

УДК 504.06+574+663.1

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ОТ СПОСОБА ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

© 2023 А.В. Васильев, В.В. Ермаков, Д.Е. Щербаков

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН,
г. Тольятти, Россия

Статья поступила в редакцию 01.12.2023

В статье проанализированы основные закономерности распределения радионуклидов в зависимости от способа переработки нефтесодержащих отходов, проведен расчет предельных значений удельной эффективной активности природных радионуклидов в нефтесодержащих отходах. По результатам экспериментов установлено, что при сжигании образцов нефтяного шлама анализируемые радионуклиды во всех случаях ведут себя одинаково. Также установлена зависимость между коэффициентами миграции и зольностью. У образцов с более высоким значением зольности при сжигании коэффициенты миграции радионуклидов в остающуюся золу были выше, чем у образцов, значения зольности которых ниже. Проведена оценка миграции природных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в процессах переработки нефтесодержащих отходов: сжигание, экстракция нефтепродуктов и отгонка дизельной фракции. Установлено, что при проведении данных процессов указанные радионуклиды концентрируются в более твердых продуктах переработки: в золе, твердом остатке и битумной фракции, вследствие чего увеличивается их удельная эффективная активность. Также получена зависимость коэффициентов миграции радионуклидов от зольности и содержания механических примесей при переработке методами сжигания и экстракции нефтепродуктов соответственно. Использование результатов работы позволит выбирать наиболее подходящие методы переработки нефтесодержащих отходов и достигать значительного снижения негативного воздействия радионуклидов на человека и окружающую среду.

Ключевые слова: нефтесодержащие отходы, радионуклиды, зависимости, переработка, методы.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-6-181-191

EDN: CKTWFT

Работа выполнена в рамках государственного задания учреждениям науки, номер 1021060107178-2-1.5.8.

1. ВВЕДЕНИЕ

Повышенная радиоактивность нефтесодержащих отходов на здоровье человека и окружающую среду носит многоплановый характер и может наносить серьезный ущерб [1-7, 11-18].

Ранее авторами разработана методика и проведены экспериментальные исследования нефтесодержащих отходов с повышенной радиоактивностью [8, 9], описаны особенности выбора метода переработки нефтесодержащих отходов в зависимости от их радиоактивности, сформулированы ограничения выбора методов переработки нефтесодержащих отходов, разра-

ботан общий алгоритм выбора методов переработки [10].

В рамках дальнейших исследований необходимо проанализировать основные закономерности распределения радионуклидов в процессах переработки нефтесодержащих отходов, провести расчет предельных значений удельной эффективной активности природных радионуклидов в нефтесодержащих отходах.

Настоящая статья посвящена анализу зависимостей распределения радионуклидов от способа переработки нефтесодержащих отходов.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Полученные в ходе проведения экспериментов данные о значениях удельной активности радионуклидов в образцах нефтесодержащих отходов и продуктах их переработки были сведены в таблицы 1-5.

Информация, о значениях удельной активности радионуклидов в образцах нефтесодержащих отходов и продуктах их переработки представлена также в виде диаграмм, рис. 1-5. Данные диаграммы предназначены для сравне-

Васильев Андрей Витальевич, доктор технических наук, профессор, заслуженный эколог Самарской области, заведующий лабораторией инженерной экологии и экологического мониторинга.

E-mail: avassil62@mail.ru

Ермаков Василий Васильевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории инженерной экологии и экологического мониторинга.

E-mail: wassiliy@rambler.ru

Щербаков Даниил Евгеньевич, младший научный сотрудник лаборатории инженерной экологии и экологического мониторинга. E-mail: daniil19931@gmail.com

Таблица 1 – Значения удельной активности природных радионуклидов в образце нефтяного шлама № 1 и продуктах его переработки

Объект	Масса, г	Ra-226		Th-232		K-40		Удельная эффективная активность, Бк/кг
		Активность, Бк/кг	Погрешность, %	Активность, Бк/кг	Погрешность, %	Активность, Бк/кг	Погрешность, %	
Нефтяной шлам	350,0	220,5	5,4	120,0	3,8	86,0	12,4	385,0
Зола	14,4	682,8	4,3	438,6	4,9	472,6	4,6	1297,5
Твердый остаток экстракции	44,4	855,3	4,9	507,9	6,2	316,8	8,4	1547,6
Экстрагированные нефтепродукты	305,6	114,8	10,3	57,3	14,8	48,0	15,1	193,9
Дизельная фракция	211,4	н.п.о*	-	н.п.о*	-	н.п.о*	-	н.п.о*
Кубовый остаток (битум)	138,6	554,7	5,6	302,4	6,3	216,7	7,0	969,3

Таблица 2 – Значения удельной активности природных радионуклидов в образце нефтяного шлама № 2 и продуктах его переработки

Объект	Масса, г	Ra-226		Th-232		K-40		Удельная эффективная активность, Бк/кг
		Активность, Бк/кг	Погрешность, %	Активность, Бк/кг	Погрешность, %	Активность, Бк/кг	Погрешность, %	
Нефтяной шлам	350	107,0	10,7	68,3	7,5	165,4	14,9	210,5
Зола	21,7	404,7	6,3	235,6	6,9	573,5	5,1	762,1
Твердый остаток экстракции	48,3	423,2	8,2	258,2	9,7	701,0	3,2	821,0
Экстрагированные нефтепродукты	301,7	48,0	15,5	30,6	16,1	75,2	12,2	94,5
Дизельная фракция	192,1	н.п.о*	-	н.п.о*	-	н.п.о*	-	н.п.о*
Кубовый остаток (битум)	157,9	237,1	8,5	151,9	9,9	366,2	6,1	467,2

ния удельных активностей радионуклидов в исходных образцах (рис. 1); в исходных образцах и золе (рис. 2); в исходных образцах и продуктах экстракции нефтепродуктов (рис. 3); в исходных образцах и продуктах перегонки (рис. 4). На рис.

5 представлена сводная диаграмма изменения удельной эффективной активности радионуклидов в ходе экспериментов.

