

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-47-54>

УДК 628.35:504.4: 577.472.597



ОЧИСТКА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ С РАЗНЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

В.И. Сметанин¹, В.А. Шевченко²

^{1,2} Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2, Россия

¹ smetanin2000@yandex.ru; ORCID iD: 0009-0004-0134-1234

² shevchenko.v.a@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-5444-9693; ID РИНЦ 479685

Аннотация. Ежегодно в мире добывают около $4508,4 \times 10^6$ т нефти, в том числе $541,7 \times 10^6$ т – в России. Добываемая нефть бывает «легких» и «тяжелых» сортов. Независимо от сорта добываемая нефть поступает на перерабатывающие заводы (НПЗ), где производители нефтепродуктов легкие сорта пускают на получение светлого очищенного топлива, а тяжелые – на изготовление темных, более тяжелых видов нефтепродуктов, включая мазут, обладающих различной плотностью и вязкостью. В процессе транспортирования добывого сырья и переработанных нефтепродуктов в аварийных ситуациях происходит разлив, приводящий к тяжелым экологическим последствиям как на суше, так и на воде. Наибольшее негативное воздействие на водные экосистемы оказывают разливы тяжелых сортов сырья и нефтепродуктов. Использование танкерного флота для перевозки большой части добываемой нефти и переработанных нефтепродуктов морским путем сопряжено с высокими рисками негативного воздействия на водные экосистемы в случае возникновения аварийных ситуаций. Наибольшую экологическую проблему создают аварийные ситуации при разливе тяжелой нефти и замазученных нефтепродуктов. Обнажили эту проблему две аварии танкеров 15 декабря 2024 г. в Керченском проливе Черного моря, перевозивших топливный мазут марки 100. В статье приведены технические решения ликвидации проливов нефти и нефтепродуктов, обладающих свойствами как вязких, так вязко-пластичных жидкостей, находящихся на водной поверхности, в притопленном состоянии и на дне.

Ключевые слова: водный объект, аварии, бункеровка, терминалы, шельф, нефть, нефтепродукты, вязкие, вязко-пластичные жидкости, технологии очистки

Формат цитирования: Сметанин В.И., Шевченко В.А. Очистка водных объектов от загрязнения нефтью и нефтепродуктами с разными физико-механическими свойствами // Природоустройство. 2025. № 5. С. 47-54. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-47-54>

Original article

CLEANING OF WATER BODIES FROM POLLUTION BY OIL AND OIL PRODUCTS WITH DIFFERENT PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES

V.I. Smetanin¹, V.A. Shevchenko²

^{1,2} All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov; 127434, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya str, 44, building 2, Russia

^{1,1} smetanin2000@yandex.ru; ORCID iD: 0009-0004-0134-1234;

^{1,2} shevchenko.v.a@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-5444-9693; ID РИНЦ 479685

Abstract. About 4508.4×10^6 tons of oil are produced annually in the world, including 541.7×10^6 tons in Russia. Produced oil can be of “light” and “heavy” grades. Regardless of the grade, the oil produced is supplied to refineries, where producers of oil products use light grades to produce light refined fuel, and heavy grades to produce darker types of oil products, including fuel oil with different densities and viscosities. In the process of transporting extracted raw materials and refined petroleum products in accident situations, a spill occurs, leading to severe environmental consequences both on land and on water. The greatest negative impact on aquatic ecosystems is caused by spills of heavy grades of raw materials and oil products. The use of the tanker fleet for the transportation of a large part of the produced oil and refined petroleum products by sea is associated with high risks of negative impact on aquatic ecosystems in the event of emergencies. The greatest environmental problem is created by emergencies during the spill

of heavy oil and oil-contaminated petroleum products. This problem was exposed by two accidents of tankers on December 15, 2024 in the Kerch Bay of the Black Sea, carrying fuel oil of grade 100. The article presents technical solutions for the elimination of spills of oil and oil products with the properties of both viscous and viscous-plastic liquids located on the water surface, in a submerged state and at the bottom.

Keywords: water body, accidents, bunkering, terminals, shelf, oil, oil products, viscous, viscous-plastic liquids, treatment technologies

Citation format: Smetanin V.I., Shevchenko V.A. Cleaning of water bodies from pollution by oil and oil products with different physical and mechanical properties // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 5. P. 47-54. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-47-54>

Введение. В системе обращения с нефтью и нефтепродуктами случаются аварийные ситуации различного масштаба, в результате которых происходит загрязнение водных объектов, нанося социальный, экономический и экологический ущерб сложившимся экосистемам различной степени опасности. Обострилась эта проблема после аварии танкеров 15 декабря 2024 г. в Керченском проливе Черного моря, перевозивших топочный мазут. В отличие от других видов нефтепродуктов топочный мазут обладает высокой плотностью, что вызвало определенные сложности при устранении последствий аварии (табл. 1).

