

УДК 579.222.2:665.637-032.61(470.21)

## Активизация микробиологических процессов окисления мазутных загрязнений грунтов

С.П. Месяц, А.Б. Шемякина

Горный институт КНЦ РАН

**Аннотация.** Сделано обоснование способа очистки грунтов от мазутных загрязнений внесением нефтеокисляющих микробиологических препаратов на сорбентах-носителях с последующим посевом многолетних трав под полимерным покрытием. В качестве сорбентов-носителей использовались сорбенты на основе природного сырья Мурманской области – диатомит, сорбент Версойл на основе вермикулита и вспученный вермикулит. Из выпускаемых нефтеокисляющих микробиологических препаратов по результатам работ предпочтение было отдано препаратам, состоящим из ассоциации углеводородокисляющих микроорганизмов.

**Abstract.** The method of ground treatment from black oil pollution by introducing petrooxidizing microbiological preparations on sorbents-carriers with the subsequent sowing of perennial herbs under a polymeric covering has been substantiated. Sorbents based on the natural raw materials of the Murmansk region were used as sorbents-carriers: diatomite, Versoil sorbent and bloated vermiculite. Basing on the research results of all the manufactured petrooxidizing microbiological preparations the ones consisting of association of hydrocarbon-oxidizing microorganisms have been chosen.

**Ключевые слова:** мазутные загрязнения, грунты, нефтеокисляющая микрофлора, сорбент-носитель, процессы биodeградации, активизация, посев трав, полимерное покрытие

**Key words:** black oil pollutions, grounds, petrooxidizing microflora, sorbent-carrier, biodegradation processes, activation, herbs sowing, polymeric covering

### 1. Введение

Нефтепродукты принадлежат к числу наиболее распространенных и опасных загрязнений природной среды как по объему поступления, так и по воздействию на экосистемы. Постоянное присутствие нефтепродуктов в различных компонентах геосферы позволяет сделать вывод о том, что процессы самоочистки не справляются с интенсивным загрязнением природной среды углеводородами нефтяного происхождения.

Одним из перспективных направлений в снижении нефтяных загрязнений, наряду с разработкой методов очистки, является изучение природных факторов самоочистки с целью активизации микробиологических процессов биodeградации нефтяных загрязнений.

Известно, что в процессах самоочистки природных сред от нефтяных загрязнений ведущую роль играют микроорганизмы. Они обладают высокой пластичностью, имеют мощные ферментные системы, благодаря которым загрязняющие вещества минерализуются и разрушаются.

Существует несколько подходов активизации процессов самоочистки природных сред от нефтяного загрязнения: внесение легкодоступных энергетических и питательных веществ, в частности, таких биогенных элементов как азот, фосфор, калий, для аборигенной углеводородокисляющей микрофлоры, а также внесение выделенных активных штаммов нефтеокисляющих бактерий из природных сред или сконструированных с помощью методов генной инженерии.

В последние годы две основополагающие идеи – использование микроорганизмов-деструкторов и их закрепление на сорбентах-носителях – произвели качественный скачок в биологической очистке вод и грунтов. Использование сорбентов-носителей нефтеокисляющей микрофлоры значительно сокращает период адаптации интродуцируемых штаммов.

Значительная удельная поверхность биопленки на сорбенте на несколько порядков снижает нагрузку по органическим веществам на единицу площади поверхности прикрепленных микроорганизмов. Это приводит к образованию специфической, качественно иной микрофлоры в составе биопленки, способной к более полному окислению загрязняющих веществ (Смирнов, 1982).

Для активизации микробиологических процессов биodeградации мазутных загрязнений на территории топливно-транспортного участка одного из предприятий Мурманской области был организован опытный полигон и определены следующие задачи:

- а) нейтрализация мазутного загрязнения на месте загрязнения;
- б) утилизация мазута из нефтеловушки.

## 2. Методы и результаты исследования, их обсуждение

При выборе микробиологических препаратов учитывалась их способность подвергать деструкции различные нефтепродукты, в первую очередь мазут, при этом предпочтение отдавалось препаратам, состоящим из ассоциации углеводородокисляющих микроорганизмов, а также работающим при низких температурах (от +5° С). Для исследований были выбраны микробиологические препараты, выпускаемые в промышленных масштабах: Деворойл, Биоойл, Дестройл.

Внесение нефтеокисляющей микрофлоры осуществлялось на сорбенте-носителе. В качестве сорбентов-носителей были выбраны сорбенты на основе природного сырья Мурманской области (диатомита и вермикулита), характеризующиеся развитой удельной поверхностью, биостойкостью и химической инертностью. Целесообразность применения этих сорбентов определяется наличием в Мурманской области разрабатываемых месторождений.

Диатомит представляет собой массовые скопления раковин диатомовых водорослей. В результате высокотемпературной обработки диатомовых отложений озер получается сорбент – диатомит с высокоразвитой поверхностью.

Вермикулит – это алюмосиликатный минерал, образующийся в результате выветривания магнезиально-железистых слюд, на основе которого получается сорбент нефти Версойл. Модификацией природного вермикулита на поверхности минеральной матрицы обеспечивается создание гидрофобного углеродсодержащего слоя. Гидрофобный характер поверхности Версойла обуславливает его способность адсорбировать значительное количество нефтепродуктов. Модификация вермикулита приводит к значительному увеличению удельного объема пор (от 0,8 см<sup>3</sup>/г у природного вермикулита до 4,3 см<sup>3</sup>/г у Версойла) и суммарной удельной поверхности (от 78 м<sup>2</sup>/г у природного вермикулита до 378 м<sup>2</sup>/г у Версойла) (Месяц, 2004).

При термообработке природного вермикулита получается вспученный вермикулит, имеющий гидрофильный характер поверхности.

Для снижения мазутных загрязнений грунтов сорбент Версойл и вспученный вермикулит могут быть использованы в смеси.

При нейтрализации мазутного загрязнения по месту загрязнения после внесения микробиологического препарата на сорбенте-носителе предусмотрен посев многолетних трав с покровной культурой с последующим созданием полимерного покрытия нанесением водных полимерных эмульсий.

Для изучения возможности снижения нефтяных загрязнений грунтов по месту загрязнения были определены площадки 1, 3, 4, 5, исходный уровень загрязнения на которых составил в среднем по площадкам 20 мг на грамм грунта. Содержание нефтепродуктов в пробах определялось флуориметрическим методом на Флюорате-02-2М (Другов, Родин, 2000).

В грунт площадки 1 был внесен нефтеокисляющий микробиологический препарат Деворойл на диатомитовом сорбенте-носителе с последующим посевом многолетних трав и покровной культуры под полимерным покрытием. На площадки 3, 4, 5 были внесены Биоойл, Дестройл, Деворойл соответственно на смеси сорбента Версойл и вспученного вермикулита.

В ходе ежемесячного мониторинга содержания нефтепродуктов в грунте площадок выявлено, что уже в первые 2 месяца на всех площадках наблюдается значительное снижение содержания нефтепродуктов (рис. 1). В конце вегетационного периода степень очистки в среднем по всем площадкам составила 95 % (табл. 1).

Таблица 1. Степень очистки грунта при внесении нефтеокисляющего микробиологического препарата на сорбенте-носителе по месту загрязнения

№ площадки	Характеристика площадок			Степень очистки, %
	Микробиологический препарат	Сорбент-носитель	Посев под полимерным покрытием	
1	Деворойл	Диатомит	С посевом	98,60
3	Биоойл	Версойл + Вспученный вермикулит	–	87,89
4	Дестройл	Версойл + Вспученный вермикулит	–	96,59
5	Деворойл	Версойл + Вспученный вермикулит	–	96,70

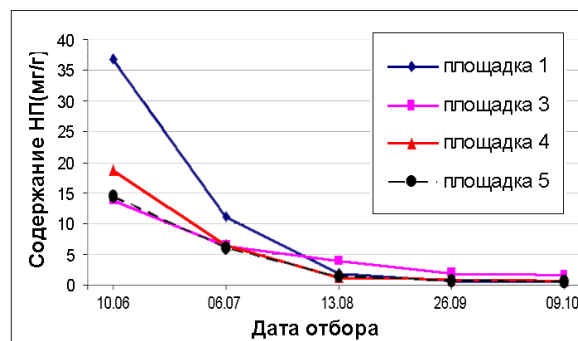


Рис. 1. Динамика снижения содержания мазутных загрязнений в грунте при внесении нефтеокисляющей микрофлоры на сорбенте-носителе по месту загрязнения

Рис. 2. Состояние площадки 1 на конец вегетационного периода. В грунт по месту загрязнения была внесена микрофлора на диатомитовом сорбенте с последующим посевом многолетних трав с покровной культурой под полимерным покрытием



Наибольшая степень очистки – 98,6 % – отмечена на площадке 1, куда вносился микробиологический препарат Деворойл на диатомитовом сорбенте-носителе с последующим посевом многолетних трав с покровной культурой и созданием полимерного покрытия. Полимерное покрытие обеспечивает более благоприятный гидротермический режим, что повышает активность микробиологических процессов окисления нефтепродуктов и способствует росту и развитию растений при наличии загрязнения. Для посева целесообразно подбирать растения с развитой корневой системой, которая разрыхляет уплотнившийся под воздействием мазутного загрязнения грунт и улучшает воздушный режим корнеобитаемого слоя, кроме того на микрофлору положительно влияют корневые выделения.

