УДК 551.493
https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-3-10-15

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2020

Управление риском загрязнения подземных вод нефтью[1]

Галиулин Р. В.*,
Галиулина Р. А.,
Институт фундаментальных проблем биологии РАН, 142290, Россия, Московская область, г. Пущино, ул. Институтская, д. 2

Башкин В. Н.,
Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, 142290, Россия, Московская область, г. Пущино, ул. Институтская, д. 2

Арабский А. К.,
ООО «Газпром добыча Ямбург», 629306, Россия, Ямало-Ненецкий автономный округ, г. Новый Уренгой, ул. Геологоразведчиков, д. 9

Аннотация
Решается проблема управления риском загрязнения подземных вод нефтью, мигрирующей из почвы. Приводятся примеры аварийного загрязнения почвы нефтью как источника поступления вещества в подземные воды. Рассматривается способ предотвращения миграции нефти в подземные воды из загрязненной почвы, защищенный патентом РФ на изобретение № 2692616.

Ключевые слова: нефть, почва, риск загрязнения, подземные воды, способ предотвращения миграции нефти.

Для цитирования: Галиулин Р. В., Галиулина Р. А., Башкин В. Н., Арабский А. К. Управление риском загрязнения подземных вод нефтью // Проблемы анализа риска. Т. 17. 2020. № 3. С. 10—15, https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-3-10-15

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

[1] Работа выполнена в рамках темы Министерства науки и высшего образования РФ «Физико-химические и биогеохимические процессы в антропогенно загрязненных почвах» № (0191-2019-0049).

Management by Risk of Underground Waters Contamination by Oil[2]

Rauf V. Galiulin*, Roza A. Galiulina,
Institute of Basic Biological Problems of RAS,
142290, Russia, Moscow Region, Pushchino, Institutskaya str., 2

Vladimir N. Bashkin,
Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science of RAS,
142290, Russia, Moscow Region, Pushchino, Institutskaya str., 2

Anatoly K. Arabsky,
"Gazprom dobycha Yamburg" LLC,
629306, Russia, Yamalo-Nenets Autonomous District, Novy Urengoy, Geologorazvedchikov str., 9

Abstract
The problem of risk management of underground water contamination due to oil migration from the soil is solved. Examples of emergency oil contamination of soil as a source of entering this pollutant to underground waters are given. The method of prevention of oil migration to underground waters from contaminated soil, protected by the patent of the Russian Federation on invention No. 2692616 is considered.

Keywords: oil, soil, contamination risk, underground waters, method of prevention of oil migration.

For citation: Galiulin Rauf V., Galiulina Roza A., Bashkin Vladimir N., Arabsky Anatoly K. Management by risk of underground waters contamination by oil // Issues of Risk Analysis. Vol. 17. 2020. No. 3. P. 10—15, https://doi.org/10.32686/1812-5220-20-17-3-10-15

The authors declare no conflict of interest.

Содержание

Введение
1. Примеры аварийного загрязнения почвы нефтью как источника поступления вещества в подземные воды
2. Способ предотвращения миграции нефти в подземные воды из загрязненной почвы
Заключение
Литература

Введение

Нефть, как смесь углеводородов разных классов (алканы, цикланы и арены), поступает в почву в результате аварийных ситуаций, количество которых нельзя планировать, а избежать их на 100% практически невозможно [1]. При этом нефть из загрязненной почвы мигрирует в подземные воды по порам горизонтов (пустотам, трещинам и полостям), слагающих почвенный профиль. Далее нефть осаждается в зонах капиллярной каймы и сезонного подъема подземных вод и растекается по их поверхности [2]. При поступлении нефти в подземные воды портятся вкусовые качества питьевой воды уже при содержании выше 0,1 мг/л. Именно эта величина представляет собой предельно допустимую концентрацию нефти в воде, установленную по так называемому органолептическому лимитирующему показателю вредности, характеризующему изменение запаха и вкуса воды в присутствии данного вещества. Однако вода загрязняется не только

[2] The work was carried out within the framework of the topic of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation "Physico-chemical and biogeochemical processes in anthropogenic contaminated soils" No. (0191-2019-0049).