Цель исследований: разработка и обоснование методов защиты прибрежных зон от разлива легких нефтепродуктов, находящихся в течение продолжительного времени на плаву, и очистки водных объектов от тяжелых нефтепродуктов с водной поверхности, из-под воды и со дна.

Материалы и методы исследований. Известно, что воздействие нефти и нефтепродуктов на представителей морской фауны может иметь весьма трагические последствия. Попадание нефти на перья птиц вызывает потерю теплопроводности оперения, что приводит к переохлаждению и гибели пернатых, а при попадании

нефти на поверхность яйца нарушается кислородный режим, и ввиду нехватки кислорода погибают зародыш. От загрязнения водной среды нефтью и нефтепродуктами чаще погибают покрытые мехом млекопитающие.

Образовавшаяся нефтяная пленка на водной поверхности затрудняет процессы аэрации водной среды. Недостаток кислорода приводит к заморам гидрофауны и изменению гидрофлоры, и как результат – к потере кормовой базы для гидробионтов. Попадание нефти и нефтепродуктов на водную поверхность наносит громадный экологический ущерб не только водной среде, но и прибрежным территориям, особенно зонам рекреации.

Постоянно растущий объем грузоперевозок нефти и нефтепродуктов, бункеровка судов, заливка танкерного флота на выносных и прибрежных терминалах, добыча полезных ископаемых на шельфе повышают риски аварийных ситуаций разлива на воде. Это наиболее распространенный перечень источников поступления жидкых углеводородов в водную среду морей и океанов.

С учетом того, что нефть и нефтепродукты могут обладать свойствами как вязких, так и вязко-пластичных жидкостей, требуются различные

Таблица 1. Возможное состояние разлива нефти и нефтепродуктов в зависимости от их физических показателей

Table 1. Possible state of oil and oil products spill depending on their physical characteristics

№	Нефть, нефтепродукты Oil, oil products	Плотность, г/см ³ Density, g / cm ³	Вид жидкости Type of liquid	Возможное состояние Possible state
1	Суперлегкая / Super light	0,78	Проявляют свойства вязких жидкостей <i>They exhibit the properties of viscous liquids</i>	Большую часть времени находятся на плаву <i>Most of the time they are afloat</i>
2	Сверхлегкая / Ultralight	0,78-0,82		
3	Легкая / Light	0,82-0,87		
4	Средней тяжести / Moderate heavy	0,87-0,92	Проявляют свойства вязко-пластичных жидкостей <i>They exhibit the properties of viscous-plastic fluids</i>	Часть находится на плаву, другая – в притопленном состоянии, третья – осевшем на дне <i>Part is afloat, the other is in a submerged state, the third is settled at the bottom</i>
5	Тяжелая / Heavy	0,92-1,00		
6	Сверхтяжёлая / Super Heavy	>1.00		
7	Топочный мазут Heating oil	0,96-1,015 (структурная вязкость 50... 59 мм ² /с) 0,96-1,015 (structural viscosity 50... 59 mm ² / s)		

подходы к разработке технологий по их удалению с водной поверхности.

Из данных таблицы 1 следует, что в зависимости от физико-механических свойств нефть и нефтепродукты по-разному ведут себя при разливах на воде: одни, обладая вязкими свойствами, растекаются тонким слоем по водной поверхности и в течение достаточно продолжительного времени находятся на плаву, перекатываясь, как «ртуть», по волнам; другие обладают вязко-пластичными свойствами (например, «тяжелый» топочный мазут, который застывает при температуре $+25^{\circ}\text{C}$, имеет плотность, близкую к воде, но при этом тяжелее ее). В отличие от первых такие загрязнения вначале держатся на поверхности, но при волнении происходит их разделение на «фракталы», которые затем попеременно опускаются на дно или остаются в толще воды в придонной зоне [1].

Собрать тяжелые нефтепродукты с водной поверхности достаточно сложно, особенно в ветреную погоду. Практически отсутствуют технологии ликвидации аварийных ситуаций на море с замазченными нефтепродуктами.

Научная гипотеза заключается в физико-математическом обосновании технических решений, направленных на удаление с водной поверхности проливов нефти и нефтепродуктов, обладающих свойствами как вязких, так и вязко-пластичных жидкостей.

