

## ТЕХНОЛОГИИ УЛАВЛИВАНИЯ И СБОРА НЕФТЕНАСЫЩЕННЫХ СОРБЕНТОВ С ОЧИЩАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В.Е. Савенок, Н.А. Ковалевская, А.С. Марущак

УДК 502.13

### РЕФЕРАТ

**ВОДА, НЕФТЬ, ОЧИСТКА, ПОЧВА, СБОР, СОРБЕНТ, ТЕХНОЛОГИЯ**

*В настоящее время для очистки почвы и воды от нефтяных загрязнений разработаны различные по технологии методы и регулярно внедряются новые. В первую очередь следует использовать для этих целей наиболее экологические и безопасные способы, не забывая об эффективности и финансовых затратах.*

*Предметом исследования были сорбционные материалы, применяемые для очистки от нефтяного загрязнения почвы и воды. Целью исследования была разработка технологий сбора сорбционных материалов для очистки различных типов почв и воды от нефтяных загрязнений. В работе использовались сравнительно-сопоставительный, аналитический и описательный методы исследования.*

*Дана характеристика сорбционных материалов, применяемых для очистки от нефтяного загрязнения почвы и воды, представлена модель изменения концентрации нефти в загрязненных почвах под действием сорбентов.*

*Для улавливания и сбора нефтяных загрязнений с поверхности почвы и воды авторами предложены технологии, предполагающие использование адсорбента на основе торфа с добавлением к нему магнитных опилок. Для очистки болотных ландшафтов, имеющих открытые водные поверхности, а также водотоков предлагается технология использования магнитного сорбента в сочетании с боновым оборудованием, применяемым для локализации нефтяного загрязнения.*

*Предложенные технологии улавливания и сбора нефтенасыщенного сорбента могут быть использованы в труднодоступных местах, на болотистых почвах, в местах со сложным рельефом, когда применение традиционных технологий для очистки почвы и воды затруднительно.*

### ABSTRACT

**WATER, OIL, CLEANING, SOIL, COLLECTION, SORBENT, TECHNOLOGY**

*For cleaning soil and water from oil pollution the most environmental and safe ways should be used not forgetting the efficiency and financial costs. To eliminate accumulation of oil in remote places with difficult terrain and thin iridescent films on the water it is advisable to use physicochemical and biological methods. The use of sorbents for these purposes is one of the most effective physical-chemical methods of oil pollution combating.*

*The paper describes the characteristics of the sorption materials used for removing of oil pollution of soil and water. The authors proposed various technologies for the capturing and collection of oil spills from the surface of the soil and water using adsorbents based on peat with the addition of magnetic sawdust.*

*Timely cleaning of surfaces of soil and water from oil pollution will reduce the amount of environmental damage in case of emergency spills.*

*Preliminary analysis of soil types will help to choose the preferred form of the material sorption for a particular soil type and the technology of its application and collection.*

Масштабы промышленного загрязнения природных экосистем нефтью и нефтепродуктами продолжают увеличиваться во всем мире. Главным фактором, влияющим на увеличение этих масштабов, является дисбаланс между бурным ростом всех отраслей современной промышленности и совершенствованием технологий очистки почвы и воды от нефтяных загрязнений. В настоящее время для очистки почвы и воды от нефтяных загрязнений разработаны различные по технологии методы и регулярно внедряются новые. В первую очередь следует использовать для этих целей наиболее экологические и безопасные способы, не забывая об эффективности и финансовых затратах.

Все способы очистки почвы и воды от нефтяных загрязнений можно разделить по принципу действия на следующие категории: механические методы очистки, физико-химические методы очистки, биологические методы очистки. Для ликвидации нефтяного загрязнения почвы и воды наибольшее распространение получили различные технические устройства, относящиеся к механическим методам очистки. В результате использования таких технических устройств при своевременно принятых мерах достигается сбор 80–90 % разлитых нефтепродуктов с поверхности почвы и воды [1]. Однако механические технические устройства не всегда могут эффективно работать на болотистой почве, мелководье, в труднодоступных местах и в местах со сложным рельефом. Кроме того, следует отметить, что если механические методы частично решают проблему сбора основного количества нефти при масштабных авариях для ее повторного использования, то в природоохранном аспекте их роль не столь значительна. Они малоэффективны в ликвидации нефти, растекшейся тонкой (радужной) пленкой по водной поверхности или перешедшей в эмульгированное состояние [2].

Для ликвидации скопления нефти в труднодоступных местах со сложным рельефом и тонких радужных пленок на воде более целесообразно использовать физико-химические и биологические методы. В основу этих методов положены процессы разрушения пленок нефти с помощью СПАВ (диспергирования), сорбции пленочной и эмульгированной нефти природ-

ными и синтетическими сорбентами, разрушения углеводородов нефти нефтеокисляющими микроорганизмами [1].

В данной работе дана характеристика сорбционных материалов, применяемых для очистки от нефтяного загрязнения почвы и воды, представлена модель изменения концентрации нефти в загрязненных почвах под действием сорбентов и предложены к использованию разработанные авторами технологии сбора сорбционных материалов для очистки различных типов почв и воды от нефтяных загрязнений.

Использование различных сорбентов является наиболее эффективным и доступным методом быстрого сбора нефти в различных ситуациях. Сбор и удаление нефти и нефтепродуктов с любой поверхности с помощью сорбентов осуществляются с помощью различных технологий: методом простого расстилая (типа «промокашки»), нанесением формованных или дисперсных сорбентов, а также с помощью специальных валков с нанесенным на их рабочую поверхность сорбирующим материалом. Сейчас в мире при ликвидации разливов нефти предлагается использовать около двух сотен сорбентов, которые можно классифицировать по разным признакам. Для производства сорбентов используется различное сырье. В мире производят как однокомпонентные сорбенты, так и многокомпонентные сорбенты, состоящие из природного сырья (торфа или его смеси с сапропелем) и модификаторов (солей двухвалентных металлов гуминовых кислот). Особую группу составляют биосорбенты. В последнее время широкое применение в промышленности находят природные сорбенты. Их широкое распространение в природе, низкая стоимость и простая технология применения наряду с достаточно высокими сорбционными свойствами делают перспективным использование этого природного сырья в качестве сорбентов для очистки почвы от нефтезагрязнений.

Условно сорбенты можно разделить на четыре группы:

1. Сорбенты на основе растительных остатков (отруби различных злаков и гречихи, торф, лузга от подсолнечных семечек, древесные опилки и т. п.).

2. Сорбенты на синтетической основе изго-

товлены на основе полиуретана, полиэтилена, полипропилена, карбамидоформальдегидных смол и т. д.

3. Углеродные сорбенты используются в качестве фильтра для очистки воды от нефти и нефтепродуктов.

4. Сорбенты на основе природных пористых минералов (вермикулит, перлит). Эта группа может быть поделена еще на две подгруппы: гидрофибизированные и негидрофибизированные.

Основные преимущества сорбента: отсутствие десорбции; возможность применения на воде и суше; высокая степень очистки; высокая скорость и большой объем впитывания; универсальность (более 85 абсорбируемых веществ); неабразивность сорбента; изолирование летучих горючих паров (подавление паров 90 % и более); удобный при транспортировке и применении; не требует специальной подготовки и оборудования при применении и сборе; доступная цена.

Задачи, которые решают нефтяные сорбенты: ликвидация загрязнений без экологического ущерба; блокировка нефтяных загрязнений в минимальные сроки, локализация нефтяных пятен и предупреждение дальнейшего распространения нефтепродуктов; обеспечение дальнейшего восстановления природного баланса и стимуляция естественных самоочищающих функций.

Для оценки эффективности применения сорбента для очистки от нефтяных загрязнений различных типов почв может быть применена математическая модель изменения концентрации нефти (нефтяного загрязнения) в почве при нанесении на нее сорбента [3].

Под воздействием сорбента на загрязненную почву происходит изменение концентрации нефти в ней, кроме того определенная часть компонентов нефти может разлагаться под действием физико-химических факторов. Важным фактором, который должен быть учтен при этом, является тип почвы и его нефтепроницаемость [4]. Для описания данных процессов предлагается следующая математическая модель, где  $C(t)$  – концентрация нефти в почве, мг/м<sup>3</sup>;  $C_1(t)$  – часть компонентов нефти, разлагаемых под действием физико-химических факторов, тогда  $dC_1(t)/dt = -\delta C_1(t)$  – линейная модель разложения

компонентов нефти под действием физико-химических факторов,  $\delta$  – коэффициент, зависящий от характера и свойств почвы (рассчитывается на основе экспериментальных данных);  $C_2(t)$  – часть компонентов нефти, поглощаемых сорбентом, тогда  $dC_2(t)/dt = \beta(C(t) - C_2(t)/\varphi)$  – модель разложения компонентов нефти под действием сорбента,  $\beta$  – кинематический коэффициент ( $\beta > 0$ ),  $\varphi$  – коэффициент, характеризующий поглощающие свойства сорбента;  $t$  – время, часов (месяцев).

$$\begin{cases} \frac{dC(t)}{dt} = \frac{dC_1(t)}{dt} - \frac{dC_2(t)}{dt}; \\ \frac{dC_1(t)}{dt} = -\delta C_1(t); \\ \frac{dC_2(t)}{dt} = \beta \left( C(t) - \frac{C_2(t)}{\varphi} \right). \end{cases} \quad (1)$$

Начальные условия для системы уравнений (1) имеют вид:

$$C(0) = C_0; C_1(0) = \sigma C_0; C_2(0) = 0, \quad (2)$$

где  $\sigma$  – коэффициент, определяющий часть нефти, которая разлагается под действием физико-химических факторов.

Система (1) представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений. Основным способом решения такого рода систем являются численные методы. Для решения системы уравнений (1) применяется метод Рунге-Кутты четвертого порядка.

Для улавливания и сбора нефтяных загрязнений с поверхности почвы и воды нами предложены различные технологии, предполагающие использование адсорбента, разработанного институтом Природопользования [5], с добавлением к нему магнитных опилок. Отличительным признаком данного адсорбента является использование в качестве модификатора полиэтилендиросилоксановой жидкости ГКЖ-94. В качестве целлюлозосодержащего материала адсорбент содержит торф. Кроме того, в качестве целлюлозосодержащего материала могут быть использо-

ваны древесные опилки, льняная кофра и другие сорбенты из органических материалов. Торф – многокомпонентное природное образование, имеющее в своем составе различные органические соединения. В него входят гидрофильные вещества (водорастворимые и легкогидролизуемые, гуматы, целлюлоза и др.), гидрофобные составляющие (битумы, воска), минеральные включения. Практическое использование торфа в качестве сорбента обуславливается тем, что он дешев, общедоступен и имеется в достаточном количестве. Полиэтилгидросилоксановая жидкость ГКЖ-94 – представитель кремнийорганических (полиорганилгидросилоксановых) жидкостей, являющихся поверхностно-активными веществами, обладающими особенно сильным и устойчивым гидрофобным действием при оптимальных условиях модификации (температура обработки, концентрация гидрофобизирующего агента).

Перед применением данного адсорбента, предназначенного для ликвидации нефтяных загрязнений, его смешивают с металлическими опилками в пропорции 1:1. Добавление металлических опилок придает сорбенту магнитные свойства.

Технологией очистки почвы от нефтяных загрязнений предполагается нанесение адсорбента с металлическими опилками на загрязненную поверхность с помощью распылителя. Для сбора нефтенасыщенного сорбента нами разработана штанга, представляющая полую пластиковую трубу, заглушенную с двух сторон, внутри которой закреплена горизонтальная пластина, на которой размещены электромагниты постоянного тока с подведенными к ним проводом «+» и проводом «-» от генератора постоянного тока (12 В), имеющими уплотнения в местах их входа в полость трубы. При небольших пятнах локализуемых нефтяных загрязнений сбор производится оператором. Для этого штанга прикрепляется к держателю, включается запитываемый от аккумуляторной батареи генератор постоянного тока, создающий магнитное поле внутри штанги и снаружи вдоль нее, которое обеспечивает прилипание нефтенасыщенного сорбента к штанге, поднесенной к очищаемой поверхности. Прилипший к штанге нефтенасыщенный сорбент периодически очищается в специальную сборную

емкость. При очистке больших поверхностей, до которых пеший доступ оператора невозможен, применяются транспортные средства (трактор). На болотистых почвах, если плотность болотной почвы позволяет, это может быть трактор-болотоход (типа Т-170Б, Т-10МБ), снабженный траверсой, на которой закреплена штанга для сбора нефтенасыщенного сорбента.

В случае, если болото имеет пригодную для плавания водную поверхность, применяется маломерное плавсредство (например лодка), также снабженное траверсой, на которой закреплена штанга для сбора нефтенасыщенного сорбента. Кроме того для очистки болотных ландшафтов, имеющих открытые водные поверхности, а также водотоков предлагается технология использования магнитного сорбента в сочетании с боновым оборудованием, применяемым для локализации нефтяного загрязнения.

Известно, что общим недостатком всех модификаций боновых заграждений является унос нефтяного загрязнения и нефтенасыщенного сорбента под юбку бона при больших скоростях течения водотока. Поэтому для улавливания и сбора нефтяных загрязнений и нефтенасыщенного сорбента нами разработано магнитное боновое заграждение [6]. Магнитное боновое заграждение может использоваться как в обычном варианте для локализации и сбора нефти, нефтепродуктов и нефтенасыщенного адсорбента, так и в случае, когда в модификатор адсорбента добавляют металлические опилки в указанной выше пропорции (1:1) для того, чтобы нефтенасыщенный адсорбент, локализованный магнитным боновым заграждением, притягивался к металлическому поплавку, снабженному встроенными внутрь него электромагнитами. При установке магнитного бонового заграждения на водоток, который имеет значительную скорость течения (более 0,3 м/с), боновое заграждение устанавливается под углом, который возрастает с увеличением скорости течения водотока. Каждая из секций магнитного бонового заграждения включает поплавок (заглушенная с двух сторон полая металлическая труба) с электромагнитами, к которым подведены провода «+» и «-» от генератора постоянного тока, имеющие уплотнения в местах их входа в полость поплавка. Снизу к поплавку прикреплен юбка. Устройство рабо-

тает следующим образом. Магнитное боновое заграждение к месту установки доставляют секциями. При установке на открытую водную поверхность (водоток) поплавка каждой из секций его электромагниты соединяют параллельно с генератором постоянного тока с помощью проводов «+» и «-». Герметичность выводов проводов из полости поплавка обеспечивают уплотнения. Нефтяные загрязнения, перемещаясь по поверхности водотока, задерживаются и накапливаются перед юбкой бона. Адсорбент, смешанный с металлическими опилками, наносит на накапливающиеся нефтяные загрязнения, далее происходит его насыщение. При приближении под действием течения или ветра к поплавку бона нефтенасыщенного адсорбента включают генератор, создающий магнитное поле внутри и вдоль поплавка, которое обеспечивает прилипание нефтенасыщенного адсорбента к поплавку бона вследствие наличия металлических опилок в адсорбенте. Прилипание нефтенасыщенного адсорбента к поплавку бона значительно снижает количество уносимого под юбку бона нефтенасыщенного сорбента и облегчает последующий сбор нефтенасыщенного адсорбента любым известным способом, например, с помощью нефтесборного устройства. Снижение вероятности уноса нефтенасыщенного сорбента под магнитное боновое заграждение повышает эффективность его использования, что особенно актуально для водотоков, характеризующихся большими скоростями течения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Своевременная очистка поверхностей почвы и воды от нефтяных загрязнений позволит снизить величину экологического ущерба при аварийных разливах нефти, которые являются одним из негативных аспектов функционирования современного промышленного производства.

Применение различных сорбционных материалов для борьбы с нефтяными загрязнениями почвы и воды позволяет обеспечить их высокую степень очистки. Предварительный анализ типов почв, а также их нефтепроницаемости и нефтеемкости позволит выбрать предпочтительный вид сорбционного материала для конкретного типа почвы. Предложенные нами технологии улавливания и сбора нефтенасыщенного сорбента могут быть использованы в труднодоступных местах, на болотистых почвах, в местах со сложным рельефом, когда применение традиционных технологий для очистки почвы и воды затруднительно.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Каменщиков, Ф.А., Богомольный, Е.И. (2005), *Нефтяные сорбенты*, Ижевск, НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 268 с.
2. Нунупаров, С.М. (1979), *Предотвращение загрязнения моря судами*, Москва, Транспорт, 336 с.
3. Чеботарева, Э.В. (2011), Математические модели изменения концентрации нефти в загрязненных почвах под воздействием сорбентов и микроорганизмов, *Вестник ТГГПУ*, Казань, Вып. 4(26), 2011, С. 47-50.
4. Савенок, В.Е., Шаматульская, Е.В. (2014), Определение нефтепроницаемости почв и грунтов расчетным методом, *Вестник ВГУ им. П.М. Машерова*, Витебск, Вып. 1(79), 2014, С. 44-49.
5. Патент 2551 ВУ, МПК В01J 20/22, С 02F 1/28, *Адсорбент для сбора нефти, нефтепродуктов, масел и углеводородов с поверхности воды и почвы*, Томпсон А.Э [и др.], заявитель и патентообладатель Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси, 960081; Заявл. 21.02.96; Опубл. 30.12.98, Оффис. бюллетень Белгоспатента, 1998, №6, С. 49.
6. Заявка на изобретение а20150156, МПК E02B15/04, C02F1/48 C02F1/28, *Магнитное боновое заграждение*, Савенок, В.Е., Марущак, А.С., Добатовкина, А.А., Селезнев, П.С. заявл. 23.03.2015, Приоритетная справка Нац. Центра интеллектуальной собственности РБ от 29.05.2015.

## REFERENCES

1. Kamenshnikov, F.A., Bogomolny, E.I. (2005), *Neftjanye sorbenty* [Oil sorbents], Izhevsk, NIC Regular and chaotic dynamics Publ., 268 p.
2. Nunuparov, S.M. (1979), *Predotvrashhenie zagryaznenija morja sudami* [The Prevention of marine pollution by ships], Moscow, Transport Publ., 336 p.
3. Chebotareva, E.V. (2011), Mathematical model of changes in the concentration of crude oil polluted in different soils under the influence of sorbents and microorganisms [Matematicheskie modeli izmenenija koncentracii nefti v zagryaznennyh pochvah pod vozdejstviem sorbentov i mikroorganizmov], *Bulletin of TSHU*, Kazan, Vol. 4(26), 2011, P. 47-50.
4. Savenok, V.E., Szamotulska, E.V. (2014), Definition of neftprominvest of the soil design method [Opredelenie neftepronicaemosti pochv i gruntov raschetnym metodom], *Bulletin of VSU by name P.M. Masherov*, Vitebsk, Vol. 1(79), 2014, P. 44-49.
5. Patent BY 2551, IPC V01J 20/22, C 02F 1/28, *Adsorbent for collection of oil, oil-products, oils and hydrocarbons from the surface water and soil* [Adsorbent dlja sbora nefti, nefteproduktov, masel i uglevodorodov s poverhnosti vody i pochvy], Thompson, A.E. [and others], Gorillaztel and patentee Institute of problems of use of natural resources and the ecology NAN Republic of Belarus, 960081; Appl. 21.02.96; Publ. 30.12.98, Offic. newsletter Belpatent office, 1998, No. 6, P. 49.
6. The invention application а20150156, IPC E02B15/04, C02F1/48 C02F1/28, *Magnetic boom* [Magnitnoe bonovoe zagrazhdenie], Savenok E.V., Maruschak, S.A., Dobatovkina, A.A., Seleznev, P.S. Appl. 23.03.2015, Priority help N. Center of intellectual property Republic of Belarus from 29.05.2015.

Статья поступила в редакцию 23. 09. 2015 г.