

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕСТРУКЦИИ НЕФТИ В ИЛАХ АЭРАЦИЕЙ

Приведены результаты лабораторного эксперимента по изучению деструкции нефти в илах в присутствии червей-лимнодрилусов в условиях искусственной аэрации воды. В присутствии червей-лимнодрилусов в нефтезагрязненных илах и при круглосуточной аэрации воды (при температуре 21–23°C) были созданы наиболее оптимальные условия для прохождения очистных процессов ила от нефти. К концу эксперимента содержание нефти составляло относительно исходного грунта 69%. Установлено, что в результате жизнедеятельности червей-лимнодрилусов при концентрации растворенного в воде кислорода на уровне 7 мг/дм<sup>3</sup> в 7 раз увеличивается скорость снижения содержания нефти в нефтезагрязненных отложениях.

**Ключевые слова:** донные отложения; ил; нефтяное загрязнение; тубифициды; аэрация.

Проблема очистки нефтезагрязненных сред существует в мировом масштабе с начала добычи и нефти и нефтепродуктов. Нет окружающей нас среды, которая бы не подверглась этому загрязнению. Очистка водных объектов от нефти – одна из актуальных проблем нефтедобывающих компаний. Реально «работающие» технологии, с помощью которых можно комплексно очищать и восстанавливать водные объекты от нефти, практически отсутствуют. Все решения сводятся к очистке поверхности воды от нефти, забывая о «невидимой» составляющей – донных отложениях, где зачастую может аккумулироваться нефть слоями в десятки и более сантиметров. Основные принципы экономически приемлемого решения проблемы очистки нефтезагрязненных водоемов, в том числе и очистки их загрязненных отложений, были предложены и испытаны еще в 2003–2006 гг. на озере Щучье, расположенном в Усинском районе Республики Коми [1–3]. Технология была успешно использована для очистки обводненных карьеров в 2006–2007 гг. в ХМАО-Югре [4].

В 2007 г. на основании результатов лабораторных экспериментов была предложена технология, позволяющая использовать червей-тубифицид для очистки донных отложений от нефти [5]. Использование технологии можно рекомендовать на заключительных этапах реабилитации водных объектов для доочистки донных отложений. Целью настоящей работы являлось изучение скорости деструкции нефти в илах и интенсификации этих процессов искусственной аэрацией и биотурбацией в условиях модельного эксперимента.

### Материалы и методы исследования

В эксперименте использовали наиболее распространенный вид тубифицид – *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparede, 1862. В качестве субстрата для червей использовали ил, отобранный в условно чистом озере вблизи г. Томска и процеженный через мельничный газ № 19 для удаления грубого растительного детрита. Для «стерилизации» (уничтожения макробеспозвоночных животных, коконов олигохет и др.) ил раскладывали в герметичные емкости-кюветы и в течение 5 ч выдерживали в термостате при температуре 70–72°C. Далее ил сметанообразной консистенции поме-

щали в 5-литровую емкость и загрязняли нефтью. Загрязненный ил в течение 30 сут ежедневно перемешивался в течение 5–7 мин для прохождения процессов сорбции. Для эксперимента был подготовлен загрязненный ил с исходной концентрацией нефти 14,58 г/кг.

Общая схема эксперимента представлена в таблице. В 8 стеклянных аквариумов объемом 4,5 л (15×15×20 см) помещали гомогенизированный ил сметанообразной консистенции (400 г) и равномерно распределяли по дну. В каждый аквариум добавляли сертифицированные комплексные удобрения: аммиачную селитру (18 мг) и суперфосфат (16 мг). Количество удобрений рассчитано исходя из норм внесения удобрений для рыбохозяйственных водоемов [6, 7]. Далее в аквариумы (№ 5–8) вносили 2,0 г разновозрастных *Limnodrilus hoffmeisteri* и медленно (чтобы избежать размывания слоя грунта на дне) наполняли отстоянной в течение 3 сут водопроводной водой в объеме 3 л. Доливка воды в аквариумы проводилась еженедельно. Температура воды во всех аквариумах во время эксперимента составляла 21–23°C. Аэрацию проводили круглосуточно; распылитель воздуха располагался в 5–7 см от поверхности воды, что обеспечивало насыщение воды кислородом без перемешивания илистых частиц на дне.

