

Биоиндикация нефтяного загрязнения на примере черноземных почв

Ищенко Е.П.¹, Кох Е.А.¹, Логинов А.А.¹, Губа А.С.¹, Гилаев Г.Г.²

¹ООО «СамараНИПнефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Самара, Россия; ²Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия
ishchenkoep@samnipi.rosneft.ru

Аннотация

В статье представлены результаты исследования по оценке токсического воздействия нефтяного загрязнения на черноземные почвы Самарской области методом биотестирования. Для биотестирования использовались тест-организмы *Daphnia magna* Straus и *Scenedesmus quadricauda*. Определены безопасные концентрации нефти для черноземов южных и черноземов типичных. Выявлена прямая зависимость токсичности от концентрации нефти. Подтверждена эффективность метода биотестирования. Полученные результаты могут использоваться для оценки степени загрязненности почв при их мониторинге и предотвращения негативного воздействия на почвы.

Материалы и методы

Определение токсичности черноземов методом биотестирования с использованием тест-организмов. Методика, в которой в качестве тест-организмов используется *Scenedesmus quadricauda*, оценивает токсичность по снижению флуоресценции хлорофилла и росту *Scenedesmus quadricauda* в загрязненных пробах относительно

фоновых данных. Методика с использованием *Daphnia magna* Straus оценивает токсичность по смертности дафний.

Ключевые слова

биотестирование, биоиндикация, токсичность, безопасная кратность разбавления, предельно допустимые концентрации нефтепродуктов

Для цитирования

Ищенко Е.П., Кох Е.А., Логинов А.А., Губа А.С., Гилаев Г.Г. Биоиндикация нефтяного загрязнения на примере черноземных почв // Экспозиция Нефть Газ. 2024. № 5. С. 102–106. DOI: 10.24412/2076-6785-2024-5-102-106

Поступила в редакцию: 19.08.2024

Bioindication of oil pollution on the example of chernozem soils

Ishchenko E.P.¹, Koch E.A.¹, Loginov A.A.¹, Guba A.S.¹, Gilaev G.G.²

¹“SamaraNIPneft” LLC (“Rosneft” PJSC Group Company), Samara, Russia; ²Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia
ishchenkoep@samnipi.rosneft.ru

Abstract

The article presents the results of a study evaluating the toxic effects of oil pollution on chernozem soils of the Samara region using the bioassay method. The test organisms *Daphnia magna* Straus and *Scenedesmus quadricauda* were used for bioassay. Safe oil concentrations for southern chernozems and typical chernozems were determined. A direct correlation between toxicity and oil concentration was revealed. The effectiveness of the bioassay method was confirmed. The obtained results can be used to assess the degree of soil contamination during monitoring and to prevent negative impacts on soils.

Materials and methods

Determination of chernozem toxicity by bioassay using test organisms. The method using *Scenedesmus quadricauda* as test organisms assesses toxicity by the reduction of chlorophyll fluorescence and growth of *Scenedesmus quadricauda* in contaminated samples relative

to the control. The method using *Daphnia magna* Straus assesses toxicity by daphnia mortality.

Keywords

biotesting, bioindication, toxicity, safe dilution factor, maximum permissible concentrations of oil products

For citation

Ishchenko E.P., Koch E.A., Loginov A.A., Guba A.S., Gilaev G.G. Bioindication of oil pollution on the example of chernozem soils. Exposition Oil Gas, 2024, issue 5, P. 102–106. (In Russ). DOI: 10.24412/2076-6785-2024-5-102-106

Received: 19.08.2024

Введение

В условиях интенсивной промышленной деятельности предприятий нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отрасли при использовании запасов углеводородного сырья в нефтедобывающих регионах, к сожалению, могут возникать технологические инциденты. В некоторых случаях последствием инцидента при транспортировке сырья или готовой продукции может стать образование нефтезагрязненных земельных участков.

Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами может оказать заметное влияние на все компоненты окружающей среды в целом и особенно сильно проявляется на земельных участках сельскохозяйственного назначения использования.

Нефть может содержать множество токсичных соединений, способных накапливаться в почве и наносить вред обитающим в ней живым организмам. При этом на пороговый (безопасный) уровень содержания нефти в почве оказывает влияние как компонентный состав и свойства нефти, так и активность микроорганизмов, участвующих в почвообразующих процессах.

