

УДК 504.05:665

**М.В. Ахмадиев, Г.С. Арзамасова,
М.И. Халецкая, А.А. Чугайнова**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ДЫХАНИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ СУБСТРАТОВ

Дана оценка интенсивности дыхания нефтезагрязненных субстратов, а именно нефтезагрязненных почв и отходов газового конденсата, в различной степени загрязненных углеводородами нефти. Установлены общие закономерности изменения интенсивности почвенного дыхания в процессе биоремедиации нефтезагрязненных субстратов.

Ключевые слова: нефтезагрязненная почва, отход газового конденсата, дыхание почвы, биоремедиация.

Введение. Проблема загрязнения окружающей среды нефтью и нефтепродуктами особенно актуальна в местах локализации нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, что характерно для населенных пунктов Пермского края. Нефтедобыча и нефтепереработка являются ключевыми отраслями промышленности в регионе, и от экологической безопасности реализации технологических процессов зависят состояние окружающей среды и здоровье населения, проживающего на территориях функционирования данных предприятий.

В результате аварийных ситуаций при нефтедобыче, нефтепереработке и транспортировке нефти посредством магистральных нефтепроводов происходит попадание нефти и нефтепродуктов в почву. В связи с этим проблема загрязнения почв нефтепродуктами и их последующая очистка является актуальной задачей, решение которой должно реализовываться экологически безопасными методами и технологиями.

Попадание нефтепродуктов в почву приводит к нарушению естественных биоценозов, изменению агрофизических свойств почвы, в связи с чем необходимо проводить мероприятия по вос-

становлению нефтезагрязненных территорий и обезвреживанию образовавшихся нефтесодержащих отходов.

Под нефтесодержащими отходами понимают нефтезагрязненные почвы (НЗП), которые утратили свои исходные природные характеристики вследствие нефтяного загрязнения и из состояния земельных ресурсов перешли в состояние отходов. Переработка образующейся НЗП может осуществляться термическими, физико-химическими и биотехнологическими методами. Приоритетным является применение метода биотехнологий, так как он позволяет перерабатывать большие объемы НЗП при низких эксплуатационных затратах.

Проблема образования нефтесодержащих отходов актуальна не только для нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, но и для газотранспортной отрасли, которая также является одной из основных для Пермского края.

На предприятиях газотранспортной отрасли существует проблема образования нефтезагрязненных отходов от очистки природного газа от механических примесей (отходы газового конденсата – ОГК) на компрессорных станциях. В процессе транспортировки газа образуется отход, содержащий в своем составе нефтепродукты, жидкую и твердую (грубую) фракцию.

Для обезвреживания ОГК используют различные методы, выбор которых зависит от содержания нефтепродуктов в образуемом отходе. Для переработки отходов с низкой концентрацией нефтепродуктов применяют термические и физико-химические методы. При высоких концентрациях нефтепродуктов возможно использование ОГК как сырья для извлечения ценных углеводородов. В связи с тем, что ОГК по своему механическому составу близки к НЗП, а именно содержат почвенные частицы, возможно применение и биотехнологического метода переработки [1].

Наличие частиц почвы в составе ОГК объясняет наличие почвенных свойств у данного отхода (агрофизических, биологических и т.д.), а также аборигенного пула микроорганизмов, для которых данный отход является субстратом. Наличие аборигенного пула микроорганизмов, адаптированного к биодеструкции специфических фракций углеводородов нефти потенциально может

обеспечить высокую эффективность применения биотехнологического метода переработки ОГК.

В настоящее время биотехнологические методы переработки нефтезагрязненных субстратов (НЗП, ОГК) реализуют при помощи технологии биоремедиации, которая может проводиться традиционным способом посредством открытых технологических площадок или с применением интенсивных биореакторных технологий.

Под биоремедиацией понимают способ биологической очистки и восстановления нефтезагрязненных почв, основанный на биологическом разложении загрязнений микроорганизмами, в результате различных биохимических реакций и физико-химических процессов, осуществляемых с участием почвенной микробиоты [2].

В процессе восстановления нефтезагрязненных субстратов необходимо не только достижение допустимых нормативных значений концентраций нефтепродуктов, но и восстановление исходных почвенных характеристик. Наиболее репрезентативными показателями, отражающими восстановление исходных почвенных характеристик, являются показатели биологической активности почвы.