Для взвешивания червей использовали электронные весы марки «ВЛТЭ-500» с дискретностью 0,01 г. Ил взвешивали на электронных весах марки KRUPS с дискретностью 1,0 г. Измерение содержания растворенного кислорода в воде проводили в конце эксперимента (на 90-е сут) оксиметром «HANNA instruments» HI 9143. Замеры растворенного кислорода в аквариумах, где вода аэрировалась, проводились через 10 мин после отключения воздушных компрессоров. Кормление червей проводили в начале эксперимента, и далее – раз в месяц. Для приготовления корма 0,3 г воздушно-сухих дрожжей заливали 100 мл дистиллированной воды. После набухания дрожжи тщательно перемешивали. Образовавшуюся суспензию отстаивали в течение 30 мин. В аквариумы добавляли надосадочную жидкость в количестве 3 мл/л воды (9 мл в каждый аквариум с червями). Длительность эксперимента составила 90 сут от посадки червей в аквариумы.

Схема эксперимента

№ аквариума	Посадка червей	Аэрация	Кормление червей
1	Нет	Без аэрации	Без кормления
2	Нет	Без аэрации	Без кормления
3	Нет	С аэрацией	Без кормления
4	Нет	С аэрацией	Без кормления
5	Да	С аэрацией	С кормлением
6	Да	С аэрацией	С кормлением
7	Да	Без аэрации	С кормлением
8	Да	Без аэрации	С кормлением

## Результаты исследования и обсуждение

Проведенные замеры растворенного кислорода в аквариумах в конце эксперимента (на 90-е сут) отражали вполне ожидаемые результаты (рис. 1). В аквариумах, где проводилась аэрация, содержание кислорода было более 7 мг/дм<sup>3</sup>; максимум наблюдался в аквариумах без червей – 7,31 ± 0,05 мг/дм<sup>3</sup>; в аквариумах с червями содержание кислорода было немного ниже и составило 7,08 ± 0,03 мг/дм<sup>3</sup>. Аналогичные результаты

насыщения воды растворенным кислородом фиксировались нами ранее в других экспериментах [8].

Более низкие значения растворенного кислорода наблюдались в аквариумах, где аэрация не проводилась: в аквариумах без червей она составила 4,75 ± 0,10 мг/дм<sup>3</sup>; в аквариумах с червями – 3,06 ± 0,02 мг/дм<sup>3</sup>. В аквариумах, где аэрация не проводилась, содержание растворенного в воде кислорода обусловлено равновесной концентрацией, когда потребление кислорода биоценозом аквариума уравнивает поступление кислорода из атмосферы.

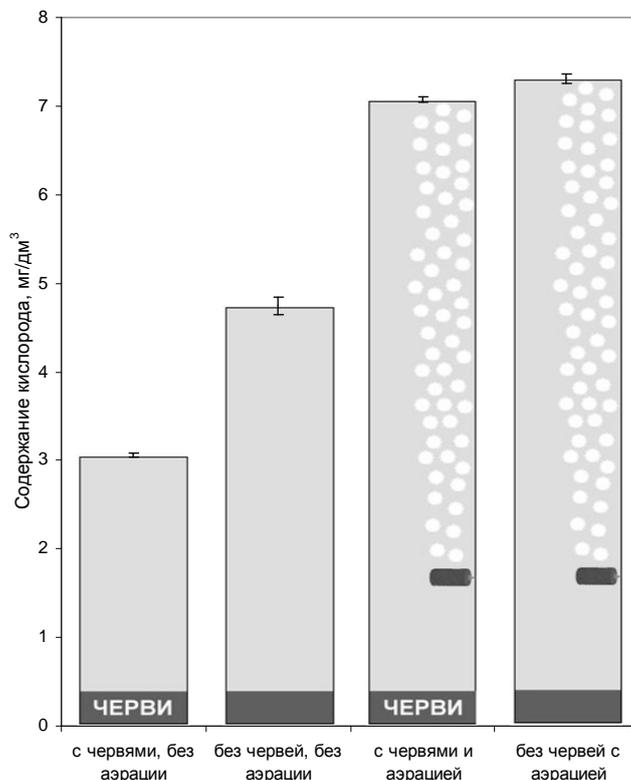


Рис. 1. Содержание растворенного кислорода в аквариумах; I – ошибка среднего значения

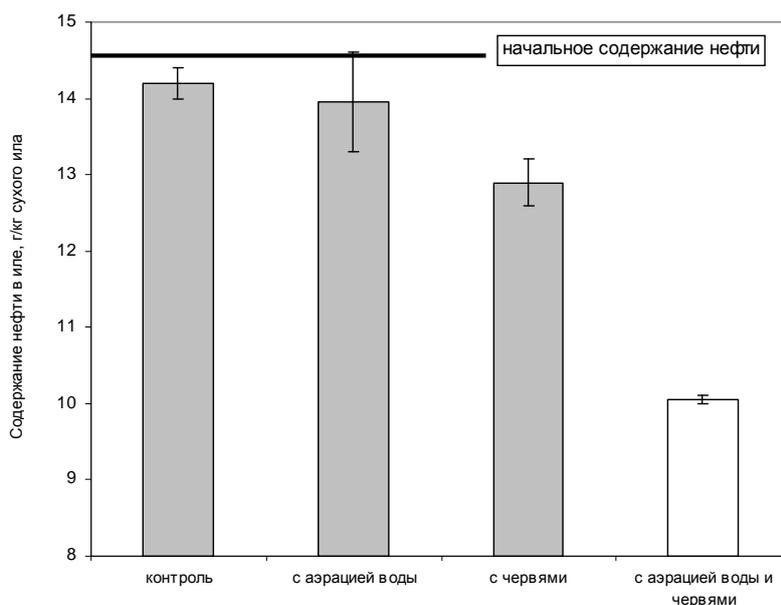


Рис. 2. Содержание нефти в илах в конце эксперимента; I – ошибка среднего значения

Результаты химических анализов илов по окончании эксперимента свидетельствовали о наличии различий по содержанию нефти в аквариумах с разными экспериментальными условиями (рис. 2). Наибольшая концентрация нефти по окончании эксперимента наблюдалась в аквариумах, где черви не культивировались и не проводилась аэрация, –  $14,2 \pm 0,2$  г/кг. В течение трех месяцев содержание нефти в илах снизилось всего на 2,6%. Ранее такие низкие темпы естественного самоочищения ила нами не фиксировались. Следует отметить и низкую очищающую способность в аквариумах без червей, где проводилась аэрация: средняя концентрация нефти на момент окончания эксперимента составила  $13,95 \pm 0,65$  г/кг, а снижение относительно исходного грунта – 4,3%. Достаточно высокое содержание растворенного кислорода существенно не отразилось на комплексе очистных процессов в этих аквариумах.

В аквариумах, где культивировались лимнодрилусы, снижение нефти в донных отложениях было выражено более отчетливо и в условиях дефицита кислорода (без аэрации) составило на конец эксперимента  $12,9 \pm 0,3$  г/кг, а снижение относительно исходного грунта – 11,5%.

Наиболее оптимальные условия для прохождения очистных процессов были созданы в аквариумах с червями, где проводилась круглосуточная аэрация воды. К концу эксперимента содержание нефти составляло  $10,05 \pm 0,05$  г/кг; снижение относительно исходного грунта составило 69%.

Известно, что интенсификация биохимического окисления илов обуславливается увеличением активной поверхности соприкосновения донных отложений с кислородом в результате деятельности червей. «Проквашивая» придонную воду через норы, увеличивается пористость донных отложений, или «закачивая» в них

воду для облегчения рытья нор, бентосные организмы способствуют усилению потребления кислорода донными отложениями [9].

