with humic acids as a basis for sorption decontamination and purification of technological waste. Dr. chem. sci. diss.]. Ekaterinburg, 2016, 164 p. (in Russian)
2. Lishtvan I. I., Korol' N. T. *Osnovnye svoystva torfa i metody ego opredeleniya* [The basic properties of peat and methods for determining it]. Minsk, Nauka i Tekhnika Publ., 1975, 320 p. (in Russian)
3. Kukharenko T. A. *Okislennye v plastakh burye i kamennye ugli* [Brown and stone coals oxidized in layers]. Moscow, Nauka Publ., 1972, 214 p. (in Russian)
4. Verkhodanova N. T., Tuturina V. V. *Issledovanie produktov okislitel'noj destrucci sapropelitov* [Research of oxidative destruction of sapropelites]. *Khimiya tverdogo topliva = Chemistry of Solid Fuel*, 1977, no. 1, pp. 17–23. (in Russian)
5. Bazarova O. V., Shevchenko A. G., Ruban I. V., e. a. *Vliyanie obrabotki burogo uglya perekis'yu vodoroda na vykhod burougol'nogo voska* [The impact of brown coal treatment with hydrogen peroxide on the output of a brown-over wax]. *Khimiya tverdogo topliva = Chemistry of Solid Fuel*, 1990, no. 5, pp. 18–21. (in Russian)
6. Bambalov N. N., Smychnik T. P. *Destrukciya guminovykh kislot torfa peroksidom vodoroda* [Destruction of humic acids peat with hydrogen peroxide]. *Vesci Akademii navuk BSSR. Seriya himichnyh navuk = Izvestia of the Academy of Sciences of the BSSR. Series of Chemical Sciences*, 1986, no. 3, pp. 75–78. (in Russian)
7. Smychnik T. P., Dudarchik V. M. *Vliyanie peroksida vodoroda na destrucciuyu frakcij GK torfa* [The effect of hydrogen peroxide on the destruction of the fractions of the Civil Code of Peat]. *Vesci Akademii navuk BSSR. Seriya himichnyh navuk = Izvestia of the Academy of Sciences of the Belarus. Series of Chemical Sciences*, 2000, no. 1, pp. 109–112. (in Russian)
8. Smychnik T. P., Bambalov N. N. *Vliyanie soedinenij zheleza na okislitel'nyuyu destrucciuyu torfa peroksidom vodoroda* [The effect of iron compounds on oxidative destruction of peat with hydrogen peroxide]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2011, no. 19, pp. 176–179. (in Russian)

Информация об авторах

Дударчик Владимир Михайлович – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: dudwladm@gmail.com

Крайко Валентина Михайловна – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: vvkraiko@gmail.com

Ануфриева Елена Владимировна – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: Lenaanufrieva5@rambler.ru

Дудникова Евгения Леонидовна – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: dudnikova13@list.ru

Information about the authors

Vladimir M. Dudarchik – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Associate Professor, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: dudwladm@gmail.com

Valiantsina M. Kraiko – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Associate Professor, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: vvkraiko@gmail.com

Alena V. Anufrieva – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: Lenaanufrieva5@rambler.ru

Evgeniya L. Dudnikova – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: dudnikova13@list.ru