Самарская область, будучи одним из ключевых регионов России по добыче нефти, сталкивается с проблемой загрязнения почв нефтепродуктами. В Самарской области насчитывается 402 месторождения различного масштаба. В 2022 году объем нефтедобычи в Самарской области составил 15,9 млн тонн. Однако такая интенсивная эксплуатация природных ресурсов может приводить к негативным последствиям для окружающей среды. По данным за 2022 год, в результате утечек

при транспортировке нефти и газа было загрязнено 7 га земли [1].

Учитывая крайнюю необходимость скорейшего очищения и возвращения земель в сельскохозяйственный оборот, выявление порогового уровня нефтяного загрязнения остается одной из важнейших задач — как по мониторингу загрязнения почв, так и нормированию содержания нефти в почве.

Во многих регионах России отсутствуют утвержденные нормативы допустимого остаточного содержания нефтепродуктов в почве (ДОСНП). Это связано с тем, что разработка и утверждение нормативов ДОСНП — трудоемкий процесс, что также осложняется отсутствием утвержденных регламентирующих документов для разработки и обоснования этих нормативов. В Удмуртской республике, Республике Татарстан, Чувашской Республике утверждены нормативы ДОСНП для черноземных почв земель сельскохозяйственного назначения. Опыт этих регионов в разработке нормативов ДОСНП подтверждает важность применения методов биотестирования для определения пороговых значений нефтяного загрязнения для различных типов почв [2].

Ранние исследования по нормированию нефти и нефтепродуктов в черноземных почвах Самарской области путем оценки фитотоксичности в отношении высших растений (тест-объекты — овес посевной, редька масличная) демонстрировали воздействие нефтяного загрязнения на различные этапы жизненного цикла высших растений и подтверждают эффективность данного метода исследования, а также подчеркивают, что

влияние нефтяного загрязнения на высшие растения может оказаться лимитирующим фактором при оценке земель сельскохозяйственного назначения [3]. Однако более широкого спектра исследований с использованием различных тест-объектов не проводилось.

В связи с этим возникает необходимость определения пороговых концентраций нефти, до достижения которых почва не становится токсичной, а среда — непригодной для обитания живых организмов.

Многими исследователями отмечается, что одним из наиболее эффективных методов оценки токсичности загрязненных почв является биотестирование с использованием тест-организмов [4].

Биотестированием называется частный случай биоиндикации или процедуры установления токсичности среды с помощью тест-объектов, суть этого метода заключается в определении действия токсикантов на специально выбранные организмы — тест-организмы в стандартных условиях с регистрацией различных поведенческих, физиологических или биохимических показателей. Биотестирование широко применяется для контроля качества природных сред [3].

Проблемы оценки токсического воздействия нефтяного загрязнения на почвы и на живые организмы широко рассматриваются в ряде исследований.

Наиболее пригодными тест-объектами для биотестирования водных вытяжек из почв часто выступают ветвистоусый рачок *Dafnia magna* Straus, а также зеленая водоросль *Scenedesmus quadricauda*. Литературные данные [5] свидетельствуют о том, что

Табл. 1. Агрохимические свойства основных типов почв Самарской области
Tab. 1. Agrochemical properties of the main soil types in Samara region

Показатели	Черноземы			Методы определения
	Типичные	Обыкновенные	Южные	
pH солевой вытяжки	6,4–6,7	6,3–6,6	6,8–7,1	ГОСТ 26483-85
Содержание гумуса, %	8–12	5–8	4–6	ГОСТ 26213-2021
Гидролитическая кислотность мг-экв/100 г почвы	1,7–1,9	1,8–2,2	0,4–0,7	ГОСТ 26212-2021
Сумма поглощённых оснований, мг-экв/100 г почвы	46,5–48,6	45,4–48,7	37,7–38,9	ГОСТ 27821-2020
Степень насыщенности основаниями, %	90–99	92–95	98–99	ГОСТ 27821-2020, ГОСТ 26212-2021
Валовый азот, %	0,38–1,52	0,39–0,43	0,24–0,29	ГОСТ Р 58596-2019
Валовый фосфор, %	0,16–0,21	0,18–0,21	0,13–0,25	ГОСТ 26261-84
Валовый калий, %	1,67–2,12	2,10–2,18	1,90–2,13	ГОСТ 26261-84
Гидролизующий азот, мг/кг	89–128	127–140	91–99	ГОСТ 26951-86
Подвижный фосфор, мг/кг	147–167	157–162	25–32	ГОСТ Р 54650-2011
Обменный калий, мг/кг	162–203	197–209	115–274	ГОСТ Р 54650-2011

эти тест-объекты являются рекомендуемыми для оценки показателя качества почв. Для данных тест-объектов разработаны стандартизированные методики и имеются лаборатории, обладающие соответствующей аккредитацией на выполнение требуемых анализов. Например, авторами [6, 7] анализируются показатели гибели тест-организма *Dafnia magna* Straus, а также безвредная и летальная кратности разбавления водных вытяжек из загрязненных почв при биотестировании. Выявлена сезонная динамика этих показателей, определены безопасные и токсичные уровни загрязнения для различных зон нефтяного воздействия и близлежащих территорий по результатам биотестирования. Также популярен и распространен комплексный подход к схеме биотестирования нефтезагрязненных почв с использованием набора различных тест-организмов [8].

Объекты и методы исследования

Целью настоящего исследования является оценка токсического воздействия

нефти на тест-объекты в черноземных почвах Самарской области методом биотестирования. Это позволит установить предельно допустимые концентрации нефтепродуктов в почвах, не вызывающие острого токсического действия на данных представителей гидробионтов.

Объектами исследования выступили черноземные почвы Самарской области (обыкновенные, южные и типичные). Опыт проводился с почвой, искусственно загрязненной товарной нефтью в лабораторных условиях. Концентрация загрязнения в почвах составляла 2, 3 и 4 г/кг. В качестве эталонного образца сравнения выступала фоновая почва.

Черноземные почвы области отличаются по таким агрохимическим показателям, как гидролитическая кислотность, сумма поглощенных оснований и степень насыщенности основаниями и т. д. Агрохимические свойства выбранных типов почв Самарской области представлены в таблице 1.

Методика, в которой в качестве тест-объекта используются *Scenedesmus quadricauda*,

основана на регистрации снижения уровня флуоресценции хлорофилла и темпа роста (снижении численности) клеток водорослей под воздействием токсических веществ, присутствующих в водной вытяжке из почв, по сравнению с контрольной культурой в пробах, не содержащих токсических веществ [9].

Методика, в которой в качестве тест-объекта используются *Dafnia magna* Straus, основана на определении смертности дафний при воздействии токсических веществ, присутствующих в исследуемой водной вытяжке, по сравнению с контрольной культурой в пробах, не содержащих токсических веществ [10].

При определении токсичности водных вытяжек из почв рассматриваются показатели гибели тест-организмов в процентах по отношению к контролю. Если гибель организмов составляет 10 % и менее, делается вывод об отсутствии токсического воздействия исследуемой пробы. В случае когда гибель организмов достигает 50 % и более по сравнению с контролем, заключение указывает

Табл. 2. Определение токсичности с использованием тест-организмов
Tab. 2. Toxicity determination using test organisms

№ п/п	Содержание нефтепродуктов в почве, мг/кг	Степень безвредной кратности разбавления (БКР)	Токсикологическая оценка
Черноземы обыкновенные			
с использованием тест-организма <i>Dafnia magna</i> Straus			
1.1	420	без разбавления	не оказывает острое токсическое действие
1.2	2 410	без разбавления	не оказывает острое токсическое действие
1.3	3 450	БКР 1	оказывает острое токсическое действие
1.4	4 400	БКР 3	оказывает острое токсическое действие
с использованием тест-культуры <i>Scenedesmus quadricauda</i>			
2.1	420	без разведения	не оказывает острое токсическое действие
2.2	2 410	без разведения	не оказывает острое токсическое действие
2.3	3 450	БКР 1	оказывает острое токсическое действие
2.4	4 400	БКР 2	оказывает острое токсическое действие
Черноземы южные			
с использованием тест-организма <i>Dafnia magna</i> Straus			
3.1	320	без разбавления	не оказывает острое токсическое действие
3.2	2 330	без разбавления	не оказывает острое токсическое действие
3.3	3 310	БКР 2	оказывает острое токсическое действие
3.4	3 940	БКР 3	оказывает острое токсическое действие
с использованием тест-культуры <i>Scenedesmus quadricauda</i>			
4.1	320	без разведения	не оказывает острое токсическое действие
4.2	2 330	без разведения	не оказывает острое токсическое действие
4.3	3 310	БКР 1	оказывает острое токсическое действие
4.4	3 940	БКР 3	оказывает острое токсическое действие
Черноземы типичные			
с использованием тест-организма <i>Dafnia magna</i> Straus			
5.1	390	без разбавления	не оказывает острое токсическое действие
5.2	2 430	без разбавления	не оказывает острое токсическое действие
5.3	3 350	Наличие, БКР 2	оказывает острое токсическое действие
5.4	4 360	Наличие, БКР 2	оказывает острое токсическое действие
с использованием тест-культуры <i>Scenedesmus quadricauda</i>			
6.1	390	без разведения	не оказывает острое токсическое действие
6.2	2 430	без разведения	не оказывает острое токсическое действие
6.3	3 350	БКР 1	оказывает острое токсическое действие
6.4	4 360	БКР 2	оказывает острое токсическое действие