Под биологической активностью почвы понимают совокупность биологических процессов, протекающих в почве. Основными составляющими биологической активности являются активность таких ферментов, как каталаза, дегидрогеназа, полифенолоксидаза, пероксидаза, уреазы, а также интенсивность дыхания почвы [3].

Наиболее информативным из перечисленных показателей является оценка интенсивности дыхания почвы, которая показывает напряженность обменных процессов в почвенном субстрате. Под дыханием почвы понимают интенсивность эмиссии углекислого газа из почвы, которая определяется скоростью процессов биодеструкции органического вещества [4]. По показателю интенсивности дыхания почвы можно судить о процессе восстановления всего комплекса почвенных характеристик в ходе очистки.

Целью работы являлась оценка изменения интенсивности дыхания нефтезагрязненных субстратов на разных этапах биоремедиации.

Методическое обеспечение экспериментальных исследований. В процессе лабораторных исследований было оценено изменение интенсивности дыхания следующих нефтезагрязненных субстратов (таблица):

- нефтезагрязненной почвы (НЗП) с различной концентрацией нефтепродуктов, по образцам, отобраным на разных этапах проведения процесса биоремедиации;

- отходов газового конденсата (ОГК), по образцам, отобраным на компрессорных станциях ООО «Газпром трансгаз Чайковский».

В качестве контроля использовали природную дерново-подзолистую почву, отобранную на территории Пермского края.

Нефтезагрязненные субстраты, отобранные на различных этапах процесса биоремедиации

Нефтезагрязненный субстрат	Образец	Концентрация нефтепродуктов, г/кг
Нефтезагрязненная почва	Отобраный в течение 1-го вегетац. периода*	155,3±2,9
	Отобраный в течение 2-го вегетац. периода	40,0±2,3
	Отобраный по завершении очистки в биореакторе	10,3±2,6
Отходы газового конденсата	ОГК-1-1 (Можгинское ЛПУмг**, исходный образец)	92,0±2,3
	ОГК-1-2 (Можгинское ЛПУмг, образец по прошествии 1,5 мес. биоремедиации)	41,0±3,5
	ОГК-2-1 (Чайковское ЛПУмг, исходный образец)	207,0±1,7
	ОГК-2-2 (Чайковское ЛПУмг, образец по прошествии 1,5 мес. биоремедиации)	55±1,8
	ОГК-3-1 (Кунгурское ЛПУмг, исходный образец)	244,0±1,2
	ОГК-3-2 (Кунгурское ЛПУмг, образец по прошествии 1,5 мес. биоремедиации)	94,0±3,5
Контроль	Фоновая дерново-подзолистая почва	1,0±0,3

*Для территории Пермского края длительность периода – с мая по октябрь.

**ЛПУмг – линейно-производственное управление магистрального газопровода.

В процессе лабораторных исследований в почвенных образцах оценивали общее содержание нефтепродуктов и изменение интенсивности дыхания субстратов.

Общее содержание нефтепродуктов определяли гравиметрическим методом, анализ интенсивности дыхания почвы проводили по методике Галстяна [5].

Для каждого исследуемого образца рассчитывали среднее арифметическое и стандартное среднеквадратичное отклонение. Достоверность различий между средними величинами оценивали при помощи t -критерия Стьюдента для уровня значимости $\alpha = 0,05$.

Результаты экспериментальных исследований. Первым этапом исследования являлось определение интенсивности дыхания нефтезагрязненной почвы. Для анализа были выбраны образцы НЗП, отобранные на различных этапах проведения биоремедиации.

При проведении визуального анализа проб было выявлено различие в их механическом составе (рис. 1). НЗП, отобранная в течение 1-го вегетационного периода (ВП), обладала резким запахом легких фракций нефтепродуктов, имела густую неоднородную консистенцию, присутствовали различные грубодисперсные компоненты (камни, палки). В образцах НЗП, отобранных в течение 2-го ВП, также присутствовали грубодисперсные компоненты, консистенция была менее густая, отмечали легкий запах нефтепродуктов. Образцы НЗП после очистки в биореакторе обладали рассыпчатой структурой, присутствовали грубодисперсные компоненты, отмечали слабый запах нефтепродуктов.

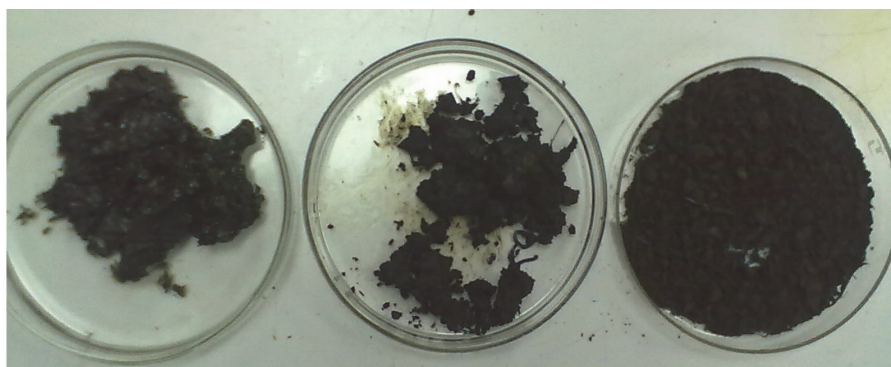


Рис. 1. Образцы НЗП, отобранные на различных этапах проведения биоремедиации: а – НЗП, отобранная в течение 1-го ВП; б – НЗП, отобранная в течение 2-го ВП; в – НЗП, отобранная по завершении биоремедиации в биореакторе

В образцах НЗП была проведена оценка изменения интенсивности дыхания в зависимости от концентрации нефтепродуктов в почве (рис. 2).

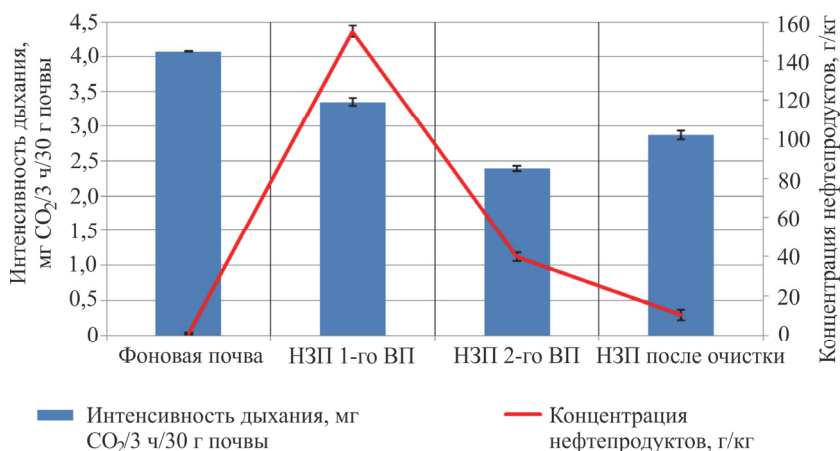


Рис. 2. Зависимость интенсивности дыхания почвы в образцах НЗП от концентрации нефтепродуктов в почве

По результатам лабораторных исследований наибольшая интенсивность дыхания была выявлена в образцах фоновой дерново-подзолистой почвы ($4,08 \pm 0,01$ мг $\text{CO}_2/3$ ч/30 г почвы), что могло быть объяснено отсутствием нефтяного загрязнения.

В образцах НЗП, отобранных с площадки биоремедиации в течение 1-го вегетационного периода, с концентрацией нефтепродуктов $155,3 \pm 2,9$ г/кг было установлено достоверное снижение интенсивности дыхания почвы ($3,35 \pm 0,06$ мг $\text{CO}_2/3$ ч/30 г почвы) по сравнению с фоновыми образцами, что могло быть обусловлено нарушением почвенных характеристик, вследствие нефтяного загрязнения.

Для образцов НЗП, отобранных в течение 2-го вегетационного периода, с концентрацией нефтепродуктов $40,0 \pm 2,3$ г/кг отмечали дальнейшее снижение интенсивности дыхания почвы ($2,39 \pm 0,04$ мг $\text{CO}_2/3$ ч/30 г почвы). В течение 2-го вегетационного периода, интенсивность дыхания НЗП могла снижаться, вследствие уменьшения общей численности микроорганизмов, в том числе и углеводородокисляющих, что отражалось на интенсивности биодеструкции нефтепродуктов в почве и, как следствие, снижении интенсивности выделения CO_2 .