Представленные таблицы и графики позволяют проанализировать основные закономер-

Таблица 3 – Значения удельной активности природных радионуклидов в образце нефтяного шлама № 3 и продуктах его переработки

Объект	Масса, г	Ra-226		Th-232		K-40		Удельная эффективная активность, Бк/кг
		Активность, Бк/кг	Погрешность, %	Активность, Бк/кг	Погрешность, %	Активность, Бк/кг	Погрешность, %	
Нефтяной шлам	350,0	126,2	10,1	97,9	8,8	155,0	10,9	267,6
Зола	27,7	425,9	10,2	347,2	13,7	752,7	8,4	944,7
Твердый остаток экстракции	53,2	511,6	5,5	428,1	6,2	669,9	4,5	1129,4
Экстрагированные нефтепродукты	296,8	60,6	12,3	38,4	15,9	95,8	11,4	119,0
Дизельная фракция	180,2	н.п.о*	-	н.п.о*	-	н.п.о*	-	н.п.о*
Кубовый остаток (битум)	169,8	259,3	8,2	201,5	9,8	319,6	7,6	550,4

Таблица 4 – Значения удельной активности природных радионуклидов в образце нефтяного шлама № 4 и продуктах его переработки

Объект	Масса, г	Ra-226		Th-232		K-40		Удельная эффективная активность, Бк/кг
		Активность, Бк/кг	Погрешность, %	Активность, Бк/кг	Погрешность, %	Активность, Бк/кг	Погрешность, %	
Нефтяной шлам	350,0	157,1	9,4	102,0	10,2	156,9	11,0	304,1
Зола	37,1	427,1	10,3	401,8	10,8	623,3	7,9	1006,4
Твердый остаток экстракции	55,3	575,7	4,3	398,6	5,3	604,9	4,2	1149,3
Экстрагированные нефтепродукты	294,7	76,9	12,4	49,6	14,8	75,9	12,2	148,3
Дизельная фракция	162,0	н.п.о*	-	н.п.о*	-	н.п.о*	-	н.п.о*
Кубовый остаток (битум)	188,0	293,2	7,3	190,7	8,6	291,6	7,2	567,8

ности распределения радионуклидов в процессах переработки нефтесодержащих отходов. Несмотря на различия в удельной активности у рассматриваемых образцов, характер распределения радионуклидов во всех случаях оказался

практически одинаковым.

При сжигании образцов произошло увеличение удельной активности золы, что указывает на концентрирование в ней радионуклидов.

При экстракции нефтепродуктов из образцов

Таблица 5 – Значения удельной активности природных радионуклидов в образце нефтяного шлама № 5 и продуктах его переработки

Объект	Масса, г	Ra-226		Th-232		K-40		Удельная эффективная активность, Бк/кг
		Активность, Бк/кг	Погрешность, %	Активность, Бк/кг	Погрешность, %	Активность, Бк/кг	Погрешность, %	
Нефтяной шлам	350,0	116,6	7,0	83,1	12,5	160,2	6,4	239,1
Зола	47,3	456,7	7,9	260,9	8,1	590,6	4,9	848,7
Твердый остаток экстракции	56,7	488,9	5,4	346,3	6,1	667,4	4,6	999,3
Экстрагированные нефтепродукты	293,3	48,2	15,1	33,2	15,7	64,1	13,6	97,2
Дизельная фракция	156,4	н.п.о*	-	н.п.о*	-	н.п.о*	-	н.п.о*
Кубовый остаток (битум)	193,6	210,4	8,9	150,3	9,4	289,7	8,1	431,9

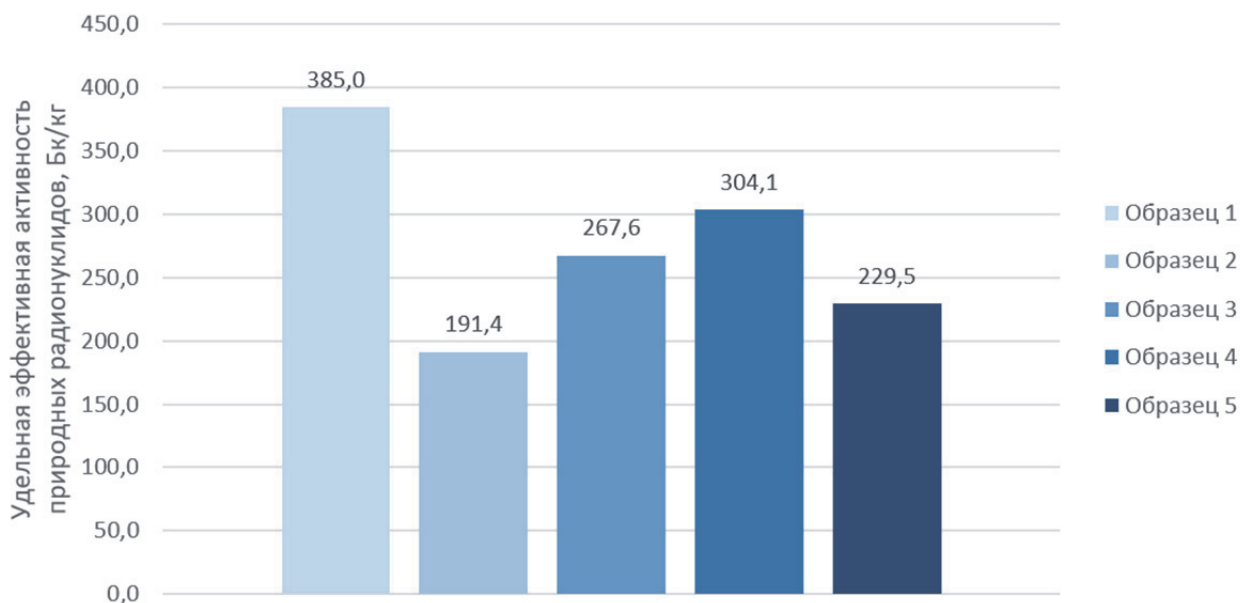


Рисунок 1 – Сравнение удельной эффективной активности радионуклидов в исходных образцах нефтешлама

произошло распределение удельной активности между твердой и жидкой фазой. При этом, значения удельной активности твердого остатка во всех случаях превышали значения удельной активности исходных образцов, что указывает на концентрирование радионуклидов в твердой фазе.

При отгонке дизельной фракции из образцов, произошло увеличение удельной эффективной активности радионуклидов в полученной битумной фракции. При этом, выявить

содержание анализируемых радионуклидов в отогнанной дизельной фракции не удалось. Это означает, что все содержащиеся в исходном шламе радионуклиды остались в битумной фракции, следовательно, произошло их концентрирование.

Таким образом, по итогам эксперимента установлено, что при переработке нефтесодержащих отходов происходит концентрирование радионуклидов в более твердых продуктах пе-

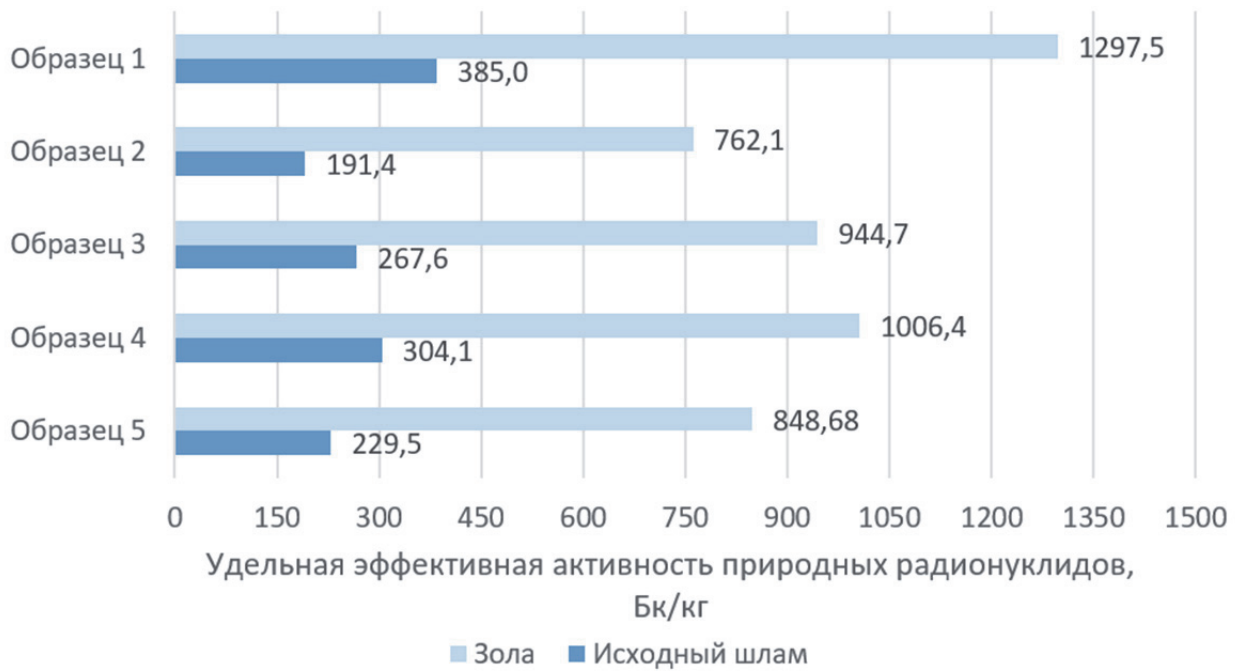


Рисунок 2 – Изменение удельной активности радионуклидов при сжигании образцов

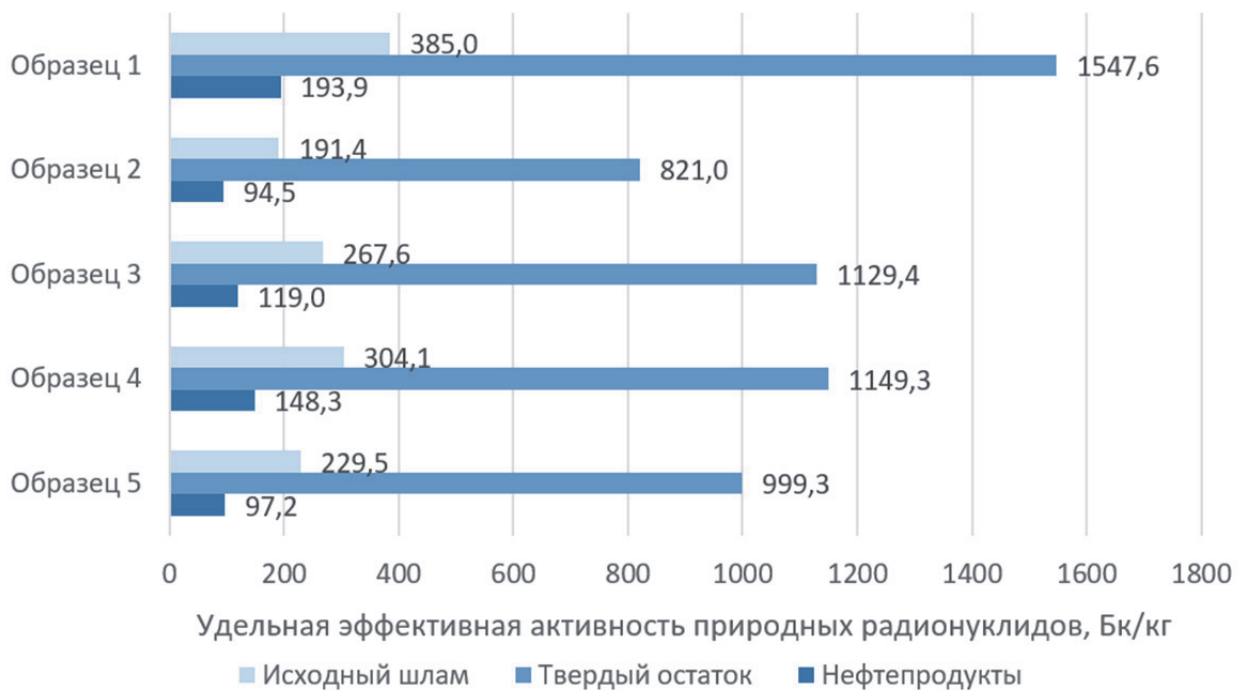


Рисунок 3 – Изменение удельной активности радионуклидов при экстракции нефтепродуктов из образцов

переработки.

