

К ВОПРОСУ О РОЛИ ТУБИФИЦИД В ПОТРЕБЛЕНИИ КИСЛОРОДА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ

© 2009 Д.С. Воробьев¹, Ю.А. Франк², Н.А. Залозный³, С.В. Лушников², Ю.А. Носков³

¹ ОАО «Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа Восточной нефтяной компании» (ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК»)

² ООО «Научно-техническое объединение «Приборсервис», г. Томск

³ Томский государственный университет

Поступила 11.02.2009

Настоящая статья посвящена изучению роли червей семейства *Tubificidae* в потреблении кислорода в нефтезагрязненных донных отложениях. Эти организмы весьма перспективны для использования в биологической очистке донных отложений вследствие их устойчивости к недостатку кислорода, загрязнению и активного участия в процессах трансформации и перемещения различных веществ. В эксперименте использовали наиболее распространенный вид тубифицид – *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparede, 1862.

Эксперименты показали, что в аквариумах с червями потребление кислорода превышало таковое в емкостях без червей от 1,9 до 12,6 раз. Средняя величина превышения составила $3,90 \pm 0,86$ раз ($\alpha < 0,01$ %). Снижение содержания растворенного кислорода в аквариумах с червями обуславливало снижение его потребления этими организмами. Между содержанием растворенного кислорода и его потреблением выявлена корреляционная связь ($r = 0,90$; $\alpha < 0,1$ %). При содержании растворенного кислорода в воде менее 5 мг/л (при $t = 23^\circ \text{C}$) черви реагировали более активными «дыхательными» движениями, увеличением части тела, участвующей в этих движениях и снижением пищевой активности; данные признаки более ярко выражены по мере снижения содержания кислорода. Различные концентрации нефти в донных отложениях не оказывали достоверного влияния на потребление кислорода биоценозом аквариума, как в аквариумах с червями, так и без них.

Ключевые слова: донные отложения, нефть, нефтепродукты, очистка, потребление кислорода, растворённый кислород, тубифициды.

Основная роль в деструкции нефтепродуктов в воде и в донных отложениях принадлежит биогенному фактору [1]. Помимо микробиальных деструкторов нефти, донные макроорганизмы также участвуют в преобразовании нефти в донных осадках. Тубифициды, являясь одной из самых распространенных групп бентосных животных, занимают ведущие позиции в процессах минерализации органического вещества донных отложений. Устойчивость к высоким концентрациям нефти в донных отложениях (по сравнению с другими водными макробеспозвоночными) была отмечена нами при обследовании нефтезагрязненных водоемов [2], [3] и др.

Использование кислорода водными организмами связано с ограничениями, основным из которых является малая растворимость O_2 в воде. Поступление кислорода зависит от его транспорта из воздушного резервуара с замедлением диффузии в водной среде по сравнению с газовой в тысячу раз. На границе воды и донных отложений создается диффузионный слой. Кислород диффундирует за 8 минут всего через 1 мм пограничного слоя [4].

Способность выдерживать недостаток кислорода и существовать в условиях загрязненной среды, а также активно участвовать в процессах трансформации и перемещения различных соединений в результате биотурбации, делает червей-тубифицид весьма привлекательной для практического использования в мероприятиях по очистке донных отложений. Высокая резистентность олигохет к дефициту растворенного кислорода позволяет им монополюльно заселять водоемы или их участки с минимальным его содержанием в придонных слоях воды.

Несмотря на то, что роль тубифицид в кислородном балансе водоемов достаточно изучена [5, 6, 7 и др.], в научной литературе немного фактов исследования роли тубифицид в кислородном балансе нефтезагрязненных водоемов, что послужило основанием для проведения лабораторных экспериментов.

Целью настоящей работы являлось изучение особенностей потребления кислорода тубифицидами в нефтезагрязненных донных отложениях для использования червей в мероприятиях по очистке.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В эксперименте использовали наиболее распространенный вид тубифицид – *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparede, 1862. Обладая исключительно высокой экологической пластичностью, лимнодрилус занимает все пресноводные объекты.

В 22 стеклянных аквариума, объемом 4,5 л ($15 \times 15 \times 20$ см) помещали гомогенизированный ил сметанообразной консистенции (400 г) и равномер-

Воробьев Данил Сергеевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела экологического мониторинга. E-mail: danilvorobiev@yandex.ru. Франк Юлия Александровна, кандидат биологических наук, заместитель генерального директора. E-mail: sci@t-sl.ru. Залозный Николай Александрович, кандидат биологических наук, доцент кафедры ихтиологии и гидробиологии. E-mail: icht@bio.tsu.ru. Лушников Сергей Валерьевич, генеральный директор. E-mail: 080707@mail.ru. Носков Юрий Александрович, ассистент кафедры ихтиологии и гидробиологии. E-mail: more@sibmail.com.

но распределяли по дну аквариума. 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. В эксперименте использовали контрольные аквариумы (незагрязненный ил) и аквариумы с илом, загрязненным в лабораторных условиях, с содержанием нефти (г/кг) – 3,34; 6,69; 10,03; 16,72. Эксперимент проводили в двойной повторности. Загрязненный ил находился в аквариумах в течение 7 суток для прохождения процессов сорбции нефти частицами ила; проводилось ежедневное перемешивание ила в течение 5 минут. Химический анализ массовой концентрации нефти в донных отложениях проводился в аккредитованной лаборатории природных превращений нефти Института химии нефти СО РАН методом ИК-спектроскопии на приборе «SPECORD M 80» по РД 39-0147098-015-90.

Через 7 суток после загрязнения ила аквариумы медленно (чтобы избежать размывания слоя грунта на дне) наполняли отстоянной в течение 3 суток водопроводной водой (3 литра). С момента заполнения аквариума водой проводилась аэрация аквариумов (15–17 часов в сутки); распылитель воздуха располагался в 5–7 см от поверхности воды, что обеспечивало насыщение воды кислородом без перемешивания илистых частиц на дне аквариума. Температура воды в аквариумах – 23,0 °С; содержание кислорода 7–8 мг/л.

Через 3 суток после заполнения аквариумов водой в одни из них помещали по 1,5 г взрослых особей *Limnodrilus hoffmeisteri*, другие емкости оставляли без червей. Измерения содержания растворенного кислорода в воде проводились на 10 суток после внесения лимнодрилусов. Проведено 285 измерений концентрации растворенного кислорода в аквариумах в течение 12 часов. Измерения были начаты через 20 минут после отключения аквариумных аэраторов.

Потребление кислорода червями рассчитывали по разнице в содержании растворенного кислорода в контрольных аквариумах и в аквариумах с червями.

Проводили визуальный контроль за питанием червей и их «дыхательными» движениями.

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 оксиметром «HANNA instruments» HI 9143. Для обработки и анализа данных использовались алгоритмы дисперсионного анализа, парного кри-

терия Вилкоксона, рангового коэффициента корреляции Спирмэна [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Измерения содержания растворенного кислорода в воде показали, что во всех аквариумах этот показатель имел очевидную тенденцию к уменьшению (рис. 1). В аквариумах без червей, с чистыми и загрязненными донными отложениями, снижение кислорода было практически на одном уровне. Проведенные статистические сравнения с помощью парного критерия Вилкоксона достоверных отличий не выявили. Доверительный уровень различий составил 91 % и не достигал установленного 95-% доверительного уровня для принятия достоверности отличий. Потребление кислорода в аквариумах с червями, достоверно отличалось в аквариумах с чистыми и загрязненными отложениями (рис. 1; уровень значимости $\alpha < 0,1$ %). Снижение содержания растворенного кислорода в аквариумах с загрязненными отложениями достоверно отличалось от контрольных аквариумов (рис. 2; $\alpha < 0,1$ %).

По мере снижения кислорода в аквариумах, наблюдалось и уменьшение его потребления (рис. 3). Между содержанием растворенного кислорода в аквариумах с червями и его потреблением за час была выявлена достоверная сильная положительная корреляционная связь с помощью рангового коэффициента Спирмэна: $r = 0,90$ ($\alpha < 0,1$ %): при снижении содержания растворенного кислорода в аквариумах наблюдалось снижение его потребления. Аналогичная закономерность отмечена и другими авторами [9–11] – потребление кислорода заметно возрастает с увеличением кислородной концентрации в воде.

Эксперимент показал, что в аквариумах с червями потребление кислорода превышало такое в емкостях без червей от 1,9 до 12,6 раз. Средняя величина превышения составила $3,90 \pm 0,86$ раз ($\alpha < 0,01$ %), что вполне согласовывалось с литературными данными Л.И. Цветковой [6] – потребление кислорода илами с олигохетами (L) в 3–4 раза превышало потребление кислорода илами без червей. Данная величина $L = m + n$, складывается из двух составляющих: m – потребление кислорода тубифицидами на дыхание; n – величина, характеризующая интенсификацию биохимического окисления илов в результате жизнедеятельности червей. Интенсификация биохимического окисления илов обуславливается увеличением активной поверхности соприкосновения донных отложений с кислородом в результате дея-

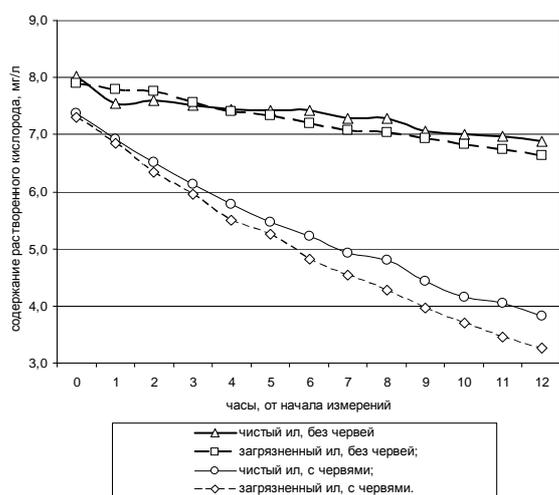


Рис. 1. Результаты измерений растворенного кислорода в воде (мг/л) аквариумов

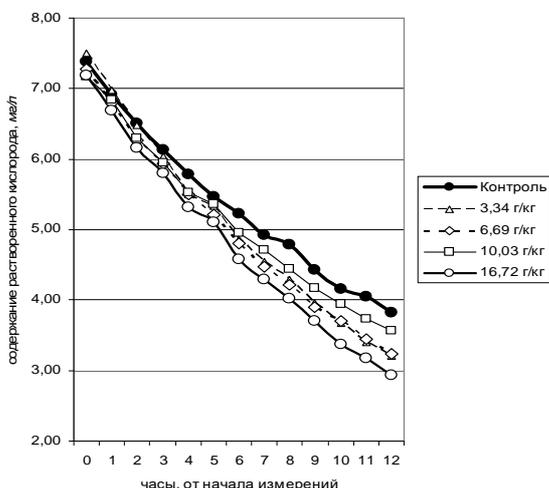


Рис. 2. Содержание растворенного кислорода в аквариумах с червями; в легенде указано содержание нефти в донных отложениях

тельности червей. «Прокачивая» 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 [12].

Внутри этих групп (аквариумы с червями и аквариумы без червей), влияние различных концентраций нефти в донных отложениях на потребление кислорода выявлено не было (рис. 4).

Поставленные дополнительно эксперименты показали, что при уменьшении содержания кислорода до 0,69–0,81 мг/л, червь менее чем на 25 % оставался погруженным в грунт. Оставшаяся часть тела совершала более активные колебательные движения; питания червей не наблюдалось.

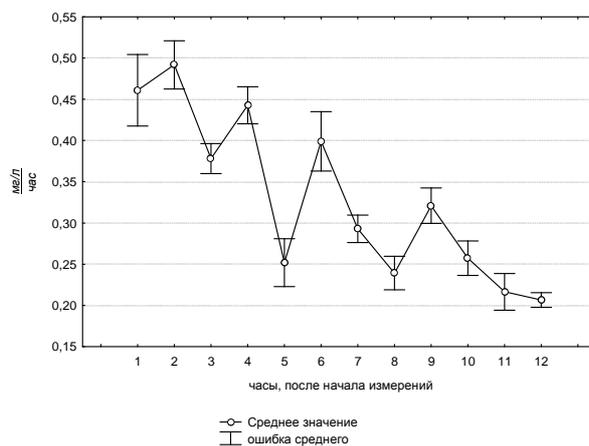


Рис. 3. Динамика потребления растворенного кислорода ($\frac{\text{мг}}{\text{л}} \cdot \frac{1}{\text{час}}$) в аквариумах с червями за время проведения 12-часовых измерений

Несмотря на то, что тубифициды могут переносить недостаток кислорода в воде, считается, что при концентрациях кислорода менее 4 мг/л затормаживается развитие червей [6]. В нашем эксперименте содержание растворенного кислорода в воде 5 мг/л было концентрационной границей, выше которой визуально не наблюдалось отличие поведенческих реакций червей. При концентрации растворенного кислорода ниже 5 мг/л отмечено более активное движение задними концами тела (дыхательные движения), увеличивалась часть тела, участвующая в этих движениях, скорость питания замедлялась. Данные признаки были более ярко выражены по мере снижения содержания кислорода.

ВЫВОДЫ

1. При содержании растворенного кислорода в воде менее 5 мг/л (при $t = 23^\circ \text{C}$) черви реагируют более активными «дыхательными» движениями, увеличением части тела, участвующей в этих движениях и снижением пищевой активности; данные признаки более ярко выражены по мере снижения содержания кислорода. При содержании растворенного кислорода выше 5 мг/л визуально не наблюдается отличия поведенческих реакций.

2. Потребление кислорода в аквариