

**Ю.М. Загорская, Н.Н. Слюсарь,
И.С. Глушанкова, Ю.В. Завизион**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОТХОДОВ РАЗНОГО СРОКА ЗАХОРОНЕНИЯ

Приведены результаты исследования свойств отходов сроком захоронения 1–3 года и более 30 лет. Установлены фазы распада органической части отходов на основании данных результатов определения рН, ХПК, БПК₅. Представлены результаты определения ряда химических показателей отходов. Проведен анализ изменения свойств отходов в зависимости от возраста/степени разложения по следующим показателям: содержание органического углерода, железа валовой формы, нитрит-ионов, зольности отходов; сухого остатка, потерь при прокаливании, содержания сульфат-, хлорид-ионов в водных вытяжках отходов.

Ключевые слова: свалка, полигон, твердые бытовые отходы, фаза разложения, свойства отходов.

**Iu.M. Zagorskaia, N.N. Sliusar,
I.S. Glushankova, Iu.V. Zavizion**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

RESEARCH OF PROPERTIES OF WASTE VARIOUS DEADLINE DISPOSAL

The article contains results studies of the properties of waste disposal for a period of 1–3 years and more than 30 years. Are installed phases of organic decay of the waste on based on data the results of determination of pH, COD, BOD₅. The results determining a number of chemical waste indicators. The analysis of the changes in the properties of waste depending on the age/degree of decomposition of the following indicators: organic carbon content, iron the gross form, nitrite ions, ash content waste, dry residue, loss on ignition, the content of sulfate, chloride ions in aqueous extracts of waste.

Keywords: dump, landfill, municipal solid waste, phase of decomposition, properties of the waste.

По данным Министерства природных ресурсов и экологии, в России ежегодно образуется порядка 50 млн т ТБО, 96 % которых подвергаются захоронению [1].

Захороненные отходы подвергаются разложению под действием ряда химических и биологических процессов, в результате чего их свойства и состав изменяются во времени [2].

Протекающие в массиве физико-химические и биологические процессы разложения отходов приводят к образованию биогаза

и фильтрата, которые при попадании в окружающую среду негативно воздействуют на нее.

Процессы разложения отходов вначале протекают в аэробных, а после в анаэробных условиях. Продолжительность аэробной стадии деградации зависит от скорости заполнения карты и степени уплотнения отходов. В среднем аэробный этап может продолжаться от 1 месяца до 1 года. Глубина протекания аэробных процессов может составлять 50–80 см от поверхности отходов [3].

По мере увеличения верхнего слоя отходов в массиве начинают протекать анаэробные процессы биодegradации отходов, которые, в свою очередь, подразделяются на следующие основные фазы разложения органических компонентов: гидролиз, ацетогенез, метаногенез и полная ассимиляция [4].

Оценка степени биодеструкции и остаточного эмиссионного потенциала отходов в массиве полигона ТБО является сложной задачей, поскольку в каждом объекте захоронения отходов процессы разложения протекают с разной скоростью и при различных условиях (температура, рН, влажность, наличие свободного кислорода) по ряду причин:

- отличный состав захораниваемых отходов разных лет и разных территорий (населенных пунктов);
- разные климатические условия;
- разная скорость заполнения карт и степень уплотнения отходов;
- индивидуальное время наступления той или иной фазы разложения органических компонентов отходов относительно каждого полигона ТБО, его участков и слоев отходов, находящихся на разной глубине, в зависимости от вышеперечисленных условий.

Большое число исследовательских работ было посвящено изучению свойств фильтрата как косвенного показателя процессов, протекающих в массиве отходов. На основании данных ряда показателей фильтрата можно делать вывод о протекающей фазе метаногенеза в отходах, но для оценки глубины биодеструкции ТБО и прогноза эмиссий биогаза фильтрат не является информативным. Также недостатком является то, что выходящий на поверхность фильтрат представляет собой суммарный результат инфильтрационных вод с разных участков и глубин отходов, где ТБО могут характеризоваться разными биохимическими свойствами. Зачастую, особенно на старых объектах размещения отходов, отвод фильтрата не организован. В таких случаях на анализ отбирается фильтрат из мест его скопления, где он подвергается

ется воздействию ряда климатических факторов (снег, дождь, испарение, осаднение), а также является усредненным составом фильтрационных вод нескольких лет и не отражает текущие процессы биодеструкции, происходящие в теле полигона.

