

УДК 504.05:665.63

В. М. Мелкозеров, С. И. Васильев, А. Я. Вельп, Р. Н. Крылышкин*

ЭФФЕКТИВНАЯ ЛИКВИДАЦИЯ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПОЛИМЕРНЫХ СОРБЕНТОВ

Приведены рекомендации выбора схемы бонового заграждения, используемого при локализации пролива нефти или нефтепродукта на реке, рассмотрена методика расчета основных параметров бонового заграждения и судна нефтесборщика при ликвидации пролива нефти на реке.

Ключевые слова: сорбент, поглощающая способность, судно-нефтесборщик, нефтесборные устройства, боновые заграждения, вертикальный шлейф, горизонтальный шлейф, нефтепоглощающие маты.

В процессе производственной деятельности нефтяной, химической отрасли наиболее распространенными загрязнениями объектов окружающей среды являются углеводородсодержащие соединения, как-то: сырая нефть, газовый конденсат, мазут, машинное и моторное масла, дизельное и авиационное топлива, бензин, керосин и др. (далее – нефтепродукты), а также растворители и кислоты.

При ликвидации загрязнений только механическими и физико-химическими способами не всегда достигается должный эффект, так как зачастую возникает проблема утилизации отходов, образующихся после очистки. Использование современных технологий гарантирует максимальное извлечение нефтепродуктов; при этом ни в качестве промежуточных,

ни в качестве конечных продуктов токсичные вещества не образуются.

Применение технических средств: нефтесборщиков, бон, мобильного комплекса для получения и нанесения полимерных сорбентов серии Униполимер-М в зоне аварий, а также полимикробных сорбентов Униполимер-Био, основанных на использовании биопрепаратов, в том числе аборигенных, является перспективным способом ликвидации загрязнений. Предлагаемый способ отличают высокая степень очистки, экономичность, простота, надежность и экологичность; кроме того, он удачно комбинируется с механическими, термическими, биологическими и физическими способами.

Наиболее эффективными являются сорбционные способы очистки нефтезаг-

* - автор, с которым следует вести переписку.

ряженных грунтов и гидросферы с применением многофункциональных полимерных сорбентов с дифференцированной нефтеемкостью серии Униполимер-М, Униполимер-Био, агрохимикат Меном, Униполисорб-М, мультисорбент, а также очистка биопрепаратами, широко применяемыми для ликвидации нефтяных загрязнений.

Согласно технологическим схемам работ, в каждом конкретном случае технология ликвидации аварии должна учитывать условия окружающей среды и осуществимость конкретных технологических операции по локализации и сбору нефти на воде, защите и очистке берега.

Технологическая схема действий в условиях малых и средних рек включает следующие этапы:

Подготовительный этап. Оценка потенциальной опасности работ и района аварии по воздействиям на водопользователей и условиям проведения работ по ликвидации аварийных разливов нефти. Проведение мероприятий по снижению опасности ликвидационных работ. Устройство технологических площадок и размещение на них оборудования (техсредств) и материалов.

Основной и заключительный этап. Локализация аварийного разлива нефти боновыми заграждениями с полным перекрытием русла реки и проведением изоляции береговой полосы от нефти боновыми заграждениями, сорбционными бонами и изделиями из сорбента. Механический сбор нефти скиммерами и вакуумной установкой с закачкой собранного продукта в емкости временного хранения. Сбор нефти и очистка водной поверхности сорбентами. Очистка береговой полосы путем ручной уборки и механического сбора вакуумной установкой. Смывание нефти с береговой полосы с применением помпы.

Технологическая схема действий при ликвидации аварийных разливов нефти в прибрежных участках крупных рек и водоемов.

Подготовительный этап – аналогично подготовительному этапу действий при ликвидации аварийных разливов нефти в условиях малых и средних рек.