В конце вегетационного периода на площадке 1 наблюдался высокий и густой травостой (рис. 2), являющийся биоиндикатором, свидетельствующим о значительном уменьшении содержания нефтепродуктов в грунте.

Также высокая степень очистки отмечена при внесении Деворойла и Дестройла на смеси сорбента Версойл и вспученного вермикулита, чуть ниже – 87,89 % – при внесении в грунт на том же сорбенте-носителе микробиологического препарата Биоойл. Полученные результаты свидетельствуют о высокой активности всех нефтеокисляющих препаратов при внесении на сорбентах-носителях.

Утилизация 1400 л мазута из нефтеловушки осуществлялась следующим образом: мазут (по 200 л) смешивался с песком и нефтеокисляющей микрофлорой на сорбенте-носителе. Изучались 2 варианта укладки полученной смеси:

- на открытые площадки с водоупорным слоем;
- в бурты на поддоне.

Приготовленная смесь с нефтеокисляющей микрофлорой Деворойл, Дестройл и Биоойл на смеси Версойла и вспученного вермикулита наносилась на площадки 6, 7, 8 соответственно, слоем 5-10 см. По результатам анализа начальное содержание нефтепродуктов на этих площадках составило в среднем 70 мг/г.

Динамика и степень утилизации мазута на этих площадках по результатам мониторинга в течение вегетационного периода представлены на рис. 3 и в табл. 2.

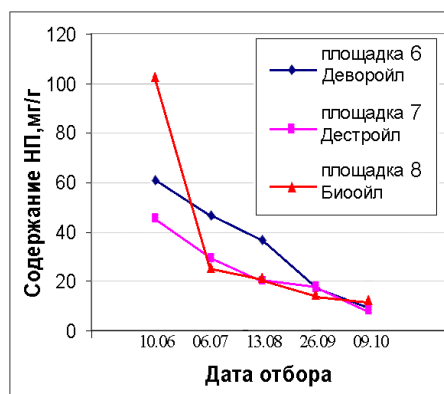


Рис. 3. Динамика утилизации мазута, перемешанного с песком и нефтеокисляющей микрофлорой на смеси сорбента Версойл и вспученного вермикулита, уложенного на открытые площадки (6, 7, 8) с водоупорным слоем

Таблица 2. Степень утилизации мазута из нефтеловушки на открытых площадках с водоупорным слоем

№ площадки	Микробиологический препарат	Сорбент-носитель	Степень утилизации, %
6	Деворойл	Версойл + вспученный вермикулит	84,18
7	Дестройл	Версойл + вспученный вермикулит	82,75
8	Биоойл	Версойл + вспученный вермикулит	87,50

Рис. 4. Состояние площадок с водоупорным слоем для утилизации мазута через месяц после посева многолетних трав



Рис. 5. Утилизация мазута, смешанного с песком и нефтеокисляющей микрофлорой на сорбенте-носителе, в буртах на поддоне



Динамика утилизации мазута на площадке с Биоойлом имеет более отчетливо выраженный характер, чем на площадках с Деворойлом и Дестройлом. Уже через месяц степень утилизации на площадке с Биоойлом составила 76 %, в конце вегетационного периода – 87,5 %.

Спустя месяц после начала работ по утилизации мазута на этих площадках был осуществлен посев многолетних трав с покровной культурой. Посев трав после длительного промежутка времени обусловлен высоким начальным содержанием нефтепродуктов, токсичным для растений. Поздний срок посева трав уменьшил и без того короткий вегетационный период Заполярья, в связи с чем травостой на площадках имеет небольшую высоту и полноту проективного покрытия ~ 50 % (рис. 4).

В варианте утилизации мазута при укладке в бурты мазут (по 200 л) смешивался с песком и нефтеокисляющей микрофлорой на сорбентах-носителях. В бурты 1, 2 был внесен Деворойл на Версойле и вспученном вермикулите соответственно. В бурты 3, 4 – Дестройл на тех же сорбентах.

После определения начального содержания нефтепродуктов в буртах, осуществлялся ежемесячный мониторинг динамики утилизации мазута, результаты которого представлены на рис. 6.

Спустя 2 месяца степень утилизации мазута во всех буртах составила в среднем 78 %.

В табл. 3 представлена степень утилизации мазута в буртах на конец вегетационного периода. Наибольшая степень утилизации мазута отмечена в бурте 3, в который был внесен микробиологический препарат Дестройл на сорбенте Версойл. При оценке эффективности работы каждого микробиологического препарата на разных сорбентах-носителях можно сделать выбор в пользу сорбента Версойл, так как бурты с внесением нефтеокисляющей микрофлоры на этом сорбенте-носителе отличаются наиболее высокой степенью очистки.

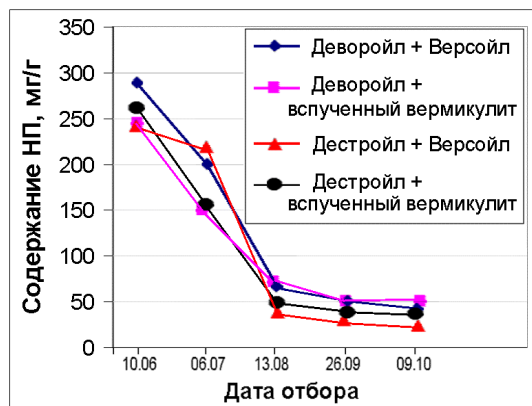


Рис. 6. Динамика утилизации мазута в буртах

Для определения микробиологического препарата, наиболее эффективного в отношении биодеструкции отработанного машинного масла, заложены бурты 5 и 6, в которые были внесены соответственно Дестройл и Деворойл на вспученном вермикулите.

В буртах с отработанным машинным маслом отмечается более низкая, по сравнению с мазутом, степень утилизации (59,06 % и 65,8 %), так как отработанное машинное масло является более сложным для биодеструкции нефтепродуктом. При этом степень утилизации выше при внесении микробиологического препарата Деворойл, который является ассоциацией нескольких видов углеводородокисляющих бактерий, ориентированных на окисление разных классов нефтепродуктов, в отличие от препарата Дестройл, представляющего собой монокультуру (табл. 3).

Таблица 3. Степень утилизации мазута в буртах

№ бурта	Объект утилизации	Микробиологический препарат	Сорбент-носитель	Степень утилизации, %
1	Мазут	Деворойл	Версойл	85,89
2		Деворойл	вспученный вермикулит	78,83
3		Дестройл	Версойл	89,93
4		Дестройл	вспученный вермикулит	85,44
5	Отработанное машинное масло	Дестройл	вспученный вермикулит	59,06
6		Деворойл	вспученный вермикулит	64,80

### 3. Заключение

Результаты работ по активизации процессов биодegradации мазутных загрязнений грунта топливно-транспортного участка одного из предприятий Мурманской области показали:

- все нефтеокисляющие микробиологические препараты показали высокую активность при внесении их на сорбентах-носителях как при очистке мазутных загрязнений по месту загрязнения, так и при утилизации мазута из нефтеловушки;
- наиболее эффективным способом очистки грунта от мазута по месту загрязнения является внесение нефтеокисляющей микрофлоры на сорбенте-носителе с последующим посевом многолетних трав под полимерным покрытием (степень очистки 98,60 %);
- степень утилизации мазута из нефтеловушки примерно одинакова как в буртах, так и на открытых площадках;
- при утилизации мазута на открытых площадках с водоупорным слоем лучший результат показал микробиологический препарат Биоойл (87,5 %);
- при утилизации мазута в буртах лучшие результаты получены при внесении нефтеокисляющей микрофлоры Дестройл (степень утилизации 89,93 %);
- использование в качестве сорбента-носителя нефтеокисляющей микрофлоры Версойла обеспечивает наибольшую степень утилизации мазута;
- отработанное машинное масло подвергается утилизации микроорганизмами труднее.

### Литература

- Другов Ю.С., Родин А.А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. Практическое руководство. СПб., Изд-во ООО "Анатолия", с.166-174, 2000.
- Месяц С.П. Версойл – природный сорбент для снижения нефтяных загрязнений. Наука Москвы и регионов, № 2, с.64-70, 2004.
- Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. Л., Химия, 168 с., 1982.