на наличие острого токсического действия анализируемой пробы [9].

Перед проведением исследований по вышеперечисленным методикам почва в сосудах компостировалась в лаборатории в течение двух месяцев в условиях оптимальной влажности и температуры (+18 ÷ +22 °С). Из каждого сосуда через 60 дней компостирования взяты почвенные образцы на проведение в них токсикологических анализов.

Водную вытяжку готовили для каждой повторности варианта эксперимента. Из подготовленной усредненной пробы почвы готовилась водная вытяжка для экстракции веществ в соответствии с методиками для проведения данных видов работ. Соотношение вода:почва составляло 4:1. Суспензия интенсивно перемешивалась в колбе и подвергалась встряхиванию в течение двух часов на аппарате «Шутель», затем фильтрат отделялся от почвы согласно вышеназванным методам. Полученные водные вытяжки использовались в исследованиях на биотестирование.

Результаты

Результаты токсикологического тестирования приведены в таблице 2.

Водные вытяжки исследуемых образцов не оказывают острого токсического действия при отсутствии разведения/разбавления, т. е. БКР (безвредная кратность разведения/разбавления водной вытяжки) равна 0 (без разведения/разбавления). При наличии БКР водные вытяжки исследуемых образцов оказывают острое токсическое действие на тест-объекты.

В тест-реакции суммируется действие всех биологически вредных факторов, включая физическое и химическое воздействие. В силу своих физиологических особенностей *Dafnia magna* Straus и *Scenedesmus quadricauda* обладают большой отзывчивостью на присутствие токсикантов. В ходе исследований наблюдалась сопоставимая степень отзывчивости тест-объектов для различных подвидов черноземных почв.

Каждая проба в концентрациях загрязнения от 2 до 4 г/кг была проанализирована на токсичность методом биотестирования, при этом по безопасной кратности разбавления БКР можно увидеть, что токсичность увеличивается с увеличением дозы загрязнения нефтью. В данном случае содержание нефти в пробах прямо пропорционально степени токсичности. Опыт с концентрациями загрязнителя от 2 до 4 г/кг выявил безопасные значения для тест-организма *Dafnia magna* Straus и тест-культуры *Scenedesmus quadricauda* в следующих диапазонах концентраций: для черноземов обыкновенных — до 2 410,0 мг/кг, для черноземов южных — до 2 330,0 мг/кг, для черноземов типичных — до 2 430,0 мг/кг.

Анализ данных по содержанию нефтепродуктов показал увеличение токсичности образцов с увеличением дозы загрязнения нефтью.

Итоги

Опытным путем были выявлены безопасные значения концентраций нефтепродуктов для черноземов обыкновенных, для черноземов южных и для черноземов типичных Самарской области.