Основными при ликвидации разлива нефти и нефтепродуктов являются механический, физико-химический, термический, биологический методы.

Механический и физико-химический методы очистки. В случае аварийной ситуации в море пораженный участок ограждают

боновыми заграждениями и применяют различные нефтесборные механические системы и устройства, работающие по принципу «лисьего хвоста», или на загрязненный участок высыпают сорбенты, адсорбенты либо диспергенты. Более действенными являются синтетические сорбенты: полипропилен, поролон, синтепон, каучуковая крошка нефтесорб и т.д. Они характеризуются более высокой нефтепоглощающей способностью, термостойкостью, высокой устойчивостью к химическим и физическим воздействиям. При их применении на загрязненный участок водной поверхности высыпается сорбент, после чего ожидают, когда сорбент сорбирует на своей поверхности нефть или нефтепродукты. Затем сорбент с нефтепродуктами собирают для утилизации на берегу (рис. 1) [2-4].

Термический метод, основанный на выжигании нефти, применяется при достаточной толщине слоя нефти сразу же после аварии, до образования эмульсий с водой, и применяется в сочетании с другими методами ликвидации (рис. 2) [2].

К биологическим способам очистки воды относят использование биопрепаратов на основе различных видов микроорганизмов, биоремедиацию (bio – жизнь, remedio – лечение).

Биологический метод используется после применения механического и физико-химического методов при толщине пленки не менее 0,1 мм.

Биоремедиация – это технология очистки нефтезагрязненной воды, в основе которой лежит использование специальных углеводородоокисляющих микроорганизмов или биохимических препаратов. Число микроорганизмов, способных ассимилировать нефтяные углеводороды, относительно невелико. В первую очередь,

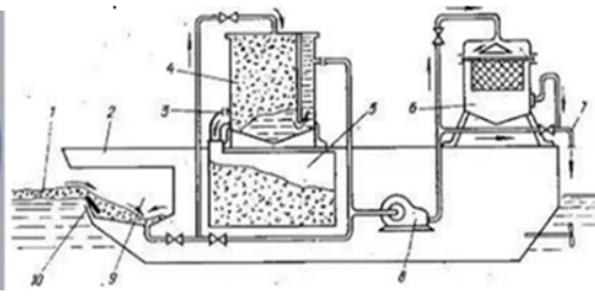
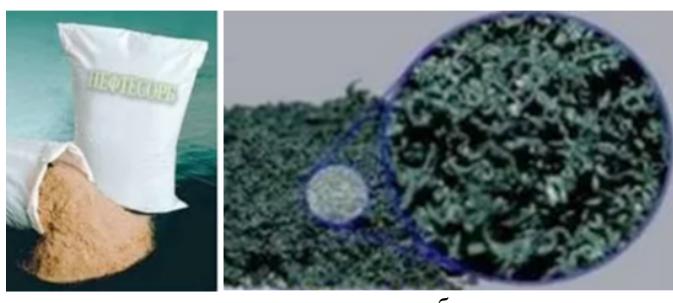


Рис. 1. Физико-химический способ очистки водной среды от нефти и нефтепродуктов:

- а – нефтесорб до использования; б – после впитывания;
- в – принципиальная схема судна-нефтесборщика (1 – сорбент, насыщенный нефтью;
- 2 – судно; 3 – клапан; 4 – гравитационный сепаратор; 5 – емкость-накопитель;
- 6 – кассетный адсорбер; 7 – сброс очищенной воды; 8 – насос)

Fig. 1. Physico-chemical method of purification of the aquatic environment from oil and oil products:

- а – oil sorb before use, б – after absorption; в – schematic diagram of an oil collector vessel;
- 1 – sorbent saturated with oil; 2 – vessel; 3 – valve; 4 – gravity separator; 5 – storage tank;
- 6 – cassette adsorber; 7 – discharge of the purified water; 8 – pump



Рис. 2. Термический метод очистки водной среды от нефти и нефтепродуктов:
а – на воде; б – в прибрежной зоне

Fig. 2. Thermal method of purification of the aquatic environment from oil and oil products:
a – on the water; b – in the coastal area

это бактерии, в основном представители рода *Pseudomonas*, и определенные виды грибов и дрожжей. При температуре воды 15...25°C и достаточной насыщенности кислородом микроорганизмы могут окислять нефтепродукты со скоростью до 2 г/м² водной поверхности в день. При низких температурах бактериальное окисление замедляется, и нефтепродукты могут оставаться в водоемах в течение длительного времени – до 50 лет [5-7].

Все перечисленные методы ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов имеют свои преимущества и недостатки. Самое главное – они применяются в основном тогда, когда аварийная ситуация уже произошла и любые методы приемлемы, но не всегда эффективны.

Согласно основному закону вязкого течения отдельные виды нефти и нефтепродукты обладают свойствами вязких (ニュ顿овских) жидкостей:

$$\tau = \eta \times J, \quad (1)$$

где τ – касательные напряжения сдвига, вызывающие течение жидкости, Н/м²; η – коэффициент динамической вязкости, Па·с; J – градиент напора, равный отношению $J = \frac{h}{l}$; h – высота волны, м; l – длина волны, м.

Попадая на воду, такая нефть и нефтепродукты в спокойную погоду растекаются по водной поверхности в виде тонкой пленки, которую собирают одним из возможных способов. Однако в ветреную погоду при плотности нефтепродуктов ($\rho_{\text{н/п}}$) меньше плотности воды (ρ_0) сплошность нарушается, и по мере возрастания градиента напора (увеличения волн) загрязнения начинают перетекать с гребней волн в ложбины, накапливаясь в них. С использованием этого явления в 2002 г. был получен патент на изобретение РФ № 2178039 «Устройство для сбора нефтяного загрязнения с поверхности водоема» [8]. Внешний вид и принцип работы предлагаемого устройства напоминают плавающую морскую медузу,

перемещающуюся с гребня в ложбину и покачивающуюся на волнах, пропуская через себя морскую воду, очищая ее от многих загрязняющих ингредиентов.

Опытный модельный образец устройства для очистки водной поверхности от нефтепродуктов был испытан в лабораторных условиях (рис. 3а, б).

Устройство состоит из корпуса (резервуара-накопителя), выполненного в виде цилиндра с верхним и нижним основаниями. Верхнее основание снаружи имеет форму обратного усеченного конуса с отверстием по центру. Образующаяся коническая поверхность служит приемным устройством воды и нефтепродуктов с набегающими волнами. Внизу резервуар-накопитель ограничен днищем с отверстием по центру. Внутри корпуса размещена подвижная система клапанов, выполненных в виде двух шаров, соединенных между собой штоком, свободно перемещающимся в направляющей втулке, раскрепленной крестовиной в средней части резервуара-накопителя.

Длина клапанной системы определяется возможностью попеременно закрывать и открывать отверстия: сверху – впускное, снизу – выпускное, в зависимости от схода или наката волн. При сходе волны верхний клапан поднимается в верхнее положение и перекрывает впускное отверстие, тем самым предотвращая вылив из резервуара-накопителя уже собранных нефтепродуктов. При подъеме волны из заполненного приемного устройства нефтепродуктами и водой открывается выпускное отверстие, и происходит загрузка нефтепродуктов внутрь резервуара-накопителя, постепенно отжимая через открытое нижнее отверстие осветленную избыточную воду за его пределы. Подвижная система двух клапанов выполнена массой, обеспечивающей ее самостоятельную остойчивость в водно-нефтяной среде внутри устройства. Само устройство поддерживается на плаву с помощью поплавков,



Рис. 3. Действующая модель устройства для очистки водной поверхности водных объектов от нефтепродуктов и плавающего мелкого мусора:

a – действующая модель; б – демонстрация устройства и его работы

(1 – корпус (резервуар-накопитель); 2, 3 – соответственно нижнее и верхнее основания с отверстиями; 4, 6 – верхний и нижний шаровидные клапаны соответственно; 5 – шток с регулируемой длиной, соединяющий верхний и нижний шаровидные клапаны; 7 – направляющая втулка; 8 – опорная крестовина в средней части резервуара-накопителя)

Fig. 3. Current model of a device for cleaning the water surface of water bodies from petroleum products and floating small debris:

a – current model; b – demonstration of the device and its operation; 1 – housing (storage tank);

2, 3 – lower and upper bases with holes, respectively; 4, 6 – upper, respectively and lower spherical valves; 5 – a rod with an adjustable length connecting the upper and lower spherical valves; 7 – a guide sleeve; 8 – a supporting crosspiece in the middle part of the storage tank; 9 – floats

прикрепленных к корпусу, также обеспечивающих самостоятельную его остойчивую плавучесть.

Наибольшая эффективность сбора устройством легкой нефти и светлых нефтепродуктов с водной поверхности достигается при волнении: чем выше высота волн, тем выше эффективность. При волнении на море нефтепродукты, стекая с гребней волн, скапливаются в ложбинах, а устройство, находясь в заякоренном положении, постоянно балансируя на волнах, совершая вертикальные перемещения в независимых остойчивых состояниях самого корпуса и клапанной группы, обеспечивает как бы «черпание» нефтепродуктов, скапливаемых в ложбине волн.

Поскольку нефтепродукты легче воды, они скапливаются в верхней части резервуара-накопителя, а очищенная вода уходит через нижнее отверстие при приоткрытом положении нижнего клапана. После заполнения резервуара-накопителя нефтепродуктами манипулятор приподнимает устройство над водой, и нижний клапан перекрывает нижнее отверстие, предотвращая самопроизвольное опорожнение содержимого из резервуара-накопителя. Далее манипулятор перемещает устройство в точку разгрузки приподнимает систему клапанов в верхнее положение, и происходит опорожнение содержимого в наливную баржу с последующей утилизацией на берегу. Устройство после разгрузки перемещают в зону загрязнения, ставят на якорь для продолжения работы по сбору нефтепродуктов.

Наибольшую проблему создают «тяжелые» нефти, замазанные нефтепродукты и мазут, плотность ($\rho_{\text{н/п}}$) которых соизмерима с плотностью (ρ_o) воды или в отдельных случаях превышает, или равна $\rho_{\text{н/п}} \geq \rho_o$, а вязкость таких жидкостей приобретает аномальные значения и не характеризуют их течение [9, 10]:

$$\tau \neq \eta \times J. \quad (2)$$

Такие жидкости относятся к вязко-пластичным, их характерной чертой является наличие предела упругости (начального напряжения сдвига), после превышения которого структура жидкости разрушается:

$$\tau = \tau_o + \eta_{pl} \times J, \quad (3)$$

где τ – динамическое напряжение сдвига, $\text{Н}/\text{м}^2$; τ_o – начальное напряжение сдвига, $\text{Н}/\text{м}^2$; η_{pl} – пластическая вязкость, $\text{Па} \cdot \text{с}$; J – градиент напора, равный отношению $J = \frac{h}{l}$; h – высота волны, м; l – длина волны, м.

Попадая в воду в спокойную погоду, такие нефть и нефтепродукты, обладая структурной вязкостью, растекаются по водной поверхности толстым слоем, который вначале достаточно уверенно держится на плаву. Однако при увеличении градиента напора (появление волнения), приводящего к увеличению динамического напряжения сдвига, система начинает разрушаться на отдельные «фракталы». («Фрактал» – оторвавшаяся часть от нефтяного массива, обладающего вязко-пластичными свойствами.) При этом отдельные «фракталы», имеющие плотность ($\rho_{\text{н/п}}$),

большую или равную плотности воды (ρ_o), держатся на плаву, другие уходят под воду, третьи оказываются в придонной зоне или на дне. Собрать их и удалить, как находящихся на водной поверхности или в толще воды, так и осевших на дно, обычными методами сложно, а иногда практически невозможно.

Для очистки водных объектов от «тяжелой» нефти, замазученных нефтепродуктами и мазута предлагается устройство в виде нового рабочего органа, подвешиваемого к крюку плавучего подъемного крана, требуемой грузоподъемности в зависимости от массы рабочего органа, заполненного тяжелыми нефтепродуктами и морской водой.

Рабочий орган выполнен в виде металлического цилиндра с загрузочным раструбом с диафрагмой и отверстием в ней, клапанной системой в виде двух герметичных шаров, днищем с разгрузочным отверстием (рис. 4). Масса рабочего органа должна обеспечивать свободное погружение через нефтепродукты, находящиеся на плаву, для их поступления в загрузочный раструб (воронку). Загрузочная воронка от корпуса отделена диафрагмой с впускным отверстием, изнутри перерываемым верхним шаровым клапаном, который при погружении загрузочное отверстие перекрывает, а при подъеме – открывает. Снизу корпус перекрыт днищем с выпускным отверстием, оборудованным нижним шаровым клапаном, при подъеме перекрывающим выпускное отверстие, а при погружении – открывающим.

Шаровые клапаны соединены штоком с изменяющейся его длиной, позволяющей настроить требуемый размер щели, образующейся между кромкой впускного отверстия и шаровой поверхностью, в зависимости от степени фрактальности нефтяных сгустков-«фракталов», оторвавшихся от нефтяного массива, обладающего вязко-пластичными свойствами.

После наполнения внутреннего пространства рабочего органа нефтепродуктами, при его извлечении из воды, нижний клапан перекрывает нижнее выпускное отверстие, предотвращая самопроизвольный вылив нефтепродуктов. Для работоспособности клапанной системы внутри рабочего органа предусмотрена опорная крестовина, обеспечивающая вертикальное перемещение клапанов. Кроме того, масса подвижной клапанной системы должна соответствовать «остойчивому» ее состоянию в нефте-водяной среде.

Рабочий орган подвешивается на стропах к крюку плавучего подъемного крана и, совершая рабочие манипуляции («майна-вира»), осуществляет постепенное заполнение внутреннего

пространства рабочего органа нефтью или нефтепродуктами.

При обнаружении загрязненного участка нефтью или нефтепродуктами загрязненную акваторию огораживают бонами и осуществляют сбор и удаление загрязнителей одним из возможных способов. Как отмечалось выше, продолжительность нахождения нефтесодержащих материалов на плаву зависит от их свойств: легкие находятся на плаву в течение достаточно продолжительного времени, более тяжелые постепенно начинают тонуть – вплоть до осаждения на дно.

Любая технология является более жизнеспособной тогда, когда удаляемый загрязнитель находится на плаву. В случае, когда нефтепродукты находятся в толще воды или осели на дно, процесс очистки водных объектов должен включать в себя дополнительный этап, обеспечивающий вскрытие отдельных «фракталов» на водную поверхность. Подъем нефтепродуктов, находящихся в толще воды, не достигших дна, предлагается осуществлять аэрированием толщи воды подачей сжатого воздуха в придонную зону. Образующиеся

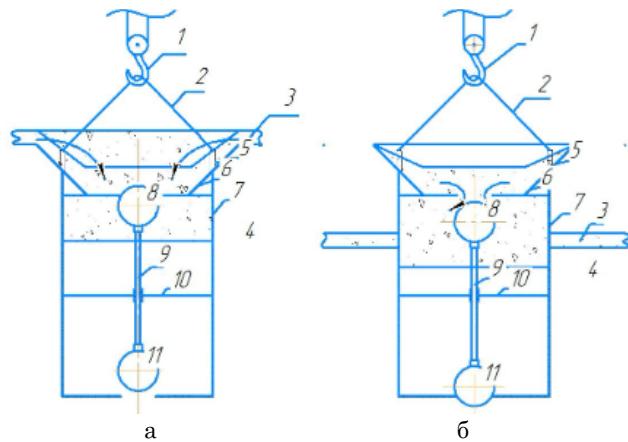


Рис. 4. Устройство для удаления разлива «тяжелых» нефти и нефтепродуктов с водной поверхности:
а – процесс погружения; б – процесс подъема

(1 – крюк плавучего подъемно-транспортного средства; 2 – стропы; 3 – нефтепродукты; 4 – морская вода; 5 – загрузочный раструб; 6 – диафрагма; 7 – корпус (цилиндр); 8 – верхний шар клапанной системы; 9 – шток; 10 – опорная крестовина; 11 – нижний шар клапанной системы)

Fig. 4. Device for removing the spill of “heavy” oil and oil products from the water surface:
a – immersion process; b – lifting process;
1 – hook of a floating lifting and transporting vehicle;
2 – slings; 3 – oil products; 4 – seawater; 5 – feed socket;
6 – diaphragm; 7 – housing (cylinder);
8 – upper ball of the valve system; 9 – plunger;
10 – supporting crosspiece;
11 – lower ball of the valve system

пузырьки воздуха в придонной зоне, поднимаясь вверх, налипают на отдельные «фракталы», находящиеся в толще воды, повышают их плавучесть и поднимают их на поверхность. Подъем нефтепродуктов, находящихся на дне, осуществляют подачей водо-воздушной струи в придонную зону, которая при ударе о дно разрушает слежавшиеся нефтепродукты на более мелкие «фракталы». При этом струя воды, разрушая мазут, отмывает его от песка, а воздух, прилипая к облегченным «фракталам», поднимает их наверх. После всплытия на поверхность тяжелые нефтепродукты удаляют соответствующим способом (рис. 4).

Существуют источники диффузного (рассредоточенного) распространения нефтяных загрязнений, постоянно перемещающиеся по акватории моря, приносимые ветром в прибрежную зону и выбрасываемые прибоем на берег (рис. 5а) [11].

Предотвратить загрязнение береговой линии нефтезагрязнителями, выбрасываемыми ветровым нагоном со стороны моря, практически не всегда удается. Наибольшую проблему при очистке загрязненных территорий создают замазученные нефть и нефтепродукты, обладающие высокой степенью налипания (адгезией). С учетом этого процессы очистки зависят и от вида

горных пород, слагаемых береговую линию, на которые были выброшены загрязнители. Это могут быть несвязные (пески), связные (суглинки и супеси) грунты или скальные породы.

