

УДК 579.695

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ПЛАСТОВОЙ ВОДЫ ОТ КСЕНОБИОТИКОВ

Абдрахманулы М., Багдаткызы Н.

*Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы,
e-mail: masiano78@gmail.com*

Проведен методом математического планирования и оптимизации процесса анализ результатов биотехнологических исследований в отношении процесса очистки пластовой воды месторождения Кенлык (Казахстан) от ксенобиотиков. Методом моделирования на основе множественной корреляции изучено влияние независимых переменных (температура, °С; pH; концентрация активного ила, г/л; концентрация растворенного в пластовой воде кислорода, мг/л; БПКполн, мг/л; содержание углеводородов сырой нефти, г/л; количество используемого шунгита, г/л; время нахождения пластовой воды в биореакторе, час) на степень очистки пластовой воды от ксенобиотиков в процессе аэробной биоремедиации. Установлено, что наиболее сильнодействующими факторами для очистки пластовой воды от ксенобиотиков являются температура, pH, концентрации активного ила и растворенного кислорода, продолжительность интенсифицированной технологии биоремедиации в биореакторе. Наибольший процент очистки пластовой воды от ксенобиотиков происходит при заданных условиях исследуемых факторов в пределах 92,04 – 94,52 %.

Ключевые слова: пластовая вода, ксенобиотики, моделирование

MATHEMATICAL PLANNING AND OPTIMIZATION OF PROCESS OF PURIFICATION OF RESERVOIR WATER OF XENOBIOTICS

Abdrakhmanuly M., Bagdatkyzy N.

Kazakh national technical university of K.I. Satpayev, Almaty, e-mail: masiano78@gmail.com

The analysis of results of biotechnological researches concerning process purification of reservoir water of the Kenlyk field (Kazakhstan) of xenobiotics is carried out by method of mathematical planning and optimization process. The simulation method on the basis of multiple correlation studied influence of independent variables (temperature, °C; pH; concentration of the active silt, g/l; concentration of the oxygen dissolved in reservoir water, mg/l; Bpkpoln, mg/l; content of hydrocarbons of crude oil, g/l; the number of the used shungit, g/l; the time spent of reservoir water in the bioreactor, hour) on a level of cleaning of reservoir water from xenobiotics in the course of aerobic bioremediation. The greatest percent of purification of reservoir water of xenobiotics happens under the set conditions of the studied factors within 92,04 – 94,52 %.

Keywords: reservoir water, xenobiotics, modeling

Нефть на сегодня занимает ключевую роль не только в развитии техногенеза, но и в загрязнении окружающей среды вследствие разливов нефти в водный бассейн и невосполнимого урона биоразнообразию.

Вода, как стабильный спутник нефти, перемещаясь по пластам и «обогащаясь» углеводородами нефти и другими неорганическими соединениями (тяжелыми металлами) также становится потенциальным загрязнителем природной среды [1].

Объект исследования: пластовая вода месторождения Кенлык, Казахстан.

Цель исследования: математическое планирование и оптимизация процесса очистки пластовой воды от ксенобиотиков.

Методика исследования. В основе технологии очистки пластовой воды от ксенобиотиков стоит многофакторная зависимость, планирование которого позволяет найти эмпирическую зависимость, которая описывает влияние исследуемых факторов на конечный результат, в нашем случае –

степень очистки пластовой воды от ксенобиотиков в аэротенках в заданных условиях.

Метод планирования эксперимента на основе нелинейной множественной корреляции [2–4]:

$$R = \sqrt{1 - \frac{(N-1) \sum (Y_s - Y_m)^2}{(N-K-1) \sum (Y_s - Y_{cp})^2}}, \quad (1)$$

где число описываемых точек (N), экспериментальный (Y_s) результат и теоретический (Y_m) результат, число действующих факторов (K), среднее экспериментальное значение (Y_{cp}).

В основе приемов подбора аппроксимирующей функции находится метод наименьших квадратов:

$$Y = a + b \times X. \quad (2)$$

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}; \quad (3)$$

$$a = \frac{\sum Y - b \sum X}{n} \quad (4)$$

Обобщенное уравнение $Y_{об}$, анализ которого позволяет определить оптимальные параметры для повышения степени очистки пластовой воды от ксенобиотиков в аэротенках:

$$Y_{об} = \frac{Y_1 Y_2 \dots Y_n}{Y_{cp}^{n-1}} \quad (5)$$

где частные функции ($Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$), общее среднее всех учитываемых значений (Y_{cp}) обобщенной функции.

Результаты и обсуждение. Отобранные для исследования математическим методом факторы (X_1 – температура, °С; X_2 – pH; X_3 – концентрация активного ила, г/л; X_4 – кон-

центрация растворенного в пластовой воде кислорода, мг/л; X_5 – БПК_{полн}, мг/л; X_6 – содержание углеводов сырой нефти, г/л; X_7 – количество используемого биоактиватора (КСКШ), г/л; X_8 – время нахождения пластовой воды в биореакторе, час) приведены в табл. 1.

На основе восьмифакторной матрицы планирования эксперимента был выполнен анализ моделей для алгебраического описания функций методом наименьших квадратов и проведен расчет опытных значений частных функций (табл. 2).

Расчет значений и аппроксимация исследованных функций (табл. 3) позволил составить выборку на точечные графики, указывающие на закономерности изменения степени очистки пластовой воды от ксенобиотиков с учетом принятых в опыте факторов (рисунок).

Таблица 1

Область факторного пространства

Факторы	Уровни факторов				
	1	2	3	4	5
X_1 – Температура, °С	10	14	18	22	26
X_2 – pH	6	6,5	7	7,5	8
X_3 – Концентрация активного ила, г/л	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5
X_4 – Концентрация растворенного в пластовой воде кислорода, мг/л	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
X_5 – БПК _{полн} , мг/л	150	160	170	180	190
X_6 – Содержание углеводов сырой нефти, г/л	25	30	35	40	45
X_7 – Количество используемого биоактиватора (КСКШ), г/л	5	25	50	75	100
X_8 – Время нахождения пластовой воды в биореакторе, час	24	36	48	60	72

Таблица 2

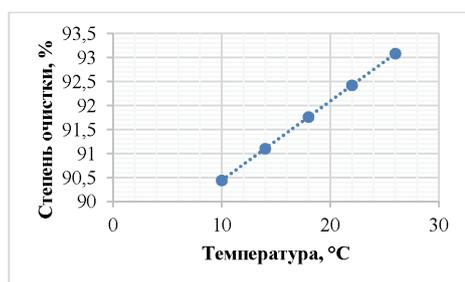
Расчет опытных значений частных функций

№ фактора	Уровень					Среднее значение, %
	1	2	3	4	5	
X_1	94,6	87,2	89,4	92,2	95,4	91,76
X_2	91,4	94,4	89,6	91	92,4	91,76
X_3	91,6	95,6	94,2	89,8	87,6	91,76
X_4	90	92	95,8	92	89	91,76
X_5	92	91,8	89,4	95,6	90	91,76
X_6	90,6	95	93	87,6	92,6	91,76
X_7	92,6	90,6	95	93	87,6	91,76
X_8	87,6	92,6	90,6	95	93	91,76

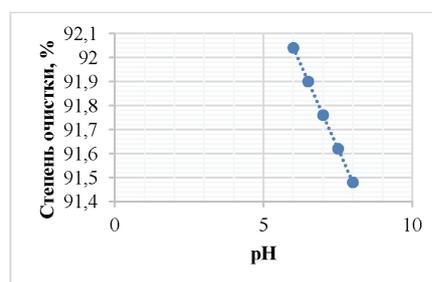
Таблица 3

Расчет значений и аппроксимация опытной функции

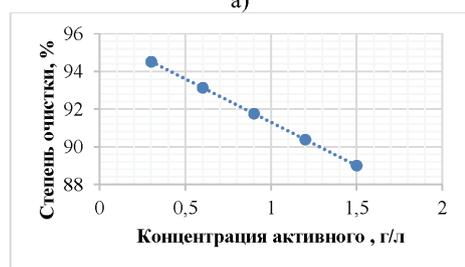
Σ	Расчет значений				Аппроксимация	
	X	Y	X ²	XY	b	a
X ₁	90	458,8	1780	8284,8	0,165	88,79
X ₂	35	458,8	247,5	3210,9	- 0,28	93,72
X ₃	4,5	458,8	4,95	408,78	- 4,6	95,9
X ₄	7,5	458,8	13,75	687,2	- 0,41	92,375
X ₅	850	458,8	145500	77994	-0,002	92,1
X ₆	175	458,8	6375	16041	- 0,068	94,14
X ₇	255	458,8	18775	23213	- 0,04	93,8
X ₈	240	458,8	12960	22180,8	0,11	86,48



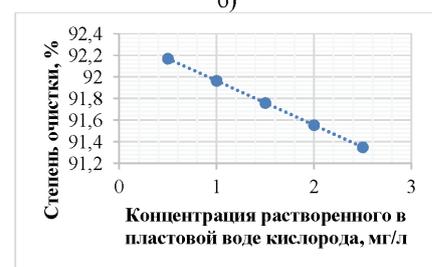
а)



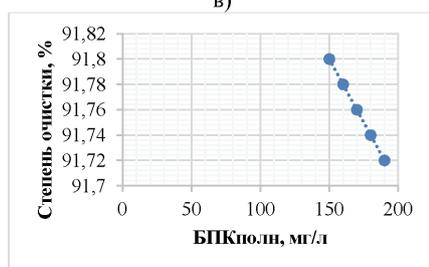
б)



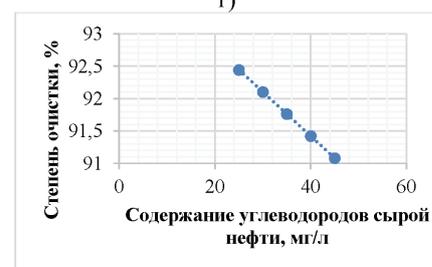
в)



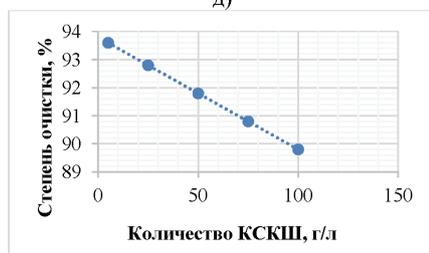
г)



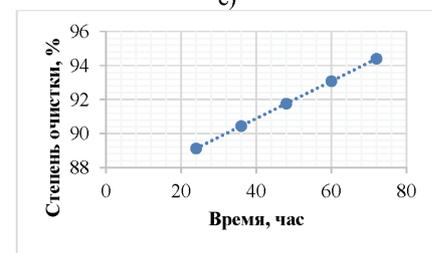
д)



е)



ж)



з)

Выборка на точечные графики: закономерности изменения степени очистки пластовой воды от ксенобиотиков с учетом температуры (а), pH (б), концентрации активного ила (в), концентрации растворенного в пластовой воде кислорода (г), БПКполн (д), содержания углеводов сырой нефти (е), используемого количества биоактиватора (ж), времени нахождения пластовой воды в биореакторе (з)

Как видно из рисунка:

1) закономерности изменения степени очистки пластовой воды от ксенобиотиков с учетом температуры (рисунок, а: с 90,44% до 93,08%), концентрации активного ила (рисунок, в: с 94,52% до 89%), концентрации растворенного в пластовой воде кислорода (рис.1, г: от 92,17 до 91,35) и используемого количества биоактиватора (рисунок, ж: от 89,12% до 94,40%) существенны, т.к. крутизна графиков (рисунок, а, в) и соотв. показатели процента очистки (рисунок, г, ж) свидетельствуют о высокой чувствительности степени очистки ксенобиотиков от учитываемых факторов;

2) высокий процент утилизации ксенобиотиков:

– положительно коррелирует с температурой и временем нахождения пластовой воды в биореакторе, т.е. азотенке: от 90,44 до 93,08%, от 89,12 до 94,40% соответственно,

– отрицательно коррелирует с рН (рисунок, б), концентрацией активного ила (рисунок, в), концентрацией растворенного в пластовой воде кислорода (рисунок, в), БПКполн (рисунок, г), содержанием в пластовой воде углеводов сырой нефти (рисунок, д) и количеством используемого коксуского карбонатно-сланцевого шунгита (рисунок, ж), т.к. чем выше их показатели, тем ниже степень очистки: с 92,04 до 91,48%, с 94,52 до 89%, с 92,17 до 91,35%, с 91,8 до 91,72%, с 92,44 до 91,08% и с 93,6% до 89,8% соответственно.

Анализ обобщенного уравнения показал, что при оптимальных условиях процесса биоремедиации пластовой воды и при заданных технологических параметрах (температура, 26 °С; рН 6; концентрация активного ила, 0,3 г/л; концентрация растворенного в пластовой воде кислорода, 0,5 мг/л; БПКполн, 150 мг/л; содержание

углеводородов сырой нефти, 25 г/л; количество используемого биоактиватора (КСКШ), 5 г/л; время нахождения пластовой воды в биореакторе, 72 ч) степень очистки пластовой воды от ксенобиотиков можно довести до 100%.

Выводы

1. Методом моделирования на основе множественной корреляции изучено влияние независимых переменных на степень очистки пластовой воды от ксенобиотиков в процессе аэробной биоремедиации.

2. Установлено, что наиболее сильнодействующими факторами для очистки пластовой воды от ксенобиотиков являются температура, рН, концентрации активного ила и растворенного кислорода, продолжительность интенсифицированной технологии биоремедиации в биореакторе.

3. Наибольший процент очистки пластовой воды от ксенобиотиков происходит при заданных изменениях исследуемых факторов в пределах 92,04 – 94,52%.

Список литературы

1. Turkayeva A., Jamalova G., Mussina U., Oshakbayev M., Timma L., Pubule Je., Blumberga D. Chemical and Microbiological Nature of Produced Water Treatment Biotechnology//International Scientific Conference "Environmental and Climate Technologies", CONECT 2016, 12–14 October 2016, Riga, Latvia. Energy Procedia 113, P. 116–120. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article> (дата обращения: 17.02.2018).

2. Казова Р.А. Моделирование обезвреживания техногенных материалов // Материалы XI международной научно-технической конференции «Новое в безопасности жизнедеятельности. Экология». – Алматы: КазНТУ имени К.И. Сатпаева. 2008. – С.56 – 59.

3. Малышев В.П. Математическое планирование металлургического и химического эксперимента. Алма-Ата: Наука, 1977. – 35 с.

4. Джамалова Г.А. Математическое планирование выхода продуктов биоразложения твердых бытовых отходов в зависимости от протокола загрузки биореактора. Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/127–21293> (дата публикации и обращения: 17.02.2018).