нефтью, но и содержащимся в последней канцерогенным бенз(а)пиреном ($C_{20}H_{12}$), количество которого в зависимости от нефтяного месторождения может колебаться в пределах 240—8050 мкг/кг, что чревато тяжелыми последствиями для здоровья человека [3]. Так, исследованиями [4] установлена прямая корреляционная связь между загрязнением питьевой воды бенз(а)пиреном нефтяного происхождения и заболеваемостью местного населения раком пищевода в бассейне р. Урал. Поэтому в настоящее время большое значение придается защите подземных вод от загрязнения нефтью, так как доля использования этих вод в водоснабжении населения страны достаточно велика и составляет 46% [5].

Цель работы состояла в решении проблемы управления риском загрязнения подземных вод нефтью, поступающей из почвы. Актуальность рассматриваемой проблемы показана рядом примеров аварийного загрязнения почвы нефтью как источника поступления данного вещества в подземные воды. Рассмотрены также особенности способа защиты подземных вод от нефти с иллюстрацией его реализации в конкретном регионе.

1. Примеры аварийного загрязнения почвы нефтью как источника поступления вещества в подземные воды

Насколько актуально решение проблемы управления риском загрязнения подземных вод нефтью из почвы, свидетельствует ряд примеров аварийных ситуаций вследствие транспортировки вещества по трубопроводам и имевших место за последнее время в различных регионах страны. Так, в Саратовской области вследствие разгерметизации нефтепровода произошел разлив нефти на почву с общей площадью загрязнения 600 м^2 [6]. В Свердловской области вследствие несанкционированной врезки в нефтепровод разлилось более 10 т нефти с площадью загрязнения почвы 2755 м^2 [7]. В Удмуртской Республике в результате порыва внутрипромыслового напорного нефтепровода случился разлив нефти на почву с площадью загрязнения 826 м^2 [8]. В Оренбургской области вследствие также несанкционированной врезки в магистральный нефтепровод произошла утечка нефти на почву с площадью загрязнения 445 м^2 [9]. Позднее также в Оренбургской области вследствие порыва нефтепровода произошел разлив нефти с площадью загрязнения почвы 0,8 га [10].

При данных ситуациях неизбежен риск миграции нефти из загрязненной почвы в подземные воды по порам горизонтов, слагающих почвенный профиль. По мнению авторов, управление этим риском можно достичь путем реализации на практике ниже представленного способа предотвращения миграции нефти в подземные воды из загрязненной почвы [11].

2. Способ предотвращения миграции нефти в подземные воды из загрязненной почвы

В описываемом способе для предотвращения миграции нефти в подземные воды из загрязненной почвы используется торф, что не случайно, так как это природное образование вследствие развитой поверхности и наличия углеводородокисляющих микроорганизмов может служить как сорбентом нефти, так и ее деструктором [11, 12]. Так, сорбционная емкость торфа по отношению к нефти составляет 6—10 г нефти на 1 г сухого вещества торфа, а численность углеводородокисляющих микроорганизмов в нем в 4—5 раз превышает аналогичный показатель для почв.

Данный способ предотвращения миграции нефти в подземные воды из загрязненной почвы путем ее ремедиации с помощью торфа можно реализовать по следующим последовательно выполняемым этапам технической задачи.

1. Выделение и оконтуривание загрязненного нефтью участка, в нем отдельной контрольной площадки, составляющей 1/10 размера участка; отбор с этих двух объектов с помощью почвенного бура с учетом глубины миграции нефти в почву ее проб методом «конверта», т. е. из 5 условных точек, расположенных по углам и в середине участка, для составления одного усредненного образца почвы путем перемешивания; места отбора проб почвы отмечают вешками во избежание повторного ее отбора с одной и той же условной точки.

2. Аналогичный отбор на близлежащем незагрязненном участке проб почвы из верхнего гумусово-аккумулятивного горизонта для анализа ее гранулометрического состава пирофосфатным методом [14]; идентификация по специальной таблице [15] соотношения торф:почва в зависимости от гранулометрического состава почвы; расчет необходимого для внесения количества торфа

на загрязненный участок, исходя из общей площади загрязнения и глубины миграции нефти в почву; на этом этапе в почву контрольной площадки торф не вносят; оперативная поставка торфа для ремедиации загрязненного участка; внесение торфа путем равномерного его распределения по всей поверхности участка и перемешивания с загрязненным слоем почвы.

3. Определение в образцах почвы из загрязненного участка и контрольной площадки исходной концентрации нефти y_0 (г/кг) методом инфракрасной спектрометрии, путем извлечения из почвы нефти четыреххлористым углеродом (CCl_4) в экстракторе (Экрос-8000); полученный экстракт отстаивают и пропускают через хроматографическую колонку с оксидом алюминия (Al_2O_3) и на концентратомере определяют содержание углеводородов нефти в почве [13].

4. Параллельный отбор на загрязненном участке и контрольной площадке через каждые 10 суток образцов почвы для сравнительного определения в них остаточной концентрации нефти y (г/кг), вплоть до выявления статистически доказанной тенденции по снижению ее концентрации в почве на момент времени t.

5. Определение методом математического прогнозирования времени $t_{ОДК}$ достижения ориентировочно допустимой концентрации нефти $y_{ОДК}$ для почвы по формуле экспоненциальной зависимости $y = y_0 \times e^{-kt}$, где y — остаточная концентрация нефти в почве на момент времени t; y_0 — исходная концентрация нефти; e — основание натурального логарифма ln; k — константа скорости разложения нефти в почве, которую вычисляют по формуле:

$$k = \ln (y_0 / y) / t. \quad (1)$$

Вычисление $t_{ОДК}$ нефти в почве производят по формуле:

$$t_{ОДК} = \ln(y_0 / y_{ОДК}) / k = t \times [\ln(y_0 / y_{ОДК}) / \ln(y_0 / y)]. \quad (2)$$

После завершения процедуры математического прогнозирования в почву контрольной площадки также вносят торф и в том же соотношении, что и на загрязненный участок, с последующей заделкой и перемешиванием с загрязненным слоем почвы для предотвращения миграции нефти в подземные воды, что позволяет считать поставленную техническую задачу полностью выполненной.

2.1. Пример реализации способа предотвращения миграции нефти в подземные воды из загрязненной почвы

Нами оценивалось загрязнение тундровой почвы из Ямало-Ненецкого автономного округа, произошедшего в результате аварийной ситуации, и определялось количество торфа для внесения в почву по результатам предварительного анализа гранулометрического состава незагрязненной почвы, которая оказалась тяжелым суглинком. После определения исходной концентрации нефти (y_0 ~ 50 г/кг почвы) и внесения расчетного количества торфа в почву (торф:почва, 1:7) осуществляли мониторинг остаточной концентрации y нефти в почве загрязненного участка, а также контрольной площадки (без внесения торфа), путем отбора образцов почвы и анализа содержания в них углеводородов нефти через каждые 10 суток. На 40-е сутки от начала наблюдения была установлена статистически доказанная тенденция снижения концентрации нефти в почве загрязненного участка после внесения торфа. Далее, используя исходную концентрацию нефти y_0 и остаточную концентрацию y нефти в почве на момент времени t, была вычислена константа скорости разложения нефти в почве k по формуле (1) и рассчитано время $t_{ОДК}$ достижения ориентировочно допустимой концентрации нефти $y_{ОДК}$ по формуле (2). Ориентировочно допустимая концентрация нефти в тундровых почвах составляет 0,7 г/кг, установленная по миграционному лимитирующему показателю вредности [1].

Прогнозирование показало, что внесение торфа в загрязненную почву позволяет снизить $t_{ОДК}$ нефти в 1,8 раза по сравнению с вариантом без торфа, т. е. под действием торфа разложение нефти ускоряется в 1,8 раза (таблица). После завершения процедуры

Таблица. Прогнозирование времени $t_{ОДК}$ достижения ориентировочно допустимой концентрации нефти $y_{ОДК}$ = 0,7 г/кг при внесении торфа на загрязненный участок в соотношении торф:почва, 1:7 в зависимости от гранулометрического состава почвы

Table. Prediction of t_{APC} Time to Reach of Approximate Permissible Concentration of Oil y_{APC} = 0.7 g/kg at Peat Application to Contaminated Plot in Peat:Soil Ratio, 1:7 Depending on Soil Granulometric Composition

Вариант	k, сут$^{-1}$	$t_{ОДК}$, сут
Контрольная площадка, нефть (почва)	0,014	305
Участок, нефть (торф:почва, 1:7)	0,025	171

математического прогнозирования в почву контрольной площадки также вносили торф и в том же соотношении, как и на загрязненный участок, что позволило считать поставленную техническую задачу полностью выполненной.

Заключение

Таким образом, проблема защиты подземных вод от загрязнения нефтью, поступающей из почвы, может достаточно успешно решаться представленным здесь способом, защищенным патентом РФ № 2692616. Суть данного способа заключается в использовании торфа путем его внесения в загрязненную почву в количестве с учетом ее гранулометрического состава, установления статистически доказанной тенденции снижения концентрации нефти в почве после внесения торфа и последующего математического прогнозирования срока предотвращения миграции нефти в подземные воды.

Литература [References]

1. Пиковский Ю. И., Геннадиев А. Н., Чернянский С. С., Сахаров Г. Н. Проблема диагностики и нормирования загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами // Почвоведение. 2003. № 9. С. 1132—1140. [Pikovsky Iu.I., Gennadiev A. N., Chernyansky S. S., Sakharov G. N. Problem of diagnostic and rationing of soil contamination by oil and oil products // Soil Science. 2003. No. 9. P. 1132—1140 (Russia).]
2. Жолдакова З. И., Беляева Н. И. Опасность загрязнения водных объектов при нефтедобыче // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. № 1. С. 28—31. [Zholdakova Z. I., Belyaeva N. I. Risk of water objects contamination at oil production // Hygiene and sanitation. Vol. 94. No. 1. P. 28—31 (Russia).]
3. Серковская Г. С. Содержание бенз-α-пирена в образцах товарных нефтей // Химия и технология топлив и масел. 2011. № 3. С. 56. [Serkovskaya G. S. Content of benzo-α-pyrene in samples of commercial petroleum // Chemistry and technology of fuels and oils. 2011. No. 3. P. 56 (Russia).]
4. Белякова Т. М., Дианова Т. М., Трефилова Н. Я. Геоэкологическое изучение ландшафтов бассейна реки Урал в связи с заболеваемостью населения раком // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. 2006. № 1 (1). С. 183—191. [Belyakova T. M., Dianova T. M., Trefilova N. Ya. Geoecological study of the Ural River basin landscapes in connection with the incidence of population by cancer // Problems of biogeochemistry and geochemical ecology. 2006. No. 1 (1). P. 183—191 (Russia).]
5. Эльпинер Л. И. Современные медико-экологические аспекты учения о подземных водах // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. № 6. С. 39—46. [Elpiner L. I. Modern medical ecological aspects of theory of fresh groundwater resources // Hygiene and sanitation. Vol. 94. No. 6. P. 39—46 (Russia).]
6. Дмитревская Е. С., Красильникова Т. А., Маркова О. А. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в апреле 2018 г. // Метеорология и гидрология. 2018. № 7. С. 120—127. [Dmitrevskaya E. S., Krasilnikova T. A., Markova O. A. About pollution of the natural environment and radiation situation in the territory of the Russian Federation in April 2018 // Meteorology and hydrology. 2018. No. 7. P. 120—127 (Russia).]
7. Дмитревская Е. С., Красильникова Т. А., Маркова О. А. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в мае 2018 г. // Метеорология и гидрология. 2018. № 8. С. 116—122. [Dmitrevskaya E. S., Krasilnikova T. A., Markova O. A. About pollution of the natural environment and radiation situation in the territory of the Russian Federation in May 2018 // Meteorology and hydrology. 2018. No. 8. P. 116—122 (Russia).]
8. Дмитревская Е. С., Красильникова Т. А., Маркова О. А. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в феврале 2019 г. // Метеорология и гидрология. 2019. № 5. С. 107—111. [Dmitrevskaya E. S., Krasilnikova T. A., Markova O. A. About pollution of the natural environment and radiation situation in the territory of the Russian Federation in February 2019 // Meteorology and hydrology. 2019. No. 5. P. 107—111 (Russia).]
9. Дмитревская Е. С., Красильникова Т. А., Маркова О. А. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в апреле 2019 г. // Метеорология и гидрология. 2019. № 7. С. 124—130. [Dmitrevskaya E. S., Krasilnikova T. A., Markova O. A. About pollution of the natural environment and radiation situation in the territory of the Russian Federation in April 2019 // Meteorology and hydrology. 2019. No. 7. P. 124—130 (Russia).]
10. Дмитревская Е. С., Красильникова Т. А., Маркова О. А. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в мае 2019 г. // Метеорология и гидрология. 2019. № 8. С. 122—127. [Dmitrevskaya E. S., Krasilnikova T. A., Markova O. A. About pollution of the natural environment and radiation situation in the territory of the Russian

Federation in May 2019 // Meteorology and hydrology. 2019. No. 8. P. 122—127 (Russia).]