Основной и заключительный этап. Механический отвод и улавливание нефтяного пятна боновыми заграждениями в прибрежной зоне крупных рек и водоемов с изоляцией береговой полосы от нефти боновыми заграждениями, сорбционными бонами и изделиями из сорбента. Механический сбор нефти скиммерами и вакуумной установкой с закачкой собранного продукта в емкости временного хранения. Сбор нефти и очистка водной поверхности сорбентами. Очистка береговой полосы путем ручной уборки и механического сбора вакуумной установкой. Смывание нефти с береговой полосы с применением помпы и сорбционная очистка береговой полосы. Утилизация собранного продукта, нефтезагрязненных почвогрунтов и использованных материалов, и демонтаж и очистка оборудования.

Локализация аварийного разлива нефти боновыми заграждениями с частичным или полным перекрытием русла рек согласно расчету длины боновых заграждений и угла их установки.

Расчеты даны согласно «Методике расчета сил и средств для восстановления подводного трубопровода и ликвидации аварийного разлива нефти при аварии на подводных переходах магистральных нефтепроводов».

По данной методике теоретически длина боновых заграждений должна быть достаточной, чтобы перекрыть, начиная от берега, стрежень реки. Это правило основано на свойстве потока нефти оставаться в одной и той же части реки, не пересекая стрежень, за исключением рек с перекатами. Для выполнения этого условия зададим коэффициент перекрытия $2/3$, используя который, определим часть ширины реки, перекрываемой боновыми заграждениями.

Боновые заграждения рекомендуется устанавливать на акватории реки под уг-

лом к берегу, у которого предполагается производить сбор разлившейся нефти.

Угол установки бонов предлагается определять, исходя из их способности удерживать нефть при нормальной составляющей скорости реки к БЗ не более 0,3 м/с, по формуле:

$$\alpha = \arcsin v_b/v_p = \arcsin 0.3/v_p, [\text{градусы}] \quad (1)$$

Расчетные углы установки боновых заграждений и соответствующие им харак-

теристики бонов для разных скоростей реки приведены в табл. 1.

Длина боновых заграждений вычисляется по формуле:

$$L_b = 2Bp / 3 \sin \alpha \quad (2)$$

В табл. 2 представлены результаты расчета длин боновых заграждений для рек с шириной до 500 м при расчетных углах установки боновых заграждений, определенных по формуле 2.

Таблица 1

Скоростной напор для БЗ, v_b	Скорости реки на стрежне, м/сек											
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
	Угол установки бонов по отношению к берегу, градусы											
0.1	19	14	11									
0.2	38	29	23	19	16	14	13	11				
0.3	60*	44	35	29	25	22	19	17	14	12	11	10
	Зона уверенной установки						Зона соблюдения расчетных углов					

* – угол установки боновых заграждений более 60^0 выбирается только при полном перекрытии реки.

Таблица 1.2

α	Угол установки боновых заграждений, градус									
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
Ширина Реки	Суммарная длина боновых заграждений, м									
30	25	27	30	35	42	48	52	61	69	77
100	83	89	100	118	140	160	172	203	231	258
200	166	179	200	235	279	319	344	406	462	515
300	249	268	300	352	418	478	515	609	693	773
400	332	357	400	470	558	638	687	812	924	1031
500	415	447	500	587	697	797	859	1015	1155	1288

Расчет объема разлившейся нефти, удерживаемой боновыми заграждениями.

Боновое заграждение [2] снижает скорость движения нефти, сдерживая ее дальнейшее распространение вниз по течению, тем самым обеспечивая локализацию разлившейся нефти. Объем нефти, удерживаемой боновым заграждением, рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{дн.}} = K_v \cdot K_z \cdot Bp \cdot \text{ctg } \alpha = K_v \cdot K_z \cdot Bp \cdot \text{tg } \alpha, \text{ м}^3, \quad (3)$$

где K_v – коэффициент влияния скорости ветра и параметров бонового заграждения. Для оценочного расчета принимается усредненное значение $K_v = 0.03$.

K_z – коэффициент запаса, может быть от 0.3 до 0.7.

