

УДК 504.05

## ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ГЕТЕРОФАЗНЫХ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПРАВЛЯЕМЫХ ГАЗОКОНТАКТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

© 2020 г. Д. В. Зеленцов<sup>1,\*</sup>, К. Л. Чертес<sup>1,\*\*</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО Самарский государственный технический университет,  
ул. Молодогвардейская, д. 244, Самара, 443100 Россия

\*E-mail: dvzelentsov@mail.ru

\*\*E-mail: chertes2007@yandex.ru

Поступила в редакцию 14.10.2019 г.

После доработки 18.10.2019 г.

Принята к публикации 18.10.2019 г.

Рассматривается перспективная технология, позволяющая минимизировать негативное воздействие накопленных массивов гетерофазных отходов путем применения процессов ускоренной минерализации органики, входящей в состав данных отходов.

Поставлена задача преобразования нарушенных деятельностью человека геосред через создание на их основе новых искусственных геосред и восстановление нарушенных природных геосред с использованием инженерных методов. Наиболее перспективным способом ускорения процесса снижения вредного воздействия нарушенной геосреды, является применение газоконтактных технологий, включающих процесс аэрации.

Выделены и изучены основные параметры геосред, влияющие на состояние газового потока, которые необходимо учитывать при реализации той или иной газоконтактной технологии. Показана технология управления газовыми потоками, примером которой выступают комплексы биотермической обработки нефтезагрязненных грунтов, основным элементом которых выступает система комбинированной аэрации, необходимая для повышения скорости биохимического разложения труднорастворимых углеводородов в нефтеотходах.

Проведенный анализ показал, что для снижения зависимости от проведения физических экспериментов нужно использовать предварительную оценку массивов отходов методами обработки многомерных данных. Конструирование комплексов биотермической обработки нефтезагрязненных грунтов показало перспективность и возможность практической реализации технологии управления газовыми потоками в гетерофазной среде.

**Ключевые слова:** геосреда, гетерофазные отходы, газоконтактные технологии, аэрация

DOI: 10.31857/S0869780920010226

### ВВЕДЕНИЕ

За последние десятилетия в строительной, жилищно-коммунальной, нефтехимической и нефтеперерабатывающей отраслях России сформировалось значительное количество крупнотоннажных массивов отходов, представляющих из себя отдельный тип геосреды. Подавляющее большинство из них имеют органоминеральную природу. Вступая в контакт с компонентами окружающей среды – почвой, поверхностными и подземными водами, атмосферой, данные отходы являются источниками вторичного загрязнения. Таким образом, перед современной геоэкологической наукой стоит задача преобразования подобных геосред через создание на их основе новых искусственных геосред и восстановление нарушенных природных геосред с использованием инженерных методов [1, 2]. Одной из перспек-

тивных технологий, позволяющих минимизировать негативное воздействие подобных массивов является применение процессов ускоренной минерализации легко- и труднорастворимой органики, входящей в состав гетерофазных отходов.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Добиться ускорения процесса перевода геосреды, оказывающей вредное воздействие, в нейтральное состояние возможно путем интенсификации аэробнобиоза. Большинство аэробных методов включает в себя такой процесс как аэрация [6–8]. Совокупность данного процесса с другими технологиями обезвреживания является предметом газоконтактных технологий [5]. Данный термин предполагает, что извлекаемый или подаваемый в массив отходов газовый поток оказывает

Таблица 1. Физические параметры состояния геосреды

Вид отхода	Объект размещения	Параметры состояния геосреды						
		Плотность массива, $\rho_d, \text{т/м}^3$	Плотность частиц, $\rho_s, \text{т/м}^3$	Модуль деформации, $E_p, \text{МПа}$	Влажность, $w, \%$	Коэффициент фильтрации, $K_{\text{ф}}, \text{см/с}$	Пористость, $n, \%$	Коэффициент воздухопрони- цаемости, $K_{\text{вп}},$ $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч Па})$
ТБО свежие	Полигон ТБО “Узю- ково”, г. Тольятти	0.3–1.3	0.5–1.5	x	70	x	30–40	x
ТБО 1 год	Полигон ТБО “Эко- лайн”, г. Тольятти	0.7–1.4	0.9–1.6	x	<65	x	30–40	x
ТБО 10 лет	Полигон, г. Новокуй- бышевск	0.9–1.5	1.1–1.7	2.5–5.5	<50	$8 \times 10^{-4}$	35–45	x
ТБО 50 лет	Рекультивированная свалка “Красный Пахарь”, г. Самара	1.6	2.7	3–6	15–35	$7 \times 10^{-4}$	40–50	x
Компостирование нефтегрунтов (стадия роста температуры)	Комплекс биодеструк- ции Михайловско- Коханского месторож- дения Самаранефтегаз	1.5	2.7	1.5–3.5	<55	$10^{-4}$	40–50	0.0006– 0.001
Компостирование нефтегрунтов (стадия высоких температур)	Комплекс биодеструк- ции Михайловско- Коханского месторож- дения, Самаранефтегаз	1.65	3	1.5–3.5	<55	$10^{-4}$	40–50	0.0006– 0.001
Компостирование нефтегрунтов (стадия снижения температуры)	Комплекс биодеструк- ции Михайловско- Коханского месторож- дения, Самаранефтегаз	1.8	3.3	2–4	<55	$10^{-4}$	30–40	0.0005– 0.0009
Буровые шламы	Ванкорнефть Красно- ярский край	1–1.2	1.2–1.3	0.9–1.4	80–95	$5 \times 10^{-5}$ – $10^{-4}$	4–7	x
Шламы водного хозяйства	Куйбышевский НПЗ	0.8–1.1	0.9–1.2	0.1–0.3	65–80	$4 \times 10^{-5}$ – $6 \times 10^{-4}$	8–11	x
Избыточный активный ил	КОС г. Новокуйбы- шевск	0.7–0.8	0.9–1	0	45–97	x	20–22	x

x – параметр не определяется

воздействие на механические, физические и химические свойства трансформируемой геосреды.

В аэробных методах обезвреживания в основном достигается путем химического или биохимического окисления токсичных составляющих отхода газовым потоком. При этом характер взаимодействия для разных отходов различен. Некоторые малоопасные отходы до 3 класса опасности, не содержат первичных соединений, отрицательно воздействующих на компоненты системы. В этом случае газовый поток оказывает воздействие на массив (отход) без химического взаимодействия, например, отдувка свободной воды из свалочного тела с его последующим обезвоживанием и компостированием. Некоторые виды от-

ходов при контакте с газовым потоком способны на физические трансформации. Основными являются газоконтактные технологии, приводящие к трансформации химического состава техногенных образований. При этом у некоторых токсичных веществ сложного химического состава при контакте с газовым потоком возможно образование новых химических соединений, более опасных, чем сам отход. В таком случае технология усложняется за счет необходимости создания дополнительных сооружений обезвреживания вторичных токсикантов. При этом желательно совмещать технологии первичного и вторичного обезвреживания в едином технологическом узле.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При рассмотрении различных видов газоконтактных технологий, используемых в практике обращения с отходами и в смежных отраслях, были выделены и изучены основные параметры геосред, влияющие на состояние газового потока, которые необходимо учитывать при реализации той или иной газоконтактной технологии (табл. 1).

Для математической обработки массива данных по этим параметрам необходим соответствующий математический аппарат. Кроме того, важной составляющей выступает конструктивно-аппаратурное оформление процессов аэрации в пористых средах с изменяемой за счет физических процессов и химического взаимодействия пористостью.

## ВЫВОДЫ

Проведенный в рамках работы анализ показал, что для снижения зависимости от проведения физических экспериментов нужно использовать предварительную оценку массивов отходов методами обработки многомерных данных. Для упрощения решения задачи управления газовыми потоками, особенно на предварительной стадии, необходимо иметь обобщенное решение.

Пример конструирования комплексов биотермической обработки нефтезагрязненных грунтов [3, 4] показал перспективность и возможность практической реализации технологии управления газовыми потоками в гетерофазной среде, хотя для этого потребовалось провести комплекс теоретических и экспериментальных исследований.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Быков Д.Е., Мартыненко Е.Г., Савельев А.А., Тупицына О.В., Чертес К.Л.* Освоение территорий, занятых массивами твердых коммунальных отходов // *Экология и промышленность России*. 2016. Т. 20. № 1. С. 8–13. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-1-8-13>
2. *Быков Д.Е., Чертес К.Л., Тупицына О.В., Щербина Е.В., Савельев А.А.* Обеспечение геоэкологической устойчивости массивов коммунальных отходов для их строительно-хозяйственного освоения // *Экология и промышленность России*. 2016. № 8. С. 4–11. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-8-4-11>
3. *Зеленцов Д.В., Тупицына О.В., Чертес К.Л., Пыстин В.Н.* Обработка осадков нефтесодержащих сточных вод с применением принудительной высоконапорной аэрации // *Градостроительство и архитектура*. 2012. № 3 (7). С. 72–74.
4. *Зеленцов Д.В., Чертес К.Л., Быков Д.Е., и др.* Комплекс биодеструкции нефтеотходов // *Экология и промышленность России*. 2011. № 3. С. 33–34.
5. *Чертес К.Л., Быков Д.Е., Тупицына О.В. и др.* Интенсивная биотермическая обработка шламовых отходов нефтяного комплекса // *Экология и промышленность России*. 2010. № 3. С. 36–39.
6. *Чертес К.Л., Зеленцов Д.В., Тупицына О.В., и др.* Обезвреживание гетерофазных отходов с использованием управляемых газоконтактных технологий // *Экология и промышленность России*. 2019. Т. 23. № 2. С. 4–9. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-2-4-9>
7. *Haug R. T.* Sludge composting: a discussion of engineering principles // *Compost Science. Journal of Waste Recycling*. 2001. V. 26. № 6. P. 6–11.
8. *Yu Huiyong, Xie Beitaio, Khan Rayyan.* The changes in carbon, nitrogen components and humic substances during organic-inorganic aerobic co-composting // *Bioresource technology*. Т. 271. P. 228–235.

## DISPOSAL OF HETEROPHASIC WASTE USING CONTROLLED GAS-CONTACT TECHNOLOGIES

D. V. Zelentsov<sup>a,#</sup> and K. L. Chertes<sup>a,##</sup>

<sup>a</sup> Samara State Technical University, Molodogvardeyskaya ul., 244, Samara, 443100, Russia

<sup>#</sup> E-mail: dvzelentsov@mail.ru

<sup>##</sup> E-mail: chertes2007@yandex.ru

A promising technology is considered that allows minimizing the negative impact of the accumulated arrays of heterophase waste by applying the processes of accelerated mineralization of organics that are part of these wastes. The task is set of transforming geoenvironment disturbed by human activities through the creation of new artificial geoenvironment on their basis and the restoration of disturbed natural geoenvironment using engineering methods. The most promising way to accelerate the process of reducing the harmful effects of disturbed geological environment is the use of gas contact technologies, including such a process as aeration. In the framework of the study, the main parameters of geoenvironment that influence the state of the gas flow, which must be taken into account when implementing a particular gas contact technology, are identified and studied. The technology of gas flow control is shown, an example of which are complexes of biothermal treatment of oil-contaminated soils. The main element of such a complex is the combined aeration system, which is necessary to increase the rate of biochemical decomposition of hardly decomposable hydrocarbons in oil waste.

The analysis showed that to reduce the dependence on the conduct of physical experiments, it is necessary to use a preliminary estimate of the waste arrays using multivariate data processing methods. The design of biothermal treatment complexes for oil-contaminated soils has shown the promise and feasibility of practical implementation of gas flow control technology in a heterophase medium.

**Keywords:** *geoenvironment, heterophase waste, gas contact technology, aeration*

#### REFERENCES

1. Bykov, D.E., Martynenko, E.G., Savel'ev, A.A., Tupitsyna, O.V., Chertes, K.L. *Osvoenie territorii, zanyatykh massivami tverdykh kommunal'nykh otkhodov* [Development of territories used as landfills for municipal solid waste]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2016, vol. 20, no. 1. pp. 8–13. doi.org/10.18412/1816-0395-2016-1-8-13. (in Russian)
2. Bykov, D.E., Chertes, K.L., Tupitsyna, O.V., Shcherbina, E.V., Savel'ev, A.A. *Obespechenie geoekologicheskoi ustoychivosti massivov kommunal'nykh otkhodov dlya ikh stroitel'no-khozyaistvennogo osvoeniya* [Providing geocological sustainability of municipal solid waste massives for their engineering development]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2016, no. 8, pp. 4–11. doi.org/10.18412/1816-0395-2016-8-4-11 (in Russian)
3. Zelentsov, D.V., Tupitsyna, O.V., Chertes K.L., Pystin, V.N. *Obrabotka osadkov nefesoderzhashchikh stochnykh vod s primeneniem prinuditel'noi vysokonapornoi aeratsii* [Processing of oil contained waste water sediments with use of forced high pressured aeration]. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura*, 2012, no. 3 (7), pp. 72–74. (in Russian)
4. Zelentsov, D.V., Chertes, K.L., Bykov, D.E., Tupitsyna, O.V., et al. *Kompleks biodestruktsii nefteotkhodov* [Oil-waste biodegradation complex]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2011, no. 3, pp. 33–34. (in Russian)
5. Chertes, K.L., Bykov, D.E., Tupitsyna, O.V., et al. *Intensivnaya biotermicheskaya obrabotka shlamovykh otkhodov neftyanogo kompleksa* [Intensive biothermal processing of oil complex's sludge waste products]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2010, no. 3, pp. 36–39. (in Russian)
6. Chertes, K., Zelentsov, D., Tupitsyna, O., Pystin, V., Kondratyev, O. *Obezvrezhivanie geterofaznykh otkhodov s ispol'zovaniem upravlyaemykh gazokontaktnykh tekhnologii* [Detoxification of heterophase wastes using controlled gas-contact technologies]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2019, vol. 23, no. 2, pp. 4–9. doi.org/10.18412/1816-0395-2019-2-4-9. (in Russian)
7. Haug, R.T. Sludge composting: a discussion of engineering principles. *Compost Science. Journal of Waste Recycling*, 2001, vol. 26, no. 6, pp. 6–11.
8. Yu, Huiyong, Xie, Beitaο, Khan, Rayyan. The changes in carbon, nitrogen components and humic substances during organic-inorganic aerobic co-composting. *Bioresource technology*, vol. 271, pp. 228–235.