Целью исследовательской работы являлось определение приоритетных показателей, по которым можно было бы оценить степень биодеструкции/стабильности отходов и спрогнозировать их воздействие на окружающую среду в будущем.

На данном этапе проведения работ для исследования были выбраны два объекта размещения отходов принципиально разного возраста захоронения.

Полигон захоронения ТБО г. Краснокамска эксплуатируется с 2008 г. по настоящее время. На полигоне осуществляется рециркуляция фильтрата. Высота массива составляет 4–6 м. Отбор проб отходов был осуществлен в июле 2013 г. в двух точках посредством экскаватора на следующих глубинах: точка отбора № 1 – 2,5–3,0 м, 3,5–4,0 м, 5,5–6,5 м; точка отбора № 2 – 1–1,5 м, 2,5–3,0 м, 5,5–6,5 м (рис. 1). Возраст отходов был определен по дате изготовления, сроку годности, указанных на упаковках продуктов питания, обнаруженных в составе отходов: отходы в точке отбора № 1 – 1–2 года, в точке отбора № 2 – 2–3 года.



Рис. 1. Расположение точек отбора отходов на полигоне захоронения ТБО г. Краснокамска



Рис. 2. Расположение точек отбора отходов на свалке «Голый мыс»

В сентябре 2013 г. были отобраны пробы отходов на старой городской свалке «Голый мыс». Прием отходов прекращен с 1982 г. Эксплуатация длилась более 30 лет. Рекультивация заключалась в засыпке

песчано-глинистым грунтом. Мощность отходов достигает 8 м. Пробы отходов по профилю массива свалки были отобраны посредством экскаватора в двух точках на глубинах: точка отбора № 1 – 1,0–2,0 м, 2,0–3,0 м, 4,0–5,0 м; точка отбора № 2 – 1,0–2,0 м, 3,0–4,0 м, 4,0–5,0 м, 5,0–6,0 м (рис. 2).

На основании обзора научно-технической литературы и ранее проведенных исследований сотрудниками кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета был определен ряд показателей для изучения стабильности отходов: содержание органического углерода, соединений азота (нитратный, нитритный, аммонийный и органический азот), зольности, валового содержания серы, фосфора и железа валовой формы и суммарного содержания хрома (III, IV). Были определены показатели водных вытяжек отходов: рН, ХПК, БПК₅, сухой остаток, потери при прокаливании (ППП), жесткость, содержание иона сульфата и иона хлорида.

Анализу подвергались отходы, прошедшие предварительную подготовку, которая заключалась в отсеивании инертной фракции (стекло, камни, металл), измельчении (размер фракции не более 20 мм) и гомогенизации. Водные вытяжки для анализов были получены согласно ГОСТ 26423–85 в соотношении с дистиллированной водой 1:5. Результаты анализов приведены без учета отсеянной инертной фракции отходов.

В ходе проведения исследований отходов установлено, что водные вытяжки проб отходов характеризуются щелочной реакцией среды. Учитывая срок захоронения отходов (все пробы более 1–2 лет) и отсутствие кислых условий среды, можно сделать вывод об окончании гидролизной и ацетогенной фаз (таблица) на момент проводимых исследований.

Отходы, характеризующиеся сроком захоронения 1–2 года (точка отбора № 1 полигона захоронения ТБО г. Краснокамска), находятся на начальной стадии активного метаногенеза, поскольку значения рН показывают слабощелочную среду, близкую к нейтральной (7,0–7,6 ед. рН).

Более активно процессы метанообразования протекают на участке, где отходы депонировались в течение 2–3 лет (точка отбора № 2 полигона захоронения ТБО г. Краснокамска), а значения рН показывают более щелочные условия среды (7,9–8,5 ед. рН).

**Определение фазы разложения органических
компонентов отходов**

Глубина отбора, м	pH, ед.	Фаза	XПК, мгО ₂ /д м ³	Фаза	БПК ₅ , мгО ₂ /д м ³	Фаза
<i>Полигон ТБО г. Краснокамска. Точка № 1. Возраст 1–2 года</i>						
2,5–3,0	7	активный метаногенез	4682	активный метаногенез	1225	активный метаногенез
3,5–4,0	7,6		1281		450	
5,5–6,5	7,4		4485		1200	
<i>Полигон ТБО г. Краснокамска. Точка № 2. Возраст 2–3 года</i>						
1–1,5	7,9	активный метаногенез	5017	активный метаногенез	1825	активный метаногенез
2,5–3,0	8,1		1011		420	
5,5–6,5	8,5		4033		1075	
<i>Полигон ТБО «Голый мыс». Точка № 1. Возраст более 30 лет</i>						
1,2–1,8	7,7	стабильный метаногенез	265	стабильный метаногенез	95	стабильный метаногенез
2,2–2,8	7,8		150		72	
4,2–4,8	7,7		147		67	
<i>Полигон ТБО «Голый мыс». Точка № 2. Возраст более 30 лет</i>						
1,2–1,8	7,7	стабильный метаногенез	237	стабильный метаногенез	100	стабильный метаногенез
3,2–3,8	7,7		140		52	
4,2–4,8	7,6		135		50	
5,2–5,8	7,9		115		33	

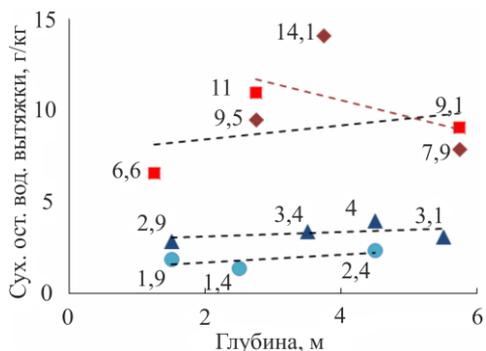
Процессы метанообразования в нижних слоях отходов в ряде случаев протекают более интенсивно, о чем свидетельствует рост значений pH среды по глубине массива.

Высокие значения ХПК и БПК₅ анализируемых водных вытяжек отходов также подтверждают стадию активного метаногенеза для отходов сроком захоронения 1–3 года полигона захоронения ТБО г. Краснокамска.

Щелочные условия pH среды и низкие значения показателей ХПК, БПК₅ отходов свалки «Голый мыс» свидетельствуют о замедлении процессов ферментативного разложения органических кислот с образованием газов (метан, углекислый газ, меркаптаны, аммиак и др.) и стабилизации биохимических процессов, что характерно для окончания фазы стабильного метаногенеза и наступления периода ассимиляции.

Анализ результатов определения сухого остатка (рис. 3) и потерь при прокаливании (рис. 4) водных вытяжек показал, что в отходах,

возраст захоронения которых более 30 лет, содержание водорастворимых соединений в 2–3 раза ниже, чем в отходах сроком захоронения 1–3 года.



◆ Точка № 1. Полигон ТБО г. Краснокамска (1–2 года) ● Точка № 1. Свалка «Голый мыс» (более 30 лет)
 ■ Точка № 2. Полигон ТБО г. Краснокамска (2–3 года) ▲ Точка № 2. Свалка «Голый мыс» (более 30 лет)

Рис. 3. Содержание водорастворимых соединений в анализируемых пробах отходов

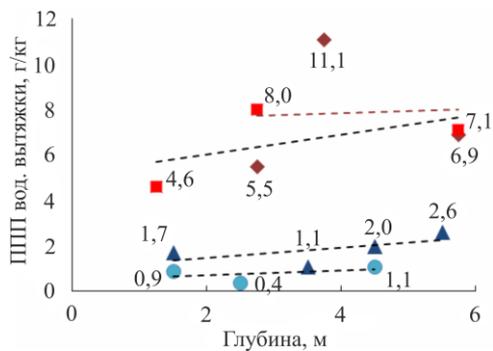


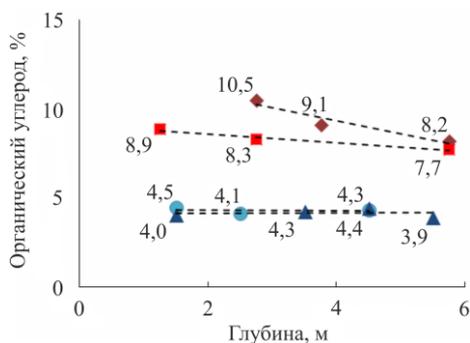
Рис. 4. Содержание органических водорастворимых соединений в анализируемых пробах отходов

По результатам определения сухого остатка и потерь при прокаливании водных вытяжек отходов установлено, что в сухом остатке отходов полигона захоронения ТБО г. Краснокамска содержание водорастворимых органических соединений составляет в среднем 74,1 %, а для свалки «Голый мыс» – 48,4 %, что в 1,5 раза меньше.

Меньший разброс значений показателей водных вытяжек отходов свалки «Голый мыс» (см. рис. 3, 4), а также низкое содержание органических водорастворимых соединений свидетельствуют о стабильном состоянии объекта, когда стадии разложения отходов с активным образованием органических кислот и интенсивной трансформацией их в CH_4 и CO_2 уже закончились.

Для оценки глубины разложения отходов были определены показатели содержания органического углерода (рис. 5) и степени минерализации отходов (рис. 6).

Было установлено последовательное снижение содержания органического углерода и показателя зольности с увеличением возраста захоронения отходов.



◆ Точка № 1. Полигон ТБО г. Краснокамска (1–2 года) ● Точка № 1. Свалка «Голый мыс» (более 30 лет)
 ■ Точка № 2. Полигон ТБО г. Краснокамска (2–3 года) ▲ Точка № 2. Свалка «Голый мыс» (более 30 лет)

Рис. 5. Содержание органического углерода в анализируемых пробах отходов

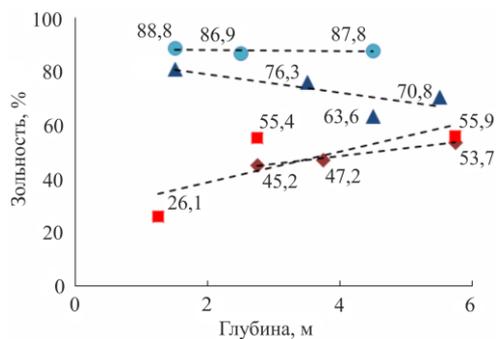


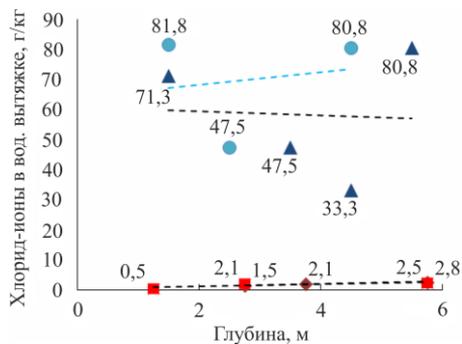
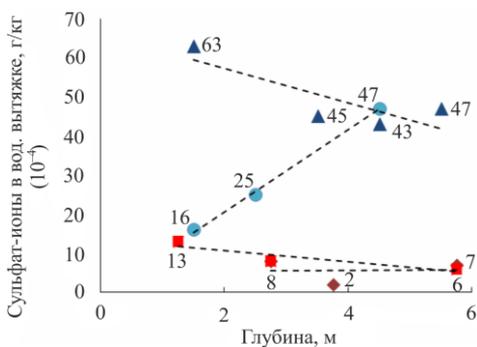
Рис. 6. Зольность анализируемых проб отходов

Точный возраст отходов, отобранных на свалке «Голый мыс», не известен, и возраст более 30 лет принят условно, на основании срока эксплуатации и закрытия свалки. По полученным значениям зольности можно предположить, что отходы, отобранные в точке № 1 свалки «Голый мыс», старше отходов точки № 2 этого же объекта, поскольку в первом случае показатель зольности выше в среднем на 15,5 %.

Высокое значение зольности 86,9–88,8 % отходов в точке № 1 свалки «Голый мыс» и равномерное распределение показателя по глубине массива свидетельствуют об одинаковой степени разложения и завершении процессов биодеструкции отходов.

Для «молодых» отходов наблюдается уменьшение содержания органического углерода и рост степени минерализации по глубине массива. Более низкие значения показателя зольности в верхних слоях отходов могут быть объяснены вымыванием со временем инфильтрационной влагой из верхних слоев минеральных соединений и ростом их содержания в нижних слоях отходов. Также рост степени минерализации отходов по глубине может быть объяснен более глубокой степенью разложения отходов, что подтверждается уменьшением содержания органического углерода по мере увеличения глубины.

Большая степень минерализации отходов свалки «Голый мыс» подтверждается и результатами определения содержания сульфат- и хлорид-ионов в водных вытяжках отходов (рис. 7, 8).



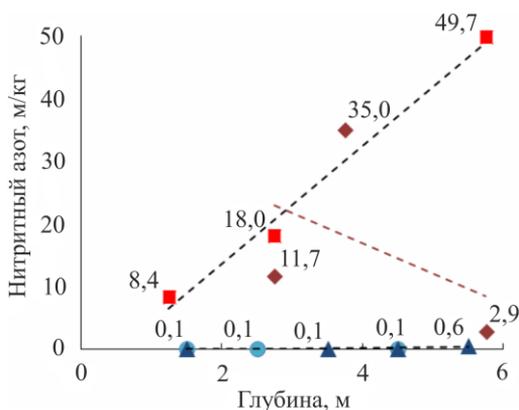
◆ Точка № 1. Полигон ТБО г. Краснокамска (1–2 года) ● Точка № 1. Свалка «Голый мыс» (более 30 лет)
 ■ Точка № 2. Полигон ТБО г. Краснокамска (2–3 года) ▲ Точка № 2. Свалка «Голый мыс» (более 30 лет)

Рис. 7. Содержание сульфат-ионов в водных вытяжках анализируемых проб отходов

Рис. 8. Содержание хлорид-ионов в водных вытяжках анализируемых проб отходов

В образцах отходов, отобранных на старой свалке, содержание водорастворимых сульфат- и хлорид-ионов значительно выше, чем в «молодых» отходах, что объясняется большей степенью деструкции и минерализации отходов после 30 лет складирования. На «молодых» полигонах низкое содержание хлорид- и сульфат-ионов можно объяснить тем, что основная часть S и Cl находится в связанном состоянии в составе органических соединений.

Среди показателей азотсодержащих соединений зависимость содержания от возраста отходов была установлена для нитритного азота (рис. 9).



◆ Точка № 1. Полигон ТБО г. Краснокамска (1–2 года) ● Точка № 1. Свалка «Голый мыс» (более 30 лет)
 ■ Точка № 2. Полигон ТБО г. Краснокамска (2–3 года) ▲ Точка № 2. Свалка «Голый мыс» (более 30 лет)

Рис. 9. Содержание нитритного азота в анализируемых пробах отходов

Как видно из полученных данных, содержание нитрит-ионов в пробах отходов, отобранных на свалке «Голый мыс», значительно меньше их содержания в отходах полигона ТБО г. Краснокамска. Низкое и неизменяющееся содержание нитритного азота (0,1–0,6 мг/кг) по профилю массива свалки «Голый мыс» свидетельствует о стабилизации биохимических процессов разложения отходов и завершении процессов денитрификации.

Рассмотрев массив анализов, мы выбрали наиболее приоритетные показатели, которые могут быть применены для характеристики степени биодеструкции/стабильности отходов и для прогноза эмиссий:

– показатели отходов: содержание органического углерода, нитритный азот, зольность;

– показатели водных вытяжек отходов: рН, ХПК, БПК₅, сухой остаток, потери при прокаливании, содержание иона хлорида.

На основании полученных результатов определения ХПК, БПК₅, рН было установлено, что в отходах возраста захоронения 1–2 года протекают процессы биоразложения органических компонентов, характерные для начальной фазы метаногенеза. Данные отходы характеризуются наибольшим содержанием органического углерода и наименьшим показателем зольности, что говорит о незначительной степени разложения отходов.