Для оценочного расчета принимается усредненное значение $K_z = 0.5$. Примечание: Формула 1 применена только для оценочных расчетов и будет работать при условиях: угол установки бонов выбирается по табл. 1, длина боновых заграждений позволяет перекрыть без разрывов под этим углом две трети ширины реки.

В табл. 2 представлены результаты расчета объема нефти, удерживаемой боновыми заграждениями, без учета коэффициента запаса.

Таблица 2

Ширина реки, м	Угол установки боновых заграждений, градус						
	40	35	30	25	20	15	10
	Объем, удерживаемой нефти боновым заграждением, м						
30	3	4	5	6	8	11	16
100	39	47	56	70	91	122	183
200	157	188	227	280	366	488	733
300	353	424	512	631	825	1100	1650
400	628	754	910	1123	1466	1955	2933
500	982	1178	1422	1755	2291	3055	4583

Примечание: Расчет объема удерживаемой нефти сделан при условии, что боновое заграждение удерживает нефть, при нормальной составляющей скорости верхнего слоя реки к бонам, 0.16 м/сек. Расчетное значение объема локализуемой нефти уменьшается на коэффициент запаса с учетом метеоусловий и гидрологической характеристик реки. Коэффициент запаса учитывает случайные факторы, мешающие локализации. Рекомендуются выбирать K_z в пределах 0.3 – 0.7.

Время заполнения нефтью территории, ограниченной боновыми заграждениями t_z , определяется по формуле:

$$t_z = V_{лн} \rho_n / (\nu_p \cdot N), \quad (4)$$

где ρ_n – плотность нефти, кг/м³; N – линейная плотность нефти на воде, кг/м.

Определение числа рубежей локализации.

Число рубежей локализации определяется с учетом объема вытекающей нефти и гидрологических особенностей подводного перехода. Если объем вытекшей нефти, определяемый по табл. 2.1, превышает расчетный объем, который способны удержать боновые заграждения на первом рубеже (табл. 1.2.), назначаются дополнительные рубежи локализации. Общее количество рубежей рассчитывается по формуле:

$$K_p = V_{\Sigma} / V_{лн}, \quad (5)$$

где V_{Σ} – суммарный объем утечки; $V_{лн}$ – объем нефти, удерживаемый одним рубежом, с последующим округлением до целого числа в большую сторону. Если K_p больше трех, то число рубежей задержания принимается равным трем (один из них стационарный, с стопроцентным перекрытием реки во время аварии). Число назначаемых рубежей должно быть не менее двух.

Общая длина боновых заграждений определяется по формуле:

$$L_{общая} = K_p L_{б}, \quad (6)$$

где $L_{б}$ – длина боновых заграждений на одном рубеже (табл. 1.2).

Расчет необходимого объема сорбентов.

Количество сорбента в виде ковриков, пластин, сыпучих гранул и порошка рассчитывается, исходя из длины боновых заграждений и заданной ширины полосы установки сорбентов:

$$L_{пс} = L_{б} B_{об} / B_{ср}, \quad (7)$$

где $L_{пс}$ – общая длина полосы пластин из волокнистого сорбента; $L_{б}$ – общая длина боновых заграждений; $B_{об}$ – общая ширина полосы установки из волокнистого сорбента; $B_{ср}$ – ширина пластины волокнистого сорбента.

Количество сорбента в виде порошка рассчитывается по заданной величине

сбора части суммарного объема вылившейся нефти, по формуле:

$$P_{пр с} = N_{ч} / 100 V_{\Sigma} \cdot \rho_{н} / C_{сп}, \text{ [кг]}. \quad (8)$$

где V_{Σ} – суммарный объем вылившейся нефти, м^3 ; $\rho_{н}$ – плотность нефти, $\text{кг}/\text{м}^3$; $N_{ч}$ – процент собираемой сорбентом нефти, в %; $C_{сп}$ – сорбционная способность сорбента, $\text{кг}/\text{кг}$.

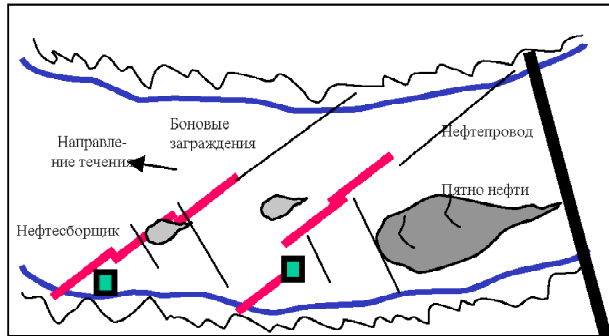


Рис. 3. Каскадная схема установки боновых заграждений с применением троса, береговых оттяжек.

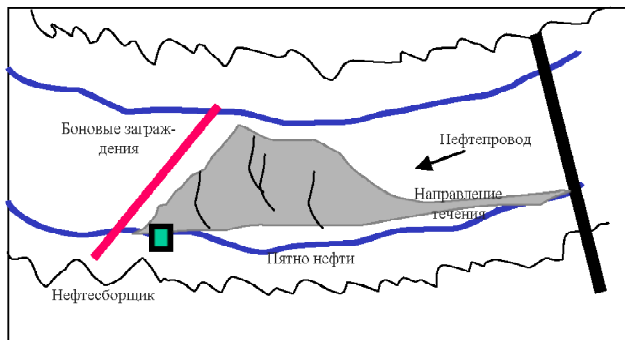


Рис. 4. Схема установки боновых заграждений со стопроцентным перекрытием русла реки.

Способы применимы для малых и средних водотоков со скоростями течения до 1,0 м/с и шириной до 200 м. На узких реках (до 70 м) при скоростях течения до 0,4-0,5 м/с возможно реализация схемы постановки боновых заграждений со стопроцентным перекрытием русла с применением прикрепленного к береговому якорю натяжного троса (каната), на реках более широких, до 200 м, и скоростях течения до 1,0 м/с применяется каскадная схема постановки бонов с применением троса и береговых оттяжек.

Порядок технологических операции по локализации нефти боновыми загражде-

ниями с полным перекрытием русла водотока.

Определить места (контрольные точки управления) развертывания улавливающих бонов, условия доступа к ним и подхода с воды. Наиболее эффективно боновые заграждения работают при глубине воды в пять раз больше, чем длина «юбки» (подводной части). Определить гидрологические характеристики реки: ширина и глубина, скорость течения и состояние русла и берега. Определить схему постановки боновых заграждений с учетом гидрологических характеристик и состояния берега. Возможный угол установки A , длина L боновых заграждений, объем разлившейся нефти V , удерживаемый боновыми заграждениями, принимаются в соответствии с приложением.

После установки угла постановки бонов и места расположения берегового якоря выбирают место установки нефтесборщика. Для удобства работ выбирают место ближе к берегу, насколько позволяет глубина реки.

Доставленные к береговой полосе боновые заграждения собирают по секциям и раскладывают вдоль берега, от места расположения нефтесборщика вверх против течения. Количество секций в боновых заграждениях устанавливается согласно приложению.

Для изоляции береговой линии от нефти в местах установки скиммера производят сборку береговых изоляционных бонов, а иногда и запасного бонового заграждения.

Прикрепив к боновому заграждению трос, с помощью лодки переправляют один конец троса на противоположный берег и, используя тяговые усилия рабочих и энергию течения реки, устанавливают боновые заграждения под заданным углом и крепят к береговому якорю.

Одновременно производится сборка доставленного к месту установки скиммера с центробежным насосом и системой рукавов, затем скиммер спускается в воду и крепится с одной стороны к линии

бонового заграждения, со второй стороны – к береговому бону для изоляции берега.