Очистку песчаных берегов осуществляют удалением вручную, сгребанием нефтепродуктов с замазученным песком в мешки для последующего удаления из зоны загрязнения (рис. 5б). В этом случае нефтепродукты и замазученный песок, удаляемые с пляжей, целесообразно временно размещать на специально подготовленных площадках, минимизирующих негативное воздействие опасного отхода на окружающую среду. Учитывая временный характер размещения опасного отхода, замазученный песок можно непосредственно использовать при приготовлении асфальта или обезвредить его термически, обжигая во вращающихся печах цементного типа либо в пиролизных установках, оборудованных устройствами очистки отходящих газов в процессе обжига и пиролиза. Очищенный песок возвращать на пляж не рекомендуется.

Очистка территорий, представленных скальными породами, галькой и щебнем, а также связными породами грунтов, требует проведения дополнительных исследований.



Рис. 5. Очистка береговой линии после выброса мазута в прибрежную зону:
а – сбор мазута вместе с песком и затаривание в мешки вручную;
б – собранные нефтепродукты с песком в мешках

Fig. 5. Cleaning of the coastline after the release of fuel oil into the coastal zone:
a – collecting fuel oil together with sand and packing it into bags manually; b – collected oil products with sand in bags

Выводы

1. Действующая модель устройства для очистки акваторий от нефтепродуктов прошла лабораторные испытания, которые показали ее жизнеспособность. Таким образом, она может быть рекомендована для очистки и защиты водной поверхности от легких нефлей, плотность которых не превышает $0,82-0,87 \text{ г}/\text{cm}^3$, относящихся к вязким жидкостям.

2. Разработанные рабочее устройство и технология для очистки водных объектов от «тяжелой» нефти, замазученных нефтепродуктов и мазута, обладающих плотностью более $0,87 \text{ г}/\text{cm}^3$, способны собирать с водной поверхности нефтепродукты, мелкие сгустки мазута в виде отдельных «фракталов», первоначально находящихся на плаву или поднятых на поверхность, ранее ушедших под воду или осевших на дне.

Список использованных источников

1. Двадненко М.В. / Воздействие нефти на окружающую среду / М.В. Двадненко, Р.В. Маджигатов,

References

1. Dvadnenko M.V. / Impact of oil on the environment / M.V. Dvadnenko, R.V. Madzhigatov, N.A. Rakityansky

Н.А. Ракитянский // Международный журнал экспериментального образования. 2017. № 3-1. С. 89-90. EDN: YFUIGV

2. Башкин В.Н. Аварийные разливы углеводородов в водную среду: проблемы и пути их решения / В.Н. Башкин, Р.В. Галиуллин, Р.А. Галиуллина // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2010. Вып. 11. С. 4-7. EDN: NBIDIL

3. Собгайда Н.А. Новые углеродные сорбенты для очистки воды от нефтепродуктов / Н.А. Собгайда, А.И. Финаенов // Экология и промышленность России. 2005. Вып. 12. С. 8-11. EDN: JXUJWB

4. Панкеев В.В. Модификация целлюлозосодержащих отходов, обеспечивающая создание сорбентов с высокой удельной нефтеемкостью / В.В. Панкеев, Л.Г. Панова, Е.С. Свешникова // Технические науки – от теории к практике. 2012. Вып. 7-2. С. 59-63. EDN: JXUJWB

5. Xue J. Marine Oil-Degrading Microorganisms and Biodegradation Process of Petroleum Hydrocarbon in Marine Environments: A Review / J. Xue, Y. Yu, Y. Bai // Current microbiology. 2015. Т. 71, V. 2. P. 220-228.

6. Куликова И.Ю. Микробиологические способы ликвидации последствий аварийных разливов нефти в море / И.Ю. Куликова, И.С. Дзержинская // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2008. Вып. 5. С. 24-29.

7. Серебренникова М.К. Биологические способы очистки нефтезагрязненных сточных вод (обзор) / М.К. Серебренникова, М.С. Тудвасева, М.С. Куюкина // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2015. Вып. 1. С. 15-30. EDN: TYWGAX

8. Патент на изобретение РФ № 2178039. Устройство для сбора нефтяного загрязнения с поверхности водоема / Сметанин В.И., Авинель В.И. Дата подачи заявки: 30.05.2000; Дата начала действия: 30.05.2000; Дата публикации: 10.01.2002.

9. Малкин А.Я., Исаев А.И. Реология. Концепции, методы, приложения. – М.: Профессия, 2007. 560 с. ISBN 978-5-93913-139-1, 1-895198-33-X

10. Малкин А.Я., Сафиева Р.З. Реология нефти и нефтепродуктов: Теория и практика. Учебник. М.: Профессия, 2019. 178 с.

11. Лыжин И.Д. Нефтяные выбросы в Чёрное море как техногенная катастрофа / И.Д. Лыжин. Текст: непосредственный // Молодой ученый. 2025. № 21 (572). С. 150-153. URL: <https://moluch.ru/archive/572/125647/>.

// International Journal of Experimental Education. 2017 No 3-1. P. 89-90. EDN: YFUIGV

2. Bashkin V.N. Emergency spills of hydrocarbons in the water environment: problems and ways of their solution / V.N. Bashkin, R.V. Galiulin, R.A. Galiulina // Environmental protection in the oil and gas industry. 2010. Iss. 11. P. 4-7. EDN: NBIDIL

3. Sobgayda N.A., Finaenov A.I. New carbon sorbents for water purification from oil products / N.A. Sobgayda, A.I. Finaenov // Ecology and Industry of Russia. 2005. Iss. 12. P. 8-11. EDN: JXUJWB

4. Pankeev V.V. Modification of cellulose-containing waste, ensuring the creation of sorbents with high specific oil capacity / V.V. Pankeev, V. V., V.V. Panova, L.G. Panova, E. Sveshnikova // Technical sciences – from theory to practice. 2012. Iss. 7-2. P. 59-63. EDN: JXUJWB

5. Xue J. Marine Oil-Degrading Microorganisms and Biodegradation Process of Petroleum Hydrocarbon in Marine Environments: A Review / J. Xue, Y. Yu, Y. Bai // Current microbiology. 2015. Т. 71, V. 2. P. 220-228.

6. Kulikova I.Yu. Microbiological methods of liquidating the consequences of emergency oil spills in the sea / I.Yu. Kulikova I.S. Dzerzhinskaya. 2008. Iss. 5. P. 24-29.

7. Serebrennikova M.K. Biological methods of cleaning oil-contaminated wastewater (review) / M.K. Serebrennikova, M.S. Tudvaseva, M.S. Kuyukina // Bulletin of Perm University. Series: Biology. 2015. Iss. 1, P. 15-30. EDN: TYWGAX

8. Patent for the invention of the Russian Federation No 2178039 Device for collecting oil pollution from the surface of a water body / Smetanin V.I., Avinell V.I. Application date: 30.05.2000; Effective date: 30.05.2000; Date of publication: 10.01.2002.

9. Malkin A.Ya., Isaev A.I. Rheology. Concepts, methods, applications. – Moscow: Profession, 2007. – 560 p. ISBN 978-5-93913-139-1, 1-895198-33-X

10. Malkin A.Y., Safieva R.Z. Rheology of Oil and Petroleum Products: Theory and Practice. Moscow: Profession, 2019. 178 p.

11. Lyzhin I.D. Oil emissions into the Black Sea as a technogenic catastrophe / I.D. Lyzhin. Text: immediate // Young scientist. 2025. № 21 (572). P. 150-153. URL: <https://moluch.ru/archive/572/125647/>.

Об авторах

Владимир Иванович Сметанин, д-р техн. наук, профессор; ORCID iD: 0009-0004-0134-1234; smetanin2000@yandex.ru

Виктор Александрович Шевченко, академик РАН, д-р с.-х. наук, профессор, директор ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», SPIN-код: 8028-2743; ORCID: 0000-0002-5444-9693; ID РИНЦ 479685; Scopus Author ID 57209792752; WOS Research ID A-8909-2016; shevchenko.v.a@yandex.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Сметанин В.И., Шевченко В.А. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

Вклад авторов / Contribution of the authors

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Статья поступила в редакцию / The article was received the editorial office on 28.08.2025

Одобрена после рецензирования / Accepted for publication on 28.10.2025

Принята к публикации после доработки / Approved after review on 28.10.2025

About the authors

Vladimir I. Smetanin, DSs (Tech), Professor; ORCID iD: 0009-0004-0134-1234; metanin2000@yandex.ru

Victor A. Shevchenko, DSs (Agro), RAS academician, professor, director of FSBSI FNC "VNIIGiM named after A.N. Kostyakov"; SPIN-code: 8028-2743; ORCID: 0000-0002-5444-9693; ID РИНЦ 479685; Scopus Author ID 57209792752; WOS Research ID A-8909-2016; shevchenko.v.a@yandex.ru

Smetanin V.I., Shevchenko V.A. performed practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have the copyright for the article and are responsible for plagiarism.