Было установлено, что в отходах сроком депонирования 2–3 года более интенсивно протекают процессы биodeградации, находящиеся в фазе активного метаногенеза. Отходы характеризуются меньшим содержанием органического углерода и незначительным повышением зольности, что является признаком большей степени биodeградации отходов возраста 2–3 года относительно ТБО возраста 1–2 года.

Значения показателей рН, ХПК, БПК₅ свидетельствуют об окончании стадий гидролиза и ацетогенеза отходов в обеих точках отбора свалки «Голый мыс». Высокая степень минерализации отходов и низкие значения ХПК и БПК₅ говорят о глубокой степени биодеструкции отходов и окончании процессов метаногенеза. Большее значение зольности отходов в точке отбора № 1 свидетельствует об окончании процессов разложения отходов и нахождении их на ассимиляционном этапе, тогда как отходы точки отбора № 2 находятся на этапе, близком к ассимиляционному.

С увеличением срока депонирования отходов наблюдается рост содержания хлорид- и сульфат-ионов в водных вытяжках отходов и понижение содержания сухого остатка, потерь при прокаливании водных вытяжек и содержания нитрит-ионов в отходах.

Список литературы

1. Горы мусора становятся проблемой российских городов [Электронный ресурс]. – URL: <http://ecamir.ru/experts/Goryi-musora-stanovyatsya-problemoj-rossiyskih-gorodov.html> (дата обращения 2.12.2013).

2. Получение свалочного газа – экономия первичных природных энергоресурсов / А.М. Шаймова, Л.А. Насырова, Г.Г. Ягафарова, Р.Р. Фасхутдинов // Нефтегазопереработка и нефтехимия: сб. тез. междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, 2006. – С. 246–248.

3. Barlaz M., Ham R. Methane production from municipal refuse. *Critical reviews in environmental control*. – 1990. – Vol. 19.

4. Глушанкова И.С. Очистка фильтративных вод полигонов захоронения твердых бытовых отходов на различных этапах жизненного цикла: дис. ... д-ра техн. наук. – Пермь, 2003.

References

1. Gory musora stanoviatsia problemoi rossiiskikh gorodov [Mountains of garbage is a problem of Russian cities], available at: <http://ecamir.ru/experts/Goryi-musora-stanovyatsya-problemoj-rossiyskih-gorodov.html> (accessed 2 December 2013).

2. Shaimova A.M., Nasyrova L.A., Iagafarova G.G., Faskhutdinov R.R. Poluchenie svalochnogo gaza – ekonomiiia pervichnykh prirodnykh energoresursov [Preparation of landfill gas – saving primary natural energy]. *Sbornik tezisov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii “Neftegazopererabotka i neftehimiya”*. Ufa, 2006, pp. 246-248.

3. Barlaz M., Ham R. Methane production from municipal refuse. *Critical reviews in environmental control*, 1990, vol. 19.

4. Glushankova I.S. Ochistka fil'tratsionnykh vod poligonov zakhroneniia tverdykh bytovykh otkhodov na razlichnykh etapakh zhiznennogo tsikla [Cleaning the seepage water landfills of municipal solid waste at various stages of the life cycle]. Thesis of Doctor's degree dissertation. Perm, 2003.

Получено 15.08.2014

Об авторах

Загорская Юлия Михайловна (Пермь, Россия) – ассистент кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: makarova_u85@mail.ru).

Слюсарь Наталья Николаевна (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: slyusar@eco.pstu.ac.ru).

Глушанкова Ирина Самуиловна (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: irina@eco.pstu.ac.ru).

Завизион Юлия Владимировна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: juliagubaha@mail.ru).

About the authors

Zagorskaia Iuliia Mikhailovna (Perm, Russian Federation) – Assistant, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: makarova_u85@mail.ru).

Sliusar Nataliia Nikolaevna (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Docent of Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: slyusar@eco.pstu.ac.ru).

Glushankova Irina Samuilovna (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: irina@eco.pstu.ac.ru).

Zavizion Iuliia Vladimirovna (Perm, Russian Federation) – Master student, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: juliagubaha@mail.ru).