От нефтесборщика на поплавках прокладываются откачивающиеся шланги к разборной емкости для временного хранения собранной нефти. Одновременно производят сборку разборной емкости для хранения. В такой же последовательности устанавливается при необходимости вторая линия боновых заграждений и т. д. Порядок технологических операций по локализации нефти боновыми заграждениями с частичным перекрытием русла водотока при каскадной схеме установки боновых заграждений. При скорости течения больше 0,4-0,6 м/с используется способ установки боновых заграждений с применением троса и береговых оттяжек. Порядок установки тот же, что и при схеме установки боновых заграждений с полным перекрытием русла. После того, как боновые заграждения разложили вдоль берега, необходимо прикрепить к замкам боновых заграждений береговые поводки оттяжек. Далее, после установки боновых заграждений под заданным углом необходимо забить опоры и прикрепить к ним оттяжки. Порядок установки скиммера и разборного резервуара аналогичен предыдущей схеме установки.

Механический отвод и улавливание нефтяного пятна боновыми заграждениями в прибрежной зоне крупных рек и водоемов.

Способ применим для средних и крупных рек со скоростями течения до 1,0-1,5 м/с, шириной более 100 м, и прибрежных зон водоемов. Возможные схемы постановки: каскадная схема с применением троса и донных якорей, V-образная схема с применением троса и донных якорей, схема установки направляющих бонов с помощью донных якорей, двухъярусная схема установки боновых заграждений с помощью троса и донных якорей.

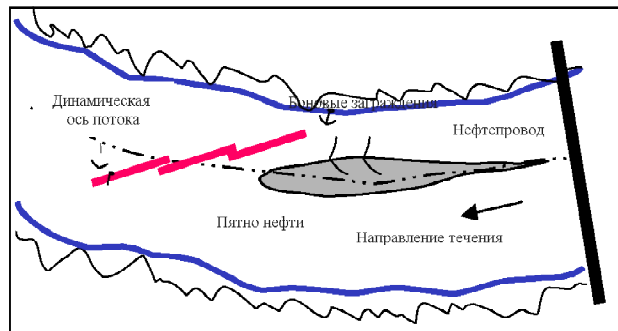


Рис. 5. Схема установки отбойно-направляющих боновых заграждений для смещения нефтяного пятна к берегу в зону малых скоростей.

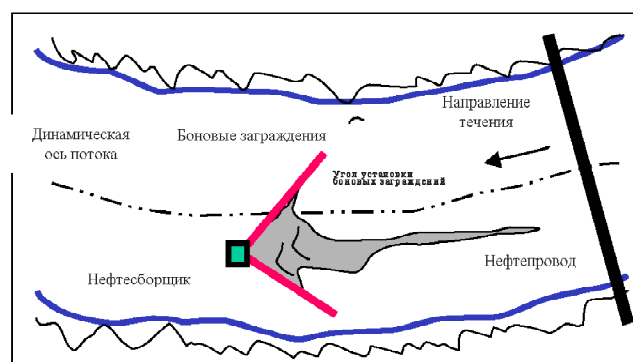


Рис. 6. Полупроточный вариант установки боновых заграждений V-образным способом. Устанавливаются в комплекте с нефтесборщиком высокой производительности на широких реках (более 300 м).

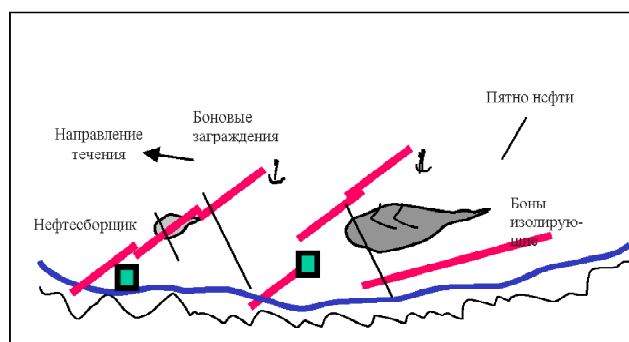


Рис. 7. Каскадная схема установки боновых заграждений с применением троса, береговых оттяжек и донных якорей в береговой зоне водоемов и крупных рек.

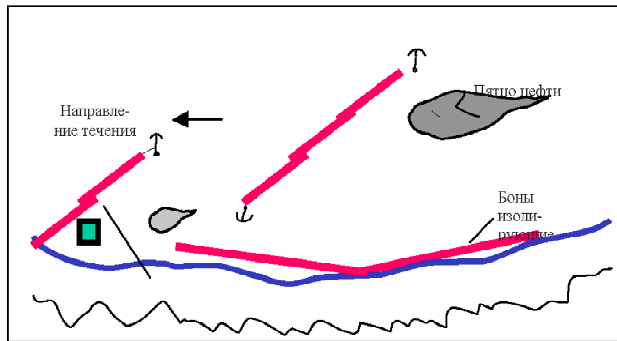


Рис. 8. Двухъярусная схема установки боновых заграждений с применением троса, береговых оттяжек и донных якорей в береговой зоне водоемов и крупных рек.

Порядок установки боновых заграждений с помощью троса и донных якорей такой же, как и прикаскадной схеме с применением натяжного троса и береговых оттяжек, но в этом случае второй конец боновых заграждений крепится не на берегу, а с помощью донного якоря. Донный якорь прикрепляется через трос (канат) к нижней части замка бонового заграждения и грузится в лодку. Лодка отходит от берега и буксирует заданное количество секций на определенное заранее расстояние и натягивает линию бонового заграждения, далее забрасываются якорь с тросом. Для контроля места нахождения и возможности снятия якоря к нему крепится буй яркого цвета.

При скоростях течения более 1,0 м/с следует работать осторожно т. к. в этих условиях не всегда можно легко закрепить якорь на дне. В такой же последовательности устанавливается вторая линия бонового заграждения.

При двухъярусной схеме установки боновых заграждений на реках со скоростью течения более 0,6 м/с и шириной болсе 100 м порядок установки первой линии боновых заграждений такой же, как при каркасной схеме установки боновых заграждений с применением натяжного троса, береговых оттяжек и донных якорей. Вторая линия боновых заграждений устанавливается далее вверх против течения, для этого собирается необходимое количество секций направляющих бонов. Один конец прикрепляется к дон-

ному якорю через трос и грузится на лодку. В лодку грузятся и второй якорь с тросом. Второй конец линии бонов прикрепляется к канату и остается на берегу. Лодка буксирует линию бонов до расчетной точки и бросает донный якорь с тросом. Положение второго окончания линии боновых заграждений корректируется натяжением каната с берега с учетом перекрытия струй течения. Окончательное положение линии боновых заграждений корректируется с лодки, после этого производится установка второго донного якоря. Учитывая нагрузки от усилий буксировки, течения, ветра и волн длина каждой линии не должна превышать 100 м.

Для более удобной установки бонов по этой схеме необходимо иметь два плавсредства. В этом случае собранная вторая линия боновых заграждений буксируется выше кромки первой линии до расчетной точки. Нижний конец бонового заграждения заводится выше и левее якоря первой линии и с учетом перекрытия струй течения бросается нижний якорь. Верхняя лодка отклоняется вправо до расчетной точки и бросает якорь от верхнего конца бонового заграждения. Вторая линия должна быть установлена так же под расчетным углом к направлению течения.

Определить места установки отбойно-направляющих или улавливающих бонов и условия доступа к ним или подхода с воды, гидрологические характеристики водоема: ширина и глубина, состояние водной поверхности, дна и берега, схему постановки боновых заграждений с учетом гидрологических характеристик водоема – ширины, глубины, состояния дна и береговой полосы.

Порядок установки линии отбойно-направляющих бонов такой же, как при установке второй линии двухъярусной схемы установки боновых заграждений.

На крупных реках с изменяемой шириной русла возможно применение V-образной схемы установки улавливающих боновых заграждений с помощью донных якорей в местах возможного про-

хождения нефтяного пятна и близких от берега.

Механический сбор нефти скиммерами и вакуумной установкой с закачкой собранного продукта в емкости временного хранения и изоляция береговой полосы от нефти заградительными болами, сорбционными изделиями из сорбента Униполимер-М с применением мобильного комплекса.

Доставленные к береговой полосе боновые заграждения собирают посекционно и раскладывают вдоль берега, вверх против течения от места расположения нефтесборщика. Количество секций в боновом заграждении устанавливается, исходя из протяженности защищаемой береговой полосы.

Эффективность сорбционного сбора зависит от состояния нефти на водной поверхности и ветровых условий в местах аварийного разлива. Сорбционная очистка воды от нефти может осуществляться при любой толщине нефтяной пленки, и особенно эффективна по сравнению с механическим сбором сорбция тонких пленок.

Сорбенты наиболее эффективны для сбора легких и средних нефтепродуктов и свежих нефтей в местах небольшого их скопления.

При распылении применение ограничивается скоростью ветра. Точность нанесения сорбента на нефтяное пятно практически неосуществима при скорости ветра более 10 м/с. Сорбирующие боны и другие изделия достаточно эффективны при защите берега на участках с медленным течением, но необходимо проверять и заменять сорбирующий материал при насыщении нефтью.

Порядок технологических операций по сбору и очистке поверхности воды от нефти сорбентами и изделиями на его основе.

Перед началом работ необходимо произвести расчет массы разлитой на водной поверхности нефти согласно рекомендациям приложения, и определить необходимое количество сорбента. Провести

подготовительные работы: доставка к месту нанесения; погрузка при необходимости в плавсредство; очистка от кустарника путей подхода к воде и т. д.

Подготовить оборудование для распыления сорбента согласно инструкциям по применению, с последующей распаковкой и загрузкой сорбента в устройства для распыления. Нанести сорбент на пленку нефти с берега или с применением плавсредств, вручную или устройством для распыления. Для эффективного сбора нефти сорбенты рекомендуется наносить на локализованные и сфокусированные боновыми заграждениями пятна нефти. Для фокусировки пятен нефти и для эффективной очистки воды от нефти и использованного сорбента производится траление поверхности загрязненного участка сорбционными болами с использованием плавсредств.

При сильных волнениях воды сорбент может наноситься не на поверхность разлитой нефти, а в воду под разлитую нефть. Всплывая на поверхность воды, сорбент за 30-60 мин впитывает нефть снизу. Сбор насыщенного нефтью сорбента производится вручную сетчатыми лопатами или сетями, нефтесборщиками порогового типа или шнековыми насосами, другими устройствами.

Утилизация использованного сорбента Униполимер-М производится путем сжигания в специальных установках. При необходимости и наличии специальных полигонов производится размещение использованного сорбента для биологического обезвреживания согласно разработанной методике.

Возможно смывание нефти с береговой полосы с помощью мобильного комплекса и моющих растворов ПАВ, разработанных по специальной методике автора (объект know how).

Литература:

1. Мелкозеров М.Г., Васильев С.И., Батутина В.М. и др.: ред. Мелкозеров В.М. Охрана окружающей среды и ра-

циональное природопользование: справочник.

2. Мелкозеров В.М. Мелкозеров М.Г. Перспективные материалы технологии конструкции экономика: сб. науч. тр. – Красноярск, 2005. – С. 23-28

3. Мелкозеров В.М., Васильев С.И. Технология очистки нефтезагрязненных земель, водоемов, лесных угодий и других ландшафтов.

4. Мелкозеров В.М. и др. Патент №2158800 «Сорбирующая бона».

5. Мелкозеров В.М. Патент №2167060 «Установка для получения вспененных композиций».

6. Мелкозеров В.М. Патент №2184608 «Способ получения сорбентов».

7. Мелкозеров В.М. Патент №2186075 «Полимерная композиция для получения сорбентов».

8. Мелкозеров М.Г., Васильев С.И. и др. Технология очистки нефтезагрязненных земель и гидросферы Сибири с применением адсорбентов. Научно-технический журнал № 4, Москва, 2010