Для формирования ограничений для применения того или иного метода переработки нефтесодержащих отходов необходимо на основе установленных предельных значений удельной эффективной активности природных радионуклидов в материалах, применяемых для строительства, провести расчет предельных значений удельной эффективной активности природных радионуклидов в нефтесодержащих отходах, в результате переработки которых тем или иным

методом получают указанные материалы.

Для расчета предлагается определение коэффициентов распределения радионуклидов. Для этого рассмотрим более детально характер концентрирования.

Зная удельные активности анализируемых радионуклидов в чистом виде и их активности в исследуемых образцах, можно перейти к концентрации. Формула перехода от активности к концентрации будет иметь следующий вид:

$$C_i = A_{i(n)} / A_q, \quad (1)$$

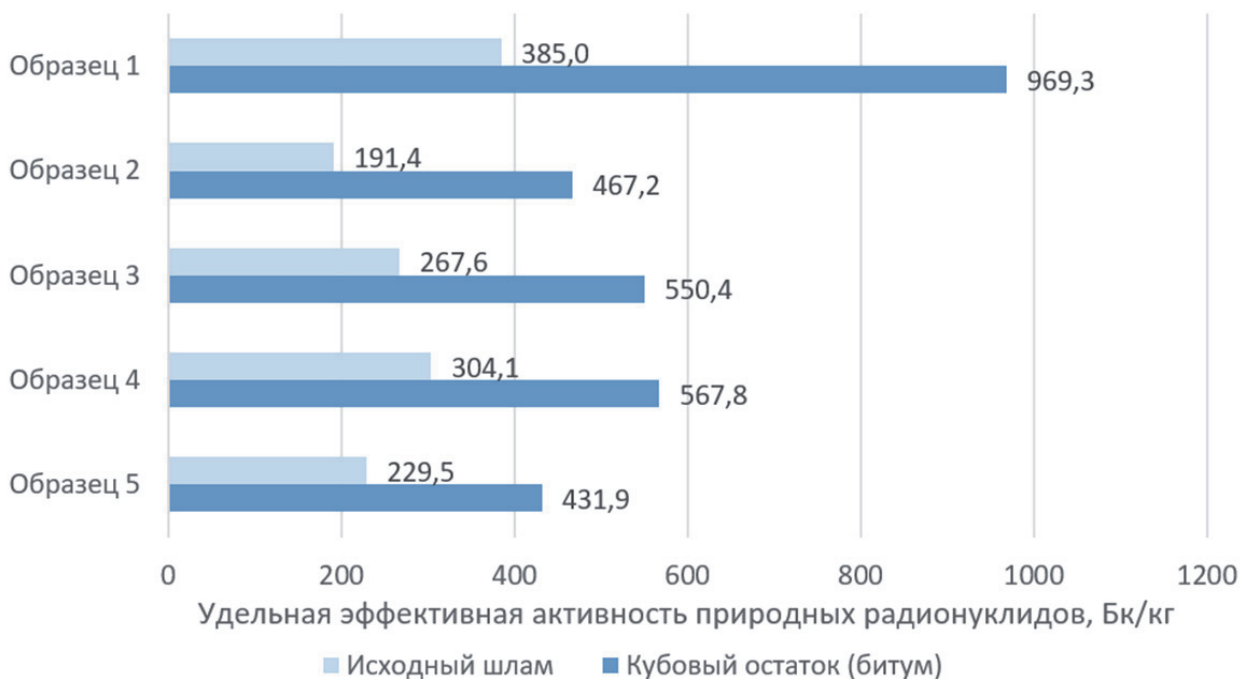


Рисунок 4 – Изменение удельной активности радионуклидов при отгонке дизельной фракции из образцов

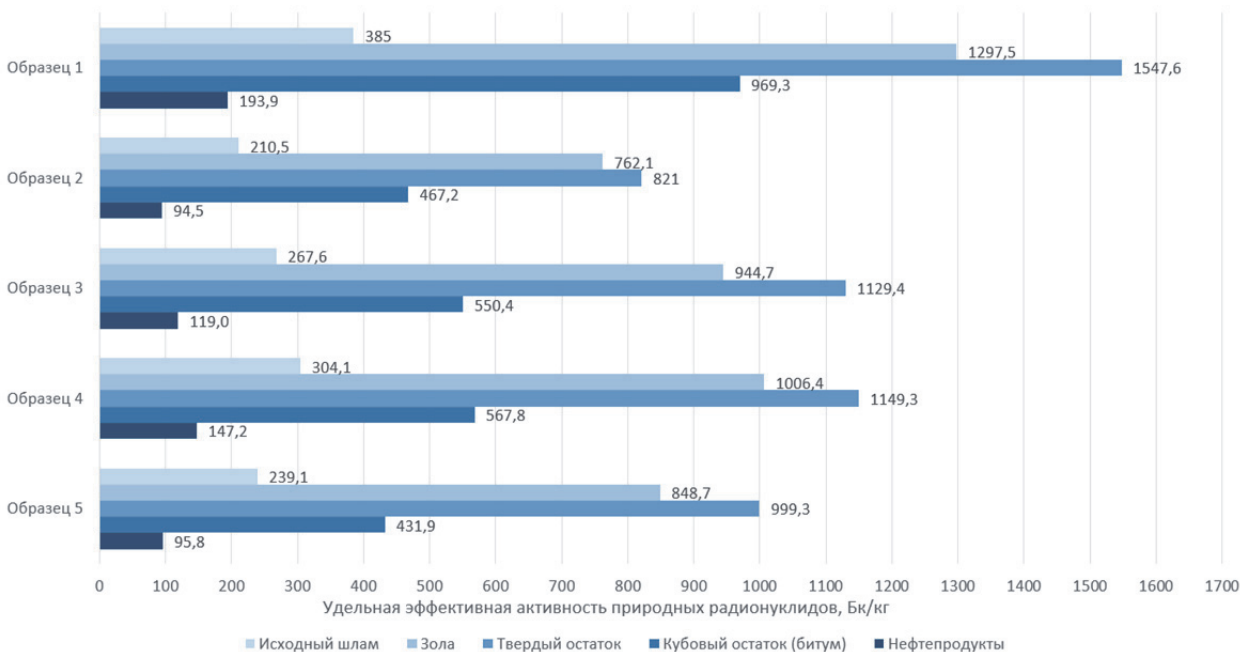


Рисунок 5 – Сводная диаграмма изменения удельной эффективной активности радионуклидов в ходе эксперимента

где C_i – массовая концентрация i -го радионуклида в образце, г/кг;

$A_{i(n)}$ – удельная активность i -го радионуклида в образце, Бк/кг;

$A_{\text{ч}}$ – удельная активность чистого радионуклида, Бк/г.

Зная концентрацию радионуклида, можно определить его массу в образце. Масса i -го радионуклида определяется по формуле 2.

$$m_i = C_i \cdot m_{\text{п}} \quad (2)$$

где m_i – масса i -го радионуклида в образце, г;

C_i – концентрация i -го радионуклида в образце, г/кг;

$m_{\text{п}}$ – масса образца, кг.

Отсюда, масса i -го радионуклида в образце:

$$m_i = A_{i(n)} \cdot m_{\text{п}} / A_{\text{ч}} \quad (3)$$

Проведем расчет масс радионуклидов в каждом образце исходного шлама.

Для образца №1:

$$m_{Ra} = \frac{220,5 \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} \cdot 0,35 \text{ кг}}{3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк/г}} = 20,9 \cdot 10^{-10} \text{ г}$$

$$m_{Th} = \frac{120,0 \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} * 0,35 \text{ кг}}{4,07 * 10^3 \text{ Бк/г}} = 10,3 * 10^{-3} \text{ г}$$

$$m_K = \frac{86,0 \text{ Бк/кг}}{2,65 * 10^5 \text{ Бк/г}} = 11,4 * 10^{-5} \text{ г}$$

Для образца №2:

$$m_{Ra} = \frac{107,0 \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} * 0,35 \text{ кг}}{3,7 * 10^{10} \text{ Бк/г}} = 10,1 * 10^{-10} \text{ г}$$

$$m_{Th} = \frac{68,3 \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} * 0,35 \text{ кг}}{4,07 * 10^3 \text{ Бк/г}} = 5,9 * 10^{-3} \text{ г}$$

$$m_K = \frac{165,4 \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} * 0,35 \text{ кг}}{2,65 * 10^5 \text{ Бк/г}} = 21,8 * 10^{-5} \text{ г}$$

Для образца №3:

$$m_{Ra} = \frac{126,2 \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} * 0,35 \text{ кг}}{3,7 * 10^{10} \text{ Бк/г}} = 11,9 * 10^{-10} \text{ г}$$

$$m_{Th} = \frac{97,9 \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} * 0,35 \text{ кг}}{4,07 * 10^3 \text{ Бк/г}} = 8,4 * 10^{-3} \text{ г}$$

$$m_K = \frac{155,0 \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} * 0,35 \text{ кг}}{2,65 * 10^5 \text{ Бк/г}} = 20,5 * 10^{-5} \text{ г}$$

Для образца №4:

$$m_{Ra} = \frac{157,1 \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} * 0,35 \text{ кг}}{3,7 * 10^{10} \text{ Бк/г}} = 14,9 * 10^{-10} \text{ г}$$

$$m_{Th} = \frac{102,0 \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} * 0,35 \text{ кг}}{4,07 * 10^3 \text{ Бк/г}} = 8,9 * 10^{-3} \text{ г}$$

$$m_K = \frac{156,9 \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} * 0,35 \text{ кг}}{2,65 * 10^5 \text{ Бк/г}} = 59,2 * 10^{-5} \text{ г}$$

Для образца №5:

$$m_{Ra} = \frac{116,5 \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} * 0,35 \text{ кг}}{3,7 * 10^{10} \text{ Бк/г}} = 11,0 * 10^{-10} \text{ г}$$

$$m_{Th} = \frac{75,9 \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} * 0,35 \text{ кг}}{4,07 * 10^3 \text{ Бк/г}} = 7,1 * 10^{-3} \text{ г}$$

$$m_K = \frac{160,2 \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} * 0,35 \text{ кг}}{2,65 * 10^5 \text{ Бк/г}} = 21,2 * 10^{-5} \text{ г}$$

Для количественной оценки степени концентрирования радионуклидов необходимо также провести расчет их масс в продуктах переработки. Данный расчет для каждого образца продуктов переработки проводится аналогично представленному выше. Все полученные данные сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Массы радионуклидов в образцах

№ образца	Радионуклид	Масса в исходном шламе, г	Масса в золе, г	Масса в твердом остатке экстракции, г	Масса в битумной фракции, г
1	²²⁶ Ra	20,9*10 ⁻¹⁰	2,6*10 ⁻¹⁰	10,3*10 ⁻¹⁰	20,9*10 ⁻¹⁰
	²³² Th	10,3*10 ⁻³	1,5*10 ⁻³	5,5*10 ⁻³	10,3*10 ⁻³
	⁴⁰ K	11,4*10 ⁻⁵	2,6*10 ⁻⁵	5,3*10 ⁻⁵	11,4*10 ⁻⁵
2	²²⁶ Ra	10,1*10 ⁻¹⁰	2,4*10 ⁻¹⁰	5,5*10 ⁻¹⁰	10,1*10 ⁻¹⁰
	²³² Th	5,9*10 ⁻³	1,3*10 ⁻³	3,1*10 ⁻³	5,9*10 ⁻³
	⁴⁰ K	21,8*10 ⁻⁵	4,7*10 ⁻⁵	12,8*10 ⁻⁵	21,8*10 ⁻⁵
3	²²⁶ Ra	11,9*10 ⁻¹⁰	3,2*10 ⁻¹⁰	7,4*10 ⁻¹⁰	11,9*10 ⁻¹⁰
	²³² Th	8,4*10 ⁻³	2,4*10 ⁻³	5,6*10 ⁻³	8,4*10 ⁻³
	⁴⁰ K	20,5*10 ⁻⁵	7,9*10 ⁻⁵	13,4*10 ⁻⁵	20,5*10 ⁻⁵

Таблица 6 – Массы радионуклидов в образцах (окончание)

4	²²⁶ Ra	14,9*10 ⁻¹⁰	4,3*10 ⁻¹⁰	8,6*10 ⁻¹⁰	14,9*10 ⁻¹⁰
	²³² Th	8,8*10 ⁻³	3,7*10 ⁻³	5,4*10 ⁻³	8,8*10 ⁻³
	⁴⁰ K	20,7*10 ⁻⁵	8,7*10 ⁻⁵	12,6*10 ⁻⁵	20,7*10 ⁻⁵
5	²²⁶ Ra	11,0*10 ⁻¹⁰	5,8*10 ⁻¹⁰	7,5*10 ⁻¹⁰	11,0*10 ⁻¹⁰
	²³² Th	7,1*10 ⁻³	3,0*10 ⁻³	4,8*10 ⁻³	7,1*10 ⁻³
	⁴⁰ K	21,2*10 ⁻⁵	10,5*10 ⁻⁵	14,3*10 ⁻⁵	21,2*10 ⁻⁵

Зная значения масс радионуклидов в исходных образцах и продуктах переработки, можно оценить коэффициент миграции каждого радионуклида. Коэффициент миграции K_i показывает, какая доля радионуклида перешла из исходного шлама в продукт в процессе переработки. Этот показатель определим по формуле (4):

$$K_i = m_{i(пр)} / m_{i(исх)}, \quad (4)$$

где $m_{i(пр)}$ – масса i -го радионуклида в продукте переработки;

$m_{i(исх)}$ – масса i -го радионуклида в образце исходного нефтешлама.

Определим коэффициенты миграции радионуклидов при сжигании для каждого образца.

Для образца №1:

$$K_{Ra} = \frac{2,6 * 10^{-10}}{20,9 * 10^{-10}} = 0,13$$

$$K_{Th} = \frac{1,5 * 10^{-3}}{10,3 * 10^{-3}} = 0,15$$

$$K_K = \frac{2,6 * 10^{-5}}{11,4 * 10^{-5}} = 0,23$$

Для образца №2:

$$K_{Ra} = \frac{2,4 * 10^{-10}}{10,1 * 10^{-10}} = 0,23$$

$$K_{Th} = \frac{1,3 * 10^{-3}}{5,9 * 10^{-3}} = 0,21$$

$$K_K = \frac{4,7 * 10^{-5}}{21,8 * 10^{-5}} = 0,21$$

Для образца №3:

$$K_{Ra} = \frac{3,2 * 10^{-10}}{11,9 * 10^{-10}} = 0,27$$

$$K_{Th} = \frac{2,4 * 10^{-3}}{8,4 * 10^{-3}} = 0,28$$

$$K_K = \frac{7,9 * 10^{-5}}{20,5 * 10^{-5}} = 0,38$$

Для образца №4:

$$K_{Ra} = \frac{4,3 * 10^{-10}}{14,9 * 10^{-10}} = 0,29$$

$$K_{Th} = \frac{3,7 * 10^{-3}}{8,8 * 10^{-3}} = 0,42$$

$$K_K = \frac{8,7 * 10^{-5}}{20,7 * 10^{-5}} = 0,42$$

Для образца №5:

$$K_{Ra} = \frac{5,8 * 10^{-10}}{11,0 * 10^{-10}} = 0,53$$

$$K_{Th} = \frac{3,0 * 10^{-3}}{7,1 * 10^{-3}} = 0,42$$

$$K_K = \frac{10,5 * 10^{-5}}{21,2 * 10^{-5}} = 0,50$$

Аналогичным образом были посчитаны коэффициенты миграции радионуклидов для других продуктов переработки: твердого остатка экстракции нефтепродуктов и битумной фракции. Для удобства результаты расчетов сведены в таблицу 7.

Получены значения коэффициентов миграции каждого из анализируемых радионуклидов для каждого из рассматриваемых процессов переработки.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что при сжигании образцов нефтяного шлама анализируемые радионуклиды во всех случаях ведут себя одинаково. В золе остается от 13 до 53% радия, от 15 до 50% тория и от 21 до 50% калия. Из этого следует, что до 53% данных радионуклидов уносится с золой уноса, что может представлять дополнительную опасность, поскольку в таком случае существует риск радиоактивного загрязнения газоочистного оборудования. Также установлена зависимость между коэффициентами миграции и зольностью, то есть, процентом содержания минеральных примесей. У образцов с более высоким значением зольности при сжигании коэффициенты миграции радионуклидов в остающуюся золу были выше, чем у образцов, значения зольности которых ниже.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам экспериментов установлено, что при сжигании образцов нефтяного шлама анализируемые радионуклиды во всех случаях

Таблица 7 – Коэффициенты миграции радионуклидов в образцах

№ образца	Радионуклид	Коэффициент миграции при сжигании	Коэффициент миграции при экстракции нефтепродуктов	Коэффициент миграции при отгонке дизельной фракции
1	²²⁶ Ra	0,13	0,49	1,00
	²³² Th	0,15	0,54	1,00
	⁴⁰ K	0,23	0,47	1,00
2	²²⁶ Ra	0,23	0,55	1,00
	²³² Th	0,21	0,52	1,00
	⁴⁰ K	0,21	0,58	1,00
3	²²⁶ Ra	0,27	0,62	1,00
	²³² Th	0,28	0,66	1,00
	⁴⁰ K	0,38	0,66	1,00
4	²²⁶ Ra	0,29	0,58	1,00
	²³² Th	0,42	0,62	1,00
	⁴⁰ K	0,42	0,61	1,00
5	²²⁶ Ra	0,53	0,68	1,00
	²³² Th	0,42	0,68	1,00
	⁴⁰ K	0,50	0,67	1,00

ведут себя одинаково. Также установлена зависимость между коэффициентами миграции и зольностью, то есть, процентом содержания минеральных примесей. У образцов с более высоким значением зольности при сжигании коэффициенты миграции радионуклидов в остающуюся золу были выше, чем у образцов, значения зольности которых ниже.

Проведена оценка миграции природных радионуклидов ²²⁶Ra, ²³²Th и ⁴⁰K в таких процессах переработки нефтесодержащих отходов, как сжигание, экстракция нефтепродуктов и отгонка дизельной фракции. Установлено, что при проведении данных процессов указанные радионуклиды концентрируются в более твердых продуктах переработки: в золе, твердом остатке и битумной фракции, вследствие чего увеличивается их удельная эффективная активность. Также обнаружена зависимость коэффициентов миграции радионуклидов от зольности и содержания механических примесей при переработке методами сжигания и экстракции нефтепродуктов соответственно.

Использование результатов работы позволит выбирать наиболее подходящие методы переработки нефтесодержащих отходов и достигать

значительного снижения негативного воздействия радионуклидов на человека и окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев, А.В. Особенности мониторинга негативного воздействия нефтесодержащих отходов на биосферу / А.В. Васильев // Известия Самарского научного центра РАН. – 2022 – Т. 24. – № 2. – С. 113-120.
2. Васильев, А.В. Подходы к определению токсичности нефтесодержащих отходов с использованием биоиндикации и биотестирования / А.В. Васильев // Известия Самарского научного центра РАН. – 2022 – Т. 24. – № 5. – С. 36-43.
3. Васильев, А.В. Анализ источников загрязнения биосферы нефтепродуктами и особенности оценки их экологического воздействия / А.В. Васильев // Научный журнал «Академический вестник ЭЛПИТ». – 2022. – Т. 7. – № 2(20). – С. 15-20.
4. Васильев А.В. Подходы к разработке методики оценки негативного воздействия нефтесодержащих отходов на человека и биосферу / А.В. Васильев // Известия Самарского научного центра РАН. – 2022. – Т. 24. – № 6. – С. 165-172.
5. Васильев, А.В. Кластерный подход в управлении региональным развитием и его реализация на примере кластера вторичных ресурсов Самар-

- ской области / А.В. Васильев // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2014. – № 4 (114). – С. 38-42.
6. Васильев, А.В. Анализ и оценка загрязнения биосферы при воздействии нефтесодержащих отходов: Монография / А.В. Васильев. – Самара: СамНЦ РАН, 2022. – 106 с.
 7. Васильев, А.В. Анализ особенностей и практические результаты экологического мониторинга загрязнения почвы нефтесодержащими отходами / А.В. Васильев, Д.Е. Быков, А.А. Пименов // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – Т. 16. – № 1(6). – С. 1705-1708.
 8. Васильев, А.В. Методика экспериментальных исследований нефтесодержащих отходов с повышенной радиоактивностью как объекта экологического риска / А.В. Васильев, В.В. Ермаков, Д.Е. Щербаков // Известия Самарского научного центра РАН. – 2023. – Т. 25. – № 4. – С. 171-178. – DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-4-171-178.
 9. Васильев, А.В. Результаты экспериментальных исследований нефтесодержащих отходов с повышенной радиоактивностью как объекта экологического риска / А.В. Васильев, В.В. Ермаков, Д.Е. Щербаков // Известия Самарского научного центра РАН. – 2023. – Т. 25. – № 4. – С. 179-184. – DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-4-179-184.
 10. Васильев А.В. Особенности переработки нефтесодержащих отходов в зависимости от их радиоактивности / А.В. Васильев, В.В. Ермаков, Д.Е. Щербаков // Известия Самарского научного центра РАН. – 2023. – Т. 25. – № 5. – С. 107-113. – DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-5-107-113.
 11. Карташев, А.Г. Влияние нефтезагрязнений на почвенных беспозвоночных животных / А.Г. Карташев, Т.В. Смолина. – Томск: В-Спектр, 2011. – 146 с.
 12. Омелянюк, М.В. Очистка нефтепромыслового оборудования от отложений солей с природными радионуклидами / М.В. Омелянюк // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2008. – № 2. – С. 23-29.
 13. Пучков А.В. Радиоактивность нефтешлама: первые результаты исследований территории большеземельской тундры / А.В. Пучков, Е.Ю. Яковлев, А.С. Дружинина, С.В. Дружинин // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 10. – С. 75-80.
 14. Фердман В.М., Минигазимов Н.С. Проблема обращения с радиоактивными отходами на предприятиях нефтедобычи / В.М. Фердман, Н.С. Минигазимов // Уральский экологический вестник. – 2014. – № 2. – С. 15-19.
 15. Bakr W.F. Assessment of the radiological impact of oil refining industry // Journal of Environmental Radioactivity. – 2010. – № 101. – С. 237-243.
 16. Vasilyev A.V. Method and approaches to the estimation of ecological risks of urban territories // Safety of Technogenic Environment. 2014. № 6. Pp. 43-46.
 17. Vasilyev A.V. Classification and reduction of negative impact of waste of oil-gas industry. Proc. of World Heritage and Degradation. Smart Design, Planning and Technologies Le Vie Dei Mercanti. XIV Forum Internazionale di Studi. 2016. Pp. 101-107.
 18. Vasilyev A.V. Experience, Results and Problems of Ecological Monitoring of Oil Containing Waste. Proceedings of the 2018 IEEE International Conference «Management of Municipal Waste as an Important Factor of Sustainable Urban Development» (WASTE'2018), October, 4-6, 2018, Saint-Petersburg; edition of Saint-Petersburg State Electrical Technical University "LETI", 2018, pp. 82-85.

ANALYSIS OF DEPENDENCIES OF DISTRIBUTION OF RADIONUCLIDES FROM THE METHOD OF TREATMENT OF OIL CONTAINING WASTES

© 2023 A.V. Vasilyev, V.V. Ermakov, D.E. Shcherbakov

Samara Federal Research Center of Russian Academy of Science,
Institute of Ecology of Volga Basing RAS, Togliatti, Russia

In this paper main regularities of distribution of radionuclides in dependence of the method of treatment of oil-containing wastes have been analyzed. Calculation of limit values of the specific effective activity of natural radionuclides have been carried out. Results of experiments are showing that during the burning of oil sludges samples the analyzed radionuclides behave the same in all cases. The relationship between migration coefficients and ash content has been also established. For the samples with more high ash content during the burning the coefficients of migration of radionuclides into the remaining ashes were high than for the samples with the lower values of ash. Estimation of migration of natural radionuclides ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in the processes of treatment of oil-containing wastes (burning, extraction of oil products, distillation of the diesel fraction) has been carried out. It was determined that during the carrying out of these processes the radionuclides are concentrated in more solid processes products: in ash, solid residue and bitumen fraction. As result, it increases their specific effective activity. The dependence of the coefficients of migration of radionuclides from the ash and the content of the mechanic impurities during the treatment by the methods of burning and extraction of oil products has been also received. Using of the results of work is allowing us to select the most appropriate methods of treatment of oil-containing wastes and to reach significant reduction of radioactive nuclides negative impact to the humans and to the environment.

Key words: oil containing waste, radionuclides, dependencies, treatment, methods.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-6-181-191

EDN: CKTWFT

REFERENCES

1. *Vasil'ev, A.V.* Osobennosti monitoringa negativnogo vozdejstviya neftesoderzhashchih othodov na biosferu / A.V. Vasil'ev // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN.* – 2022 – T. 24. – № 2. – S. 113-120.
2. *Vasil'ev, A.V.* Podhody k opredeleniyu toksichnosti neftesoderzhashchih othodov s ispol'zovaniem bioindikacii i biotestirovaniya / A.V. Vasil'ev // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN.* – 2022 – T. 24. – № 5. – S. 36-43.
3. *Vasil'ev, A.V.* Analiz istochnikov zagryazneniya biosfery nefteproduktami i osobennosti ocenki ih ekologicheskogo vozdejstviya / A.V. Vasil'ev // *Nauchnyj zhurnal "Akademicheskij vestnik ELPIT".* – 2022. – T. 7. – № 2(20). – C. 15-20.
4. *Vasil'ev A.V.* Podhody k razrabotke metodik ocenki negativnogo vozdejstviya neftesoderzhashchih othodov na cheloveka i biosferu / A.V. Vasil'ev // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN.* – 2022. – T. 24. – № 6. – S. 165-172.
5. *Vasil'ev, A.V.* Klasternyj podhod v upravlenii regional'nym razvitiem i ego realizaciya na primere klastera vtorignyh resursov Samarskoj oblasti / A.V. Vasil'ev // *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta.* – 2014. – № 4 (114). – S. 38-42.
6. *Vasil'ev, A.V.* Analiz i ocenka zagryazneniya biosfery pri vozdejstvii neftesoderzhashchih othodov: Monografiya / A.V. Vasil'ev. – Samara: SamNC RAN, 2022. – 106 s.
7. *Vasil'ev, A.V.* Analiz osobennostej i prakticheskie rezul'taty ekologicheskogo monitoringa zagryazneniya pochvy neftesoderzhashchimi othodami / A.V. Vasil'ev, D.E. Bykov, A.A. Pimenov // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN.* – 2014. – T. 16. – № 1(6). – C. 1705-1708.
8. *Vasil'ev, A.V.* Metodika eksperimental'nyh issledovanij neftesoderzhashchih othodov s povyshennoj radioaktivnost'yu kak ob'ekta ekologicheskogo riska / A.V. Vasil'ev, V.V. Ermakov, D.E. Shcherbakov // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN.* – 2023. – T. 25. – № 4. – S. 171-178. – DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-4-171-178.
9. *Vasil'ev, A.V.* Rezul'taty eksperimental'nyh issledovanij neftesoderzhashchih othodov s povyshennoj radioaktivnost'yu kak ob'ekta ekologicheskogo riska / A.V. Vasil'ev, V.V. Ermakov, D.E. Shcherbakov // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN.* – 2023. – T. 25. – № 4. – S. 179-184. – DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-4-179-184.
10. *Vasil'ev A.V.* Osobennosti pererabotki neftesoderzhashchih othodov v zavisimosti ot ih radioaktivnosti / A.V. Vasil'ev, V.V. Ermakov, D.E. Shcherbakov // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN.* – 2023. – T. 25. – № 5. – S. 107-113. – DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-5-107-113.
11. *Kartashev, A.G.* Vliyanie neftezagryaznenij na pochvennyh bespozvonochnyh zhivotnyh / A.G. Kartashev, T.V. Smolina. – Tomsk: V-Spektr, 2011. – 146 s.
12. *Omelyanyuk, M.V.* Ochistka neftepromyslovogo oborudovaniya ot otlozhenij solej s prirodnyimi radionuklidami / M.V. Omelyanyuk // *Zashchita okruzhayushchej sredy v neftegazovom komplekse.* – 2008. – № 2. – S. 23-29.
13. *Puchkov, A.V.* Radioaktivnost' nefteshlama: pervye rezul'taty issledovanij territorii bol'shezemel'skoj tundry / A.V. Puchkov, E.Yu. Yakovlev, A.S. Druzhinina, S.V. Druzhinin // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya.* – 2022. – № 10. – S. 75-80.
14. *Ferdman V.M.* Problema obrashcheniya s radioaktivnymi othodami na predpriyatiyah nefteobychi / V.M. Ferdman, N.S. Minigazimov // *Ural'skij ekologicheskij vestnik.* – 2014. – № 2. – S. 15-19.
15. *Bakr W.F.* Assessment of the radiological impact of oil refining industry // *Journal of Environmental Radioactivity.* – 2010. – № 101. – S. 237-243.
16. *Vasilyev A.V.* Method and approaches to the estimation of ecological risks of urban territories // *Safety of Technogenic Environment.* 2014. № 6. Pp. 43-46.
17. *Vasilyev A.V.* Classification and reduction of negative impact of waste of oil-gas industry. Proc. of World Heritage and Degradation. Smart Design, Planning and Technologies Le Vie Dei Mercanti. XIV Forum Internazionale di Studi. 2016. Pp. 101-107.
18. *Vasilyev A.V.* Experience, Results and Problems of Ecological Monitoring of Oil Containing Waste. Proceedings of the 2018 IEEE International Conference "Management of Municipal Waste as an Important Factor of Sustainable Urban Development" (WASTE'2018), October, 4-6, 2018, Saint-Petersburg; edition of Saint-Petersburg State Electrical Technical University "LETI", 2018, pp. 82-85.

Andrey Vasilyev, Doctor of Technical Science, Professor, Honorary Ecologist of Samara Region of Russia, Head of the Engineering Ecology and of Ecological Monitoring Laboratory. E-mail: avassil62@mail.ru

Vasily Ermakov, Candidate of Technical Science, Senior Researcher of the Engineering Ecology and of Ecological Monitoring Laboratory. E-mail: wassiliy@rambler.ru

Daniil Shcherbakov, Junior Researcher of the Engineering Ecology and of Ecological Monitoring Laboratory. E-mail: daniil199931@gmail.com