11. Арно О. Б., Арабский А. К., Башкин В. Н., Галиулин Р. В., Галиулина Р. А., Соловищук Л. А., Линник А. И. Способ предотвращения миграции нефти в подземные воды из загрязненных тундровых почв. Патент РФ на изобретение № 2692616. Опубликовано 25.06.2019. Бюллетень № 18. [Arno O. B., Arabsky A. K., Bashkin V. N., Galiulin R. V., Galiulina R. A., Solovishchuk L. A., Linnik A. I. Method of oil migration preventing to underground waters from contaminated tundra soils. Patent of the Russian Federation on invention No. 2692616. Published 25.06.2019. Bulletin No. 18 (Russia).]
12. Алексеева Т. П., Бурмистрова Т. И., Терещенко Н. Н., Стахина Л. Д., Панова И. И. Перспективы использования торфа для очистки нефтезагрязненных почв // Биотехнология. 2000. № 1. С. 58—64. [Alekseeva T. P., Burmistrova T. I., Tereshchenko N. N., Stakhina L. D., Panova I. I. Prospects of peat using for cleaning of oil-contaminated soils // Biotechnology. 2000. No. 1. P. 58—64 (Russia).]
13. Концентратомер нефтепродуктов ИКН-025. Руководство по эксплуатации. Санкт-Петербург, 2005. 13 с. [Concentration measure of oil products IKN-025. Operation manual. St. Petersburg, 2005. 13 p. (Russia).]
14. Кауричев И. С., Панов Н. П., Стратонович М. В., Гречин И. П., Савич В. И., Ганжара Н. Ф., Мершин А. П. Практикум по почвоведению. М.: Колос, 1980. 272 с. [Kaurichev I. S., Panov N. P., Stratonovich M. V., Grechin I. P., Savich V. I., Ganzhara N. F., Mershin A. P. Practical work on soil science. Moscow: Kolos, 1980. 272 p. (Russia).]
15. Арно О. Б., Арабский А. К., Башкин В. Н., Галиулин Р. В., Галиулина Р. А., Маклюк О. В., Припутина И. В. Способ контроля эффективности рекультивации нарушенных тундровых почв различного гранулометрического состава посредством анализа активности дегидрогеназы. Патент РФ на изобретение № 2491137. Опубликовано 27.08.2013. Бюллетень № 24. [Arno O. B., Arabsky A. K., Bashkin V. N., Galiulin R. V., Galiulina R. A., Makliuk O. V., Priputina I. V. Method of recultivation effectiveness control of disturbed tundra soils of different granulometric composition by dehydrogenase activity analysis. Patent of the Russian Federation on invention No. 26491137. Published 27.08.2013. Bulletin No. 24 (Russia).]

Сведения об авторах

Галиулин Рауф Валиевич: доктор географических наук, ведущий научный сотрудник Института фундаментальных проблем биологии РАН (ФГБУН ФИЦ ПНЦБИ РАН)
Количество публикаций: 521
Область научных интересов: геоэкология и биогеохимия
Контактная информация:
Адрес: 142290, Россия, Московская область, г. Пущино, ул. Институтская, д. 2
E-mail: galiulin-rauf@rambler.ru

Галиулина Роза Адхамовна: научный сотрудник Института фундаментальных проблем биологии РАН (ФГБУН ФИЦ ПНЦБИ РАН)
Количество публикаций: 310
Область научных интересов: геоэкология и биогеохимия
Контактная информация:
Адрес: 142290, Россия, Московская область, г. Пущино, ул. Институтская, д. 2
E-mail: rosa_g@rambler.ru

Башкин Владимир Николаевич: доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (ФГБУН ФИЦ ПНЦБИ РАН)
Количество публикаций: более 400
Область научных интересов: биогеохимия и геоэкология
Контактная информация:
Адрес: 142290, Россия, Московская область, г. Пущино, ул. Институтская, д. 2
E-mail: vladimirbashkin@yandex.ru

Арабский Анатолий Кузьмич: доктор технических наук, заместитель главного инженера ООО «Газпром добыча Ямбург»
Количество публикаций: более 200
Область научных интересов: геоэкология, устойчивое развитие газовой промышленности
Контактная информация:
Адрес: 629306, Россия, Ямало-Ненецкий автономный округ, г. Новый Уренгой, ул. Геологоразведчиков, д. 9
E-mail: a.arabskii@mail.ru

Дата поступления: 11.03.2020
Дата принятия к публикации: 11.04.2020
Дата публикации: 30.06.2020

Came to edition: 11.03.2020
Date of acceptance to the publication: 11.04.2020
Date of publication: 30.06.2020