Выводы

Полученные данные могут служить основанием для оценки безопасной концентрации нефти в почве на земельных участках сельскохозяйственного назначения и

Табл. 3. Результаты токсикологического тестирования водных вытяжек нефтезагрязненных черноземных почв Самарской области

Tab. 3. Results of toxicological testing of water extracts from oil-contaminated chernozem soils of the Samara region

№ п/п	Показатели	Пороговое содержание нефти в почве, мг/кг
Черноземы обыкновенные		
1.2	Результаты токсикологического тестирования водных вытяжек, тест-организм — <i>Dafnia magna</i> Straus	2 410
2.2	Результаты токсикологического тестирования водных вытяжек, тест-культура — <i>Scenedesmus quadricauda</i>	2 410
Черноземы южные		
3.2	Результаты токсикологического тестирования водных вытяжек, тест-организм — <i>Dafnia magna</i> Straus	2 330
4.2	Результаты токсикологического тестирования водных вытяжек, тест-культура — <i>Scenedesmus quadricauda</i>	2 330
Черноземы типичные		
5.2	Результаты токсикологического тестирования водных вытяжек, тест-организм — <i>Dafnia magna</i> Straus	2 430
6.2	Результаты токсикологического тестирования водных вытяжек, тест-культура — <i>Scenedesmus quadricauda</i>	2 430

водного фонда, а также для разработки нормативов предельно допустимых концентраций нефтепродуктов в почвах различных типов. Это позволит объективно определять необходимые и достаточные условия восстановления территорий нефтезагрязненных земельных участков и обеспечит их возврат в сельскохозяйственную или иную деятельность. Различия в пороговых концентрациях нефти для различных подтипов черноземов обусловлены их специфическими свойствами. Черноземы типичные показали наибольшую устойчивость к нефтяному загрязнению (пороговое значение 2 430 мг/кг), черноземы обыкновенные занимают промежуточное значение (2 410 мг/кг). Черноземы южные оказались наиболее чувствительными к загрязнению (2 330 мг/кг). Эти различия, вероятно, могут быть обусловлены специфическими свойствами подвидов черноземных почв. Также необходимо отметить, что внедрение комплексного подхода к оценке нефтяного загрязнения почв, учитывающего как острую токсичность водных организмов, так и влияние на рост и развитие сельскохозяйственных культур, позволит более точно определить пороговые значения нефтяного загрязнения для различных типов почв.

Литература

1. Доклад об экологической ситуации в Самарской области за 2022 год // Министерство лесного хозяйства, охраны окружающей среды и природопользования Самарской области. 2023. 183 с.
2. Ищенко Е.П., Губа А.С. Особенности применения нормативов допустимого остаточного содержания нефти в почвах // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2023. № 4. С. 60–64.
3. Ищенко Е.П., Кох Е.А., Жжоникова А.А., Савельев А.А. Оценка фитотоксичности нефтяного загрязнения в отношении

высших растений на примере черноземов южных Самарской области // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2024. № 3. С. 12–16.

4. Терехова В.А. Биотестирование почв: подходы и проблемы // Почвоведение. 2011. № 2. С. 190–198.
5. Ашихмина Т.Я., Алалыкина Н.М., Домрачева Л.И. и др. Биологический мониторинг природно-техногенных систем. Сыктывкар: Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, 2011. 388 с.
6. Банхэ Т.П. Определение показателей токсичности при биотестировании проб почвы нефтезагрязненного района // Астраханский вестник экологического образования. 2021. № 3. С. 65–70.
7. Башкирова Т.П. Оценка токсичности почв Соколовских нефтяных ям методом биотестирования // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования. 2017. С. 147–150.
8. Чудинова О.А., Дзюба Е.А. Схема биотестирования нефтезагрязненных почв на базе лаборатории экологии и охраны природы Пермского государственного университета // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды. 2022. С. 425–431.
9. ФР.1.39.2007.03223 Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей.
10. ФР.1.39.2007.03222 Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодovitости дафний.

Results

Safe values of oil product concentrations for ordinary chernozems, southern chernozems, and typical chernozems of the Samara region were experimentally determined.

Conclusions

The obtained data can serve as a basis for assessing the safe concentration of oil in soil on agricultural and water fund land plots, as well as for developing standards for maximum permissible concentrations of oil products in various soil types. This will allow for objective determination of necessary and sufficient conditions for the restoration of oil-contaminated land plots and ensure their return to agricultural or

other activities. Differences in threshold oil concentrations for various chernozem subtypes are due to their specific properties. Typical chernozems showed the highest resistance to oil pollution (threshold value 2 430 mg/kg), ordinary chernozems have an intermediate value (2 410 mg/kg). Southern chernozems proved to be the most sensitive to pollution (2 330 mg/kg). These differences are likely due to the specific properties of chernozem soil subtypes. It should also be noted that the implementation of an integrated approach to assessing oil pollution of soils, taking into account both acute toxicity to aquatic organisms and the impact on the growth and development of agricultural crops, will allow for more accurate determination of threshold values of oil pollution for various soil types.

References

1. Report on the ecological situation in Samara region for 2022. Ministry of forestry, environmental protection and nature management of Samara region, 2023, 183 p. (In Russ).
2. Ishchenko E.P., Guba A.S. Peculiarities of the standards application for permissible residual oil content in soil. Environmental protection in oil and gas complex, 2023, issue 4, P. 60–64. (In Russ).
3. Ishchenko E.P., Kokh E.A., Zhzhonikova A.A., Saveliev A.A. Assessment of the phytotoxic effect of oil pollution in relation to higher plants on the example of southern chernozems of the Samara region. Environmental protection in oil and gas complex, 2024, issue 3, P. 12–16. (In Russ).
4. Terekhova V.A. Soil bioassay: problems and approaches. Eurasian Soil Science, 2011, issue 2, P. 190–198. (In Russ).
5. Ashikhmina T.Y., Alalykina N.M., Domracheva L.I. et al. Biological monitoring of natural and technogenic systems. Syktyvkar: Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the RAS, 2011, 388 p. (In Russ).
6. Bankhe T.P. Determination of toxicity indicators during biotesting of soil samples from oil-contaminated areas. Astrakhan bulletin of ecological education, 2021, issue 3, P. 65–70. (In Russ).
7. Bashkirova T.P. Assessment of soil toxicity in Sokolov oil pits by biotesting method. Modern ecological state of the natural environment and scientific-practical aspects of rational nature management, 2017, P. 147–150. (In Russ).
8. Chudinova O.A., Dzyuba E.A. Scheme of biotesting of oil-contaminated soils on the basis of the laboratory and nature protection of Perm state university. Environmental safety in conditions of anthropogenic transformation of the natural environment, 2022, P. 425–431. (In Russ).
9. FR.1.39.2007.03223 Method for determining the toxicity of waters, water extracts from soils, sewage sludge and waste by changes in the level of chlorophyll fluorescence and the number of algal cells. (In Russ).
10. FR.1.39.2007.03222 Method for determining the toxicity of water and water extracts from soils, sewage sludge, waste by mortality and changes in the fertility of daphnia. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ищенко Евгений Павлович, к.т.н., главный специалист отдела природоохранных технологий управления по охране окружающей среды и природоохранным технологиям, ООО «СамараНИПИнефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Самара, Россия

Для контактов: ishchenkoep@samnipi.rosneft.ru

Кох Екатерина Алексеевна, ведущий инженер отдела охраны атмосферного воздуха, ООО «СамараНИПИнефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Самара, Россия

Логинов Александр Анатольевич, начальник отдела природоохранных технологий, ООО «СамараНИПИнефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Самара, Россия

Губа Алексей Сергеевич, главный менеджер по ключевым проектам отдела охраны атмосферного воздуха, ООО «СамараНИПИнефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Самара, Россия

Гиляев Гани Гайсинович, д.т.н, профессор кафедры, директор института нефти, газа и энергетики, заведующий кафедрой нефтегазового дела имени профессора Г.Т. Вартумяна, Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

Ishchenko Evgeny Pavlovich, ph.d. in technical sciences, chief specialist of the environmental technologies department, environmental protection and environmental technologies division, “SamaraNIPIneft” LLC (“Rosneft” PJSC Group Company), Samara, Russia

Corresponding author: ishchenkoep@samnipi.rosneft.ru

Kokh Ekaterina Alekseevna, leading engineer of the air protection department, “SamaraNIPIneft” LLC (“Rosneft” PJSC Group Company), Samara, Russia

Loginov Alexander Anatolyevich, head of the environmental technologies department, “SamaraNIPIneft” LLC (“Rosneft” PJSC Group Company), Samara, Russia

Guba Alexey Sergeevich, chief manager for key projects of the air protection department, “SamaraNIPIneft” LLC (“Rosneft” PJSC Group Company), Samara, Russia

Gilayev Gani Gaisinovich, doctor of technical sciences, professor of the department, director of the institute of oil, gas and energy, head of the department of oil and gas engineering named after professor G.T. Vartumyan, Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia