

Оригинальная статья

УДК 502/504:551.550

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-106-109

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕМЕДИАЦИИ ВОДНОЙ И ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЛИХЛОРБИФЕНИЛОМ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

МАММАДЛИ РАШАД ШОХРАТ ОГЛЫ, аспирант

mammadli@list.ru

Национальное аэрокосмическое агентство; AZ 1115, г. Баку, ул. С.С. Ахундова, 1/9. Азербайджанская Республика

Статья посвящена мерам по очистке водной и воздушной среды от полихлорбифениловых отходов методом УФ-излучения и наночастиц NiO₂, на ПХБ (полихлорированный бифенил), составляющих грунтовые воды в зонах захоронения отходов ПХБ, возможности нейтрализации ПХБ, находящиеся в атмосфере в промышленно развитых зонах. Предложен метод деградации полихлорированного бифенила, находящегося в составе сточных и промышленных вод, а также атмосферного воздуха. Очистка атмосферного воздуха осуществляется ультрафиолетовым и микроволновым излучением, а для очистки воды используются ультрафиолетовое излучение и наночастицы TiO₂. На основе проведенного анализа сформирована и решена задача оптимизации очистки грунтовой воды и атмосферного воздуха, загрязненных полихлорированными бифенилами. Предложено выражение зависимости времени проводимой очистки от расстояния до места первоначального загрязнения среды.

Ключевые слова: полихлорбифенил, оптимизация, ремедиация, ультрафиолет, наночастицы

Формат цитирования: Маммадли Р.Ш. Оптимизация ремедиации водной и воздушной среды, загрязненной полихлорбифенилом, с использованием ультрафиолетового излучения // Природообустройство. – 2021. – № 4. – С. 106-109. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-106-109.

© Маммадли Р.Ш., 2021

Original article

OPTIMIZATION OF REMEDIATION OF WATER AND AIR MEDIUM CONTAMINATED WITH POLYCHLOROBIPHENYL

МАММАДЛИ РАШАД ШОХРАТ ОГЛИ, postgraduate student

mammadli@list.ru

The National Aerospace Agency; AZ 1115, Baku, S.S. Akhundov, building 1/9. Azerbaijan Republic

The article is devoted to measures for the purification of water and air medium from polychlorinated biphenyl wastes by the method of UV radiation and NiO₂ nanoparticles, on PCBs (polychlorinated biphenyl) constituting groundwater in PCB waste disposal areas, the possibility of neutralizing PCBs in the atmosphere in industrialized areas. A method for the degradation of polychlorinated biphenyl contained in waste and industrial waters, as well as in atmospheric air, has been proposed. Air purification is carried out with ultraviolet and microwave radiation, and ultraviolet radiation and TiO₂ nanoparticles are used for water purification. Based on the analysis performed, the problem of optimizing the purification of groundwater and atmospheric air contaminated with polychlorinated biphenyls has been formulated and solved. An expression is proposed for the dependence of the cleaning time on the distance to the place of initial environmental pollution.

Keywords: polychlorinated biphenyl, optimization, remediation, ultraviolet light, nanoparticles

Format of citation: Mammadli R.Sh. Optimization of remediation of water and air medium contaminated with polychlorobiphenyl // Prirodoobustrojstvo. – 2021. – № 4 – S. 106-109. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-106-109.

Введение. Обладающие канцерогенными свойствами полихлорированные бифенилы (ПХБ) были разработаны в качестве электрических изоляторов, имеющих высокие диэлектрические характеристики. По определению они должны были быть химически инертными и не подвергаться деградации при больших температурах. Обладая такими свойствами, ПХБ широко использовались в качестве теплопередающих жидкостей, а также гидравлических жидкостей в насосах. По истечении времени их эксплуатации эти вещества должны быть удалены и нейтрализованы. Для нейтрализации ПХБ-материалов наиболее эффективным способом считается сжигание [1-4]. Вместе с тем метод сжигания для нейтрализации ПХБ является дорогостоящим, и альтернатива здесь – захоронение опасных отходов под слоем земли. Однако этот метод нейтрализации ПХБ обладает таким принципиальным недостатком, как загрязнение поверхности земли и грунтовых вод. Наиболее эффективным способом уменьшения концентрации ПХБ в воде и воздухе является воздействие с помощью ультрафиолетового излучения. В принципе ультрафиолетовые лампы, излучающие на длинах волн $220 \div 280$ нм, уже широко используются для уничтожения различных бактерий и микробов [5-7].

В статье рассматривается вопрос об эффективности ультрафиолетового воздействия на ПХБ грунтовых вод в зонах захоронения отходов ПХБ. Также рассматривается возможность нейтрализации ПХБ, находящихся в атмосфере в промышленно развитых зонах.

Материалы и методы. Прежде всего рассмотрим вопросы просачивания ПХБ в грунтовые воды. Необходимо отметить, что в некоторых развитых странах этот вопрос приобретает особую важность. Например, в Японии в 1981 г. 22% потребности в питьевой воде удовлетворялись за счет грунтовых вод [8]. В США в 1975 г. 59% всей потребности в воде удовлетворялись за счет грунтовых вод.

Существует множество моделей, в которых исследуется концентрация ПХБ в грунтовых водах [9, 10]. Вместе с тем эти модели базируются на нелинейных дифференциальных уравнениях, и наиболее упрощенной в настоящее время является модель Линдстрорма и Пивера [11]. Согласно этой модели, концентрация ПХБ в грунтовых водах может быть определена по выражению:

$$C(L) = C(L_0) \cdot \exp[-(kL)], \quad (1)$$

где $C(L)$ – концентрация ПХБ в точке $z = L$; $C(L_0)$ – максимальная концентрация; k – постоянный коэффициент, вычисляемый для конкретного случая.

Что касается распространения концентрации ПХБ в атмосфере над промышленно развитыми зонами, то здесь выражение (1) также сохраняет свою силу. Так, согласно [12] распределение концентрации ПХБ в атмосфере по расстоянию от источника загрязнения подчиняется показательному закону. Соответствующие кривые изменения концентрации ПХБ по горизонтальной координате приведены на рисунке 1.

Предлагаемый метод применительно к очищению грунтовых вод и атмосферного воздуха от ПХБ заключается в следующем.

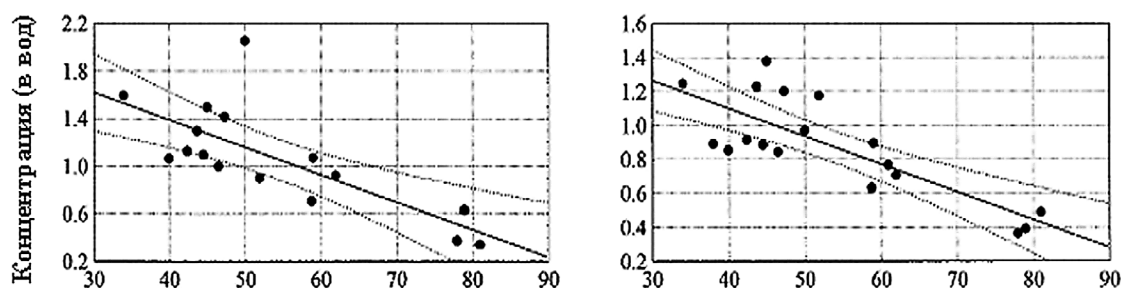


Рис. 1. Распределение концентрации ПХБ в воздухе в зависимости от горизонтальной координаты:

- а – зависимость атмосферной концентрации ПХБ типа 2, 4, 4' (трихлоробифенил);
 б – тип 2.2', 5.5' (тетрахлоробифенил) [12]

Fig. 1. Distribution of PCB concentrations in air according to horizontal coordinates:

- Accepted designations: a – dependence of atmospheric PCB concentration of type 2, 4, 4' – trichlorobiphenyl;
 б – type 2.2', 5.5' – tetrachlorobiphenyl [12]

На фиксированных координатных точках, равномерно расположенных по направлению распространения концентрации ПХБ, осуществляются следующие операции:

1. Забор загрязненной среды (вода или воздух).

2. Обработка забранного материала ультрафиолетовой или коротковолновой радиацией. (Отметим, что микроволновая радиация также успешно может быть использована для удаления ПХБ [13].)

3. Возврат очищенной воды или воздуха в природную среду.

На рисунке 2 представлена схема реализации предлагаемого метода.

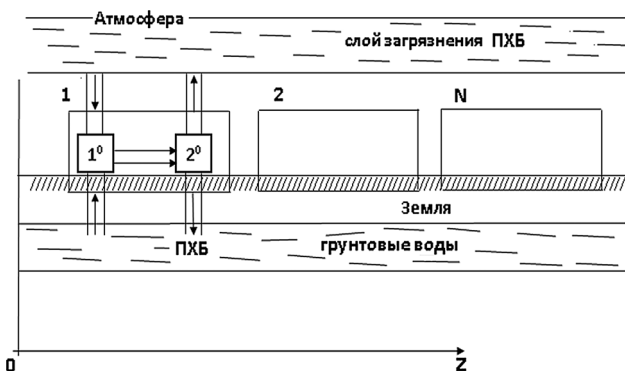


Рис. 2. Схематическое представление предлагаемого метода очистки загрязненной ПХБ среды (грунтовые воды, атмосферного воздуха) путем ультрафиолетовой и микроволновой обработки:
1, 2, N – станции обработки;

1° – установка забора воздуха и воды;
2° – установка очистки и возврата в среду

Fig. 2. Schematic representation of the proposed method of purification of the PCB-contaminated environment (groundwater, ambient air) by ultraviolet and microwave treatment:

The figures are: 1, 2, N – processing stations;

1° – installation of air and water intake;
2° – installation of purification and return in the medium

Оптимизация предлагаемого метода.

Вопросы деградации ПХБ в воде с использованием наночастиц T_1O_2 и ультрафиолетового излучения рассмотрены в работе [14]. Согласно этой работе имеет место следующее соотношение:

$$C(t) = C_0 e^{-k_1 t}, \quad (2)$$

где C_0 – концентрация ПХБ в момент $t = 0$; k – скорость реакции; t – время обработки.

Для массы загрязненной воды, взятой на расстоянии L от места максимального загрязнения грунтовых вод с учетом выражений (1) и (2) результирующую концентрацию вычислим как

$$C_p = C(L_0) \cdot \exp(-kL) \cdot e(k_1 t). \quad (3)$$

Введем на рассмотрение функцию связи

$$t = f(L), \quad (4)$$

определяющую зависимость времени обработки взятой водной массы от расстояния L . Для нахождения оптимальной функции $f(L)$ будем рассматривать ограниченный класс функций, удовлетворяющих условие:

$$F_1 = \int_0^{L_{\max}} f(L) dL = C; \quad C = const. \quad (5)$$

Далее, с учетом (3), составим целевой функционал оптимизации:

$$F_1 = \int_0^{L_{\max}} C(L_0) \cdot \exp[-(kL + k_1 t)]. \quad (6)$$

С учетом (4), (5) и (6) примем:

$$F_2 = \int_0^{L_{\max}} C(L_0) \cdot \exp[-(kL + k_1 t(L))] dt + \lambda \left[\int_0^{L_{\max}} f(L) dL - C \right]. \quad (7)$$

Решение оптимизационной задачи (7) получено в виде:

$$t(L) = \frac{1}{k_1} \ln \frac{k_1 C(L_0)}{\lambda_0} - \frac{kL}{k_1}, \quad (8)$$

где λ_0 – значение λ , вычисляемое с учетом (5) и (8).

Можно показать, что при решении (8) F_2 достигает минимума, то есть достигается эффективная очистка. Для этого достаточно проверить знак второй производной интегранта в (7) и убедиться, что результирующая величина всегда положительна.

Выводы

Таким образом, предложен метод деградации полихлорированного бифенила, находящегося в составе как атмосферного воздуха, так и грунтовых вод. Для очистки атмосферного воздуха рекомендуется использовать ультрафиолетовое и микроволновое излучение, а для очистки воды используются ультрафиолетовое излучение и наночастицы T_1O_2 .

Сформирована и решена задача оптимизации очистки грунтовой воды и атмосферного воздуха, загрязненных полихлорированными

бифенилами. Получено выражение зависимости времени проводимой очистки от расстояния до места исходного загрязнения среды.

Библиографический список / References

1. **Ackerman D.G., Scofield R.** Guidelines for the Disposal of PCBs and PCB items by thermal destruction, EPA. – No.600/S2-81-022. – July 1981.
2. **Bonner T.A., Cornett C.L., Desai B.O., Fullenkamp J.M., Petes J.A., Zanders D.L.** Engineering handbook for hazardous waste incineration // U.S. EPA. – No. 68-03-3025. – June 1981. Pp. 462.
3. **Ahling D.** Destruction of chlorinated hydrocarbons in a cement kiln // Environ. Sci. Technol. – 1979. – N. 13(11). Pp. – 1377-1379.
4. **Ahling B., Lindskog A.** Emission of chlorinated organic substance from combustion // Chlorinated Dioxins and Related Compounds, Impact on the Environment / O. Hutzinger R.W., Frei E. Merian and F. Pocchiari, Eds. – Pergamon Press: New York, 1982. – Pp. 215-225.
5. **Reed N.G.** The history of ultraviolet germicidal irradiation for air disinfection // Public health Reports. – 2010. – Vol. 125. – Pp. 15-27.
6. **Riley R.L.** Ultraviolet air disinfection for control of respiratory contagion // Architectural design and indoor microbial pollution. – Oxford University Press: New York, 1988. – P. 179-197.
7. **Shcemeister I.L.** Sterilization by ultraviolet radiation // Disinfection. Sterilization and preservation. – Lea and Febiger: Philadelphia, 1991. – Pp. 535-565.
8. **Shaban Y.A., El Sayed A.M., ElMaradny A.A., AlFarawati R.Kh., AlZobidi M.I., Khan S.U.M.** Laboratory and pilot – plant scale photocatalytic degradation of polychlorinated biphenyls in seawater using CM – n TiO₂ nanoparticles // Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy. – 2016. – ID8471960. – P. 7. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/8471960>.
9. **Bresler E.** Simultaneous transport of solutes and water under transient unsaturated flow conditions // Water Resources Research. – 1973. – No. 9(4). – Pp. 975-986.
10. **Bresler E.** Two – dimensional transport of solutes during non – steady infiltration from a trickle source // Soi. Sci. Soc. Amer. Proc. – 1975. – Vol. 39. – Pp. 604-613.
11. **Piver W.T., Lindstrom F.T.** Waste disposal technologies for polychlorinated biphenyls // Envir. Health Perspectives. – 1985. – Vol. 59. – Pp. 163-177.
12. **Axelmann J., Broman D.** Budget calculations for polychlorinated biphenyls (PCBs) in the Northern Hemisphere – a single – box approach // Institute of Applied Environmental Research (ITM). – 2001. – Vol. 53B. – Pp. 235-259.
13. **Horikoshi S., Serpone N.** Couples microwave/photoassisted methods for environmental remediation // Molecules. – 2014. – Vol. 19. – Pp. 18102-18128.

Критерии авторства

Маммадли Р.Ш. выполнил теоретические исследования, на основании которых провел обобщение и написал рукопись, имеет на статью авторское право и несёт ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 14.07.2021 г.

Одобрена после рецензирования 15.09.2021 г.

Принята к публикации 24.09.2021 г.

Criteria of authorship

Mammadli R.Sh. rashadshohratogli performed out theoretical studies, on the basis of which he generalized and wrote the manuscript, has a copyright on the article and is responsible for plagiarism.

The article was submitted to the editorial office 14.07.2021

Approved after reviewing 15.09.2021

Accepted for publication 24.09.2021