Безусловно, наличие в воде достаточного количества растворенного кислорода и биотурбация, наряду с оптимальными температурными условиями, являются основными факторами, ускоряющими очистные процессы от нефти, проходящие в донных отложениях. Достаточно сложно разделить вклад в эти процессы углеводородоокисляющих микроорганизмов и собственно червей. В целом, оценивая роль жизнедеятельности червей-лимнодрилусов в очистных процессах, проходящих в илистых нефтезагрязненных отложениях, можно констатировать факт, что с содержанием растворенного кислорода на уровне  $7$  мг/дм<sup>3</sup> черви в 7 раз увеличивали скорость снижения нефти в нефтезагрязненных отложениях.

**Выводы.** 1. В аквариумах без червей, где проводилась аэрация, наблюдалась максимальная концентрация растворенного кислорода –  $7,31 \pm 0,05$  мг/дм<sup>3</sup>; в аквариумах с червями и аэрацией –  $7,08 \pm 0,03$  мг/дм<sup>3</sup>. Более низкие значения растворенного кислорода наблюдались в аквариумах, где аэрация не проводилась: в аквариумах без червей она составила  $4,75 \pm 0,10$  мг/дм<sup>3</sup>; в аквариумах с червями –  $3,06 \pm 0,02$  мг/дм<sup>3</sup>.

2. В аквариумах с червями, где проводилась круглосуточная аэрация воды, были созданы наиболее оптимальные условия для очистки ила от нефти. К концу эксперимента содержание нефти составляло  $10,05 \pm 0,05$  г/кг, снизившись относительно исходного грунта на 69%. В результате жизнедеятельности червей-лимнодрилусов при концентрации растворенного в воде кислорода на уровне  $7$  мг/дм<sup>3</sup> (при температуре 21–23°C) в 7 раз увеличивается скорость снижения нефти в нефтезагрязненных отложениях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лушников С.В., Воробьев Д.С., Фадеев В.Н. Экспериментальные работы по очистке донных отложений и воды озера Щучье от нефтепродуктов, загрязненных в результате аварийных разливов нефти (Усинский район, Республика Коми) // Экологические работы на месторождениях нефти Тимано-Печорской провинции. Состояние и перспективы : Материалы III науч.-практ. конф. Сыктывкар, 2004. С. 139–142.
2. Лушников С.В., Воробьев Д.С., Фадеев В.Н. Очистка донных отложений: первый шаг сделан // Экология и промышленность России. 2005. № 9. С. 30–31.
3. Лушников С.В., Воробьев Д.С. Очистка донных отложений от нефти: результаты экспериментальных работ // Экология и промышленность России. 2006. № 10. С. 11–13.
4. Воробьев Д.С., Лушников С.В., Фадеев В.Н. и др. Опыт комплексной очистки обводненных карьеров от нефти // Экология и промышленность России. 2008. № 4. С. 26–28.
5. Способ биологической очистки донных отложений от нефти и нефтепродуктов: пат. 2357929 Рос. Федерация, МПК C02F3/32, C12N1/26 / Воробьев Д.С., Залозный Н.А., Лушников С.В., Франк Ю.А. ; заявитель и патентообладатель ООО «НТО «Приборсервис». № 2007124025/13; заявл. от 26.06.2007; опубл. 10.06.2009. 1 табл. (ил.).
6. Комплексное удобрение рыбоводных прудов: рекомендации. ВАСХНИЛ, Сиб. отделение СибНИПТИЖ. Новосибирск. 1988. 20 с.
7. Шерман И.М., Чижик А.К. Прудовое рыбоводство: учеб. пособие. К. : Выща шк., 1989. 215 с.
8. Воробьев Д.С., Залозный Н.А., Франк Ю.А. и др. К вопросу о роли тубифицид в потреблении кислорода в донных отложениях, загрязненных нефтью // Известия Самарского научного центра РАН. 2009. Т. 11, № 1 (4). С. 702–706.
9. Мартынова М.В. Роль некоторых бентосных организмов в удалении соединений азота и фосфора из донных отложений // Гидробиологический журнал. 1985. Т. 21, № 6. С. 44–48.

Статья представлена научной редакцией «Биология» 15 апреля 2011 г.