Полученные высокие значения интенсивности почвенного дыхания в образцах НЗП с концентрацией нефтепродуктов $155,3 \pm 2,9$ г/кг по сравнению с образцами НЗП с концентрацией нефтепродуктов $40,0 \pm 2,3$ г/кг могли объясняться активным развитием углеводородокисляющих микроорганизмов, которые в процессе биодеструкции осуществляли минерализацию органических компонентов нефти, выделяя углекислый газ.

Для образцов почвы, отобранных по завершении процесса биоремедиации из биореактора, с концентрацией нефтепродуктов $10,3 \pm 2,6$ г/кг было установлено увеличение интенсивности почвенного дыхания ($2,87 \pm 0,06$ мг CO_2 /3 ч/30 г почвы) по сравнению с образцами НЗП с концентрацией нефтепродуктов $40,0 \pm 2,3$ г/кг, однако не происходило достижение показателей фоновой дерново-подзолистой почвы. Постепенный рост интенсивности дыхания почвы после очистки в биореакторе мог быть объяснен постепенным восстановлением исходных почвенных характеристик в процессе очистки.

По результатам проведенной оценки изменения интенсивности дыхания нефтезагрязненной почвы, отобранной на различных этапах процесса биоремедиации, было установлено, что нефтяное загрязнение достоверно снижает интенсивность почвенного дыхания. Восстановление почвенных характеристик является длительным процессом, поэтому достижений фоновых показателей не происходило даже по завершении процесса очистки НЗП в биореакторе.

На втором этапе исследований определяли интенсивность дыхания отходов газового конденсата, отобранных на компрессорных станциях газопровода ООО «Газпром трансгаз Чайковский».

При проведении визуального анализа образцов ОГК было установлено различие в их механическом составе. В отходе присутствовали остатки растительного происхождения (ветки деревьев, палки), частицы песка, почвы, куски изоляции (термостабилизированный полиэтилен), а также инертные грубодисперсные компоненты (галька, камни) [1].

Образец Можгинского ЛПУмг обладал слабым запахом легких фракций нефтепродуктов, присутствовали различные грубодисперсные компоненты (камни, палки), песок, частицы почвы,

образец имел рассыпчатую структуру. Образец Чайковского ЛПУмг отличался большим содержанием маслянистой фракции нефтепродуктов и имел запах легких фракций нефтепродуктов, в большом количестве присутствовали куски переизоляции, структура отхода была пастообразная. По механическому составу образец Кунгурского ЛПУмг был схож с образцом Чайковского ЛПУмг, отличительной особенностью являлся резкий запах нефтепродуктов.

На рис. 3 представлены исследуемые образцы ОГК, отобранные на разных участках газопровода ООО «Газпром трансгаз Чайковский».

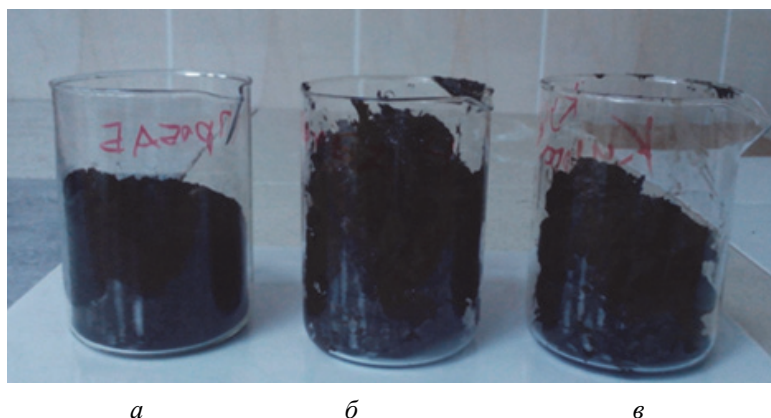


Рис. 3. Образцы отходов газового конденсата, отобранные на компрессорных станциях (площадки хранения отходов газового конденсата) ООО «Газпром трансгаз Чайковский»: а – Можгинское ЛПУмг; б – Чайковское ЛПУмг; в – Кунгурское ЛПУмг

В исходных образцах (ОГК-1-1, ОГК-2-1, ОГК-3-1) и образцах ОГК по прошествии 1,5 мес. биоремедиации (ОГК-1-2, ОГК-2-2, ОГК-3-2) была проведена оценка изменения интенсивности дыхания (рис. 4).

Для образцов ОГК Можгинского ЛПУмг высокие значения интенсивности дыхания были установлены в образце ОГК-1-2 ($2,80 \pm 0,03$ мг $\text{CO}_2/3$ ч/30 г почвы), который был отобран по прошествии 1,5 мес. биоремедиации, по сравнению с исходным образцом ОГК-1-1 ($2,33 \pm 0,05$ мг $\text{CO}_2/3$ ч/30 г почвы).

В образцах Чайковского ЛПУмг также отмечали зависимость изменения интенсивности дыхания от содержания нефте-

продуктов в субстрате. В процессе очистки происходило повышение интенсивности дыхания ОГК-2-2 ($2,77 \pm 0,19$ мг $\text{CO}_2/3$ ч/30 г почвы) по сравнению с исходным образцом ОГК-2-1 ($1,79 \pm 0,10$ мг $\text{CO}_2/3$ ч/30 г почвы).

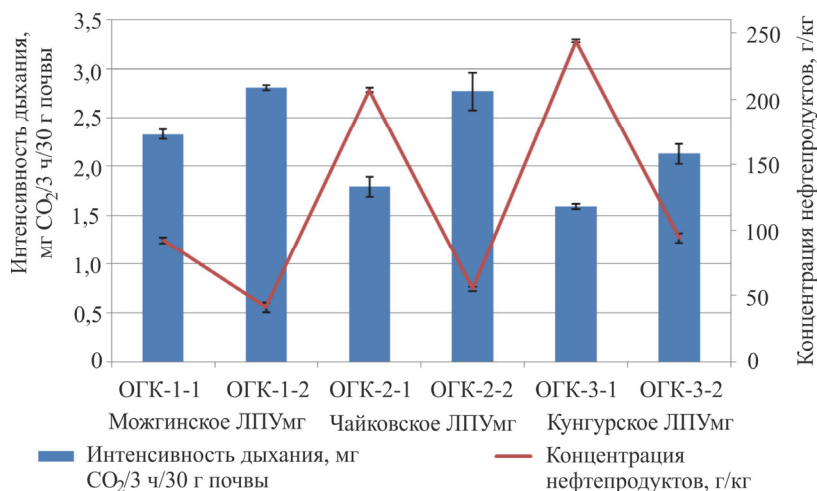


Рис. 4. Изменение интенсивности дыхания отходов газового конденсата в процессе биоремедиации

Образцы ОГК Кунгурского ЛПУмг обладали также более низкими показателями интенсивности дыхания в исходном образце ОГК-3-1 ($1,59 \pm 0,03$ мг $\text{CO}_2/3$ ч/30 г почвы), по сравнению с образцом ОГК-3-2, отобранном в процессе биоремедиации ($2,13 \pm 0,10$ мг $\text{CO}_2/3$ ч/30 г почвы).

По результатам оценки изменения интенсивности дыхания ОГК с различным механическим составом и отобранных на различных этапах биоремедиации было выявлено, что высокие концентрации углеводородов нефти достоверно приводили к снижению интенсивности дыхания.

Заключение. Для нефтезагрязненных субстратов (НЗП и ОГК) было установлено достоверное увеличение интенсивности дыхания с уменьшением концентрации нефтепродуктов в субстрате.

Для исследуемых образцов ОГК было характерно постепенное увеличение интенсивности дыхания со снижением концентрации нефтепродуктов в субстрате, несмотря на различия в механическом составе образцов.

Для образцов НЗП, отобранных на различных этапах процесса биоремедиации, было установлено, что нефтяное загрязнение достоверно снижает интенсивность почвенного дыхания в широком диапазоне концентраций нефтепродуктов в почве. Высокие значения интенсивности почвенного дыхания в образцах НЗП, отобранных в течение 1-го вегетационного периода, по сравнению с образцами НЗП, отобранными на 2-м вегетационном периоде проведения биоремедиации могли объясняться активным развитием углеводородокисляющих микроорганизмов, которые в процессе биодеструкции минерализуют органические компоненты нефти, выделяя углекислый газ.

Восстановление исходных почвенных характеристик, в том числе и показателя интенсивности дыхания, является длительным процессом, поэтому их достижение не происходило даже при низких концентрациях нефтепродуктов в почве, по завершении процесса биоремедиации.

Библиографический список

1. Ахмадиев М.В., Арзамасова Г.С., Чугайнова А.А. Обоснование биотехнологического способа переработки отхода газового конденсата // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – С. 264–267.
2. Оборин А.А. Нефтезагрязненные биоценозы: моногр. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 511 с.
3. Киреева Н.А. Микробиологические процессы в нефтезагрязненных почвах. – Уфа: Гилем, 1994. – 159 с.
4. Наумов А.В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 208 с.
5. Федорев Н.Г. Методика исследования почв урбанизированных территорий. – Петрозаводск: Изд-во Карел. НЦ РАН, 2009. – 84 с.

References

1. Akhmadiev M.V, Arzamasova G.S., Chugaynova A.A. Obosnovanie biotekhnologicheskogo sposoba pererabotki otkhoda gazovogo kondensata [Substantiation of biotechnological method of treatment of gas condensate waste]. *Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse*. Permskiy natsionalnyi isledovatel'skiy politekhnicheskiy universitet, 2014, pp. 264–267.
2. Oborin A.A. Neftezagryaznennyye biotsenozy [Petropolluted biocenosis]. Permskiy gosudarstvennyi tekhnicheskiy universitet, 2008. 511 p.

3. Kireeva N.A. Mikrobiologicheskie protsessy v neftezagryaznennykh pochvakh [Microbiological process of oil-contaminated soils]. Ufa: Gilem, 1994. 159 p.

4. Naumov A.V. Dykhanie pochvy: sostavlyayushchie, ekologicheskie funktsii, geograficheskie zakonomernosti [Soil respiration: components, ecological functions, geographic patterns]. Novosibirsk: Sibirskoe otdelenie RAN, 2008. 208 p.

5. Fedorets N.G. Metodika issledovaniya pochv urbanizirovannykh territoriy [Methods of soil research of urban areas]. Petrozavodsk: Karelskiy nauchnyi tsentr RAN, 2009. 84 p.

Получено 1.11.2014

**M. Akhmadiev, G. Arzamasova,
M. Khaletskaya, A. Chugainova**

EVALUATION OF THE RATE OF RESPIRATION OF OIL-CONTAMINATED SUBSTRATES

The article devoted to the assessment of the intensity of respiration oil-contaminated substrates, such as contaminated soil and waste gas condensate, in varying degrees of contaminated petroleum hydrocarbons. Installed general regularities of changes in the intensity of soil respiration in the bioremediation process of oil-contaminated substrates.

Keywords: oil-contaminated soil, soil respiration, bioremediation, gas condensate waste.

Ахмәдиев Максим Владимирович (Пермь, Россия) – ассистент кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: akhmadiev-m@yandex.ru).

Арзамасова Галина Сергеевна (Пермь, Россия) – ст. преподаватель кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: arzamasova-g@eco.pstu.ac.ru).

Халецкая Марина Игоревна (Пермь, Россия) – студентка 4-го курса, кафедра охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: marina_haleckaya@mail.ru).

Чугайнова Анастасия Александровна (Пермь, Россия) – студентка 4-го курса, кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: niuwada@mail.ru).

Akhmadiev Maksim (Perm, Russian Federation) – Assistant Lecturer of Department «Environmental Protection», Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: akhmadiev-m@yandex.ru).

Arzamasova Galina (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer, Department «Environmental Protection», Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: arzamasova-g@eco.pstu.ac.ru).

Khaletskaya Marina (Perm, Russian Federation) – Student, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: marina_haleckaya@mail.ru).

Chugainova Anastasiya (Perm, Russian Federation) – Student, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: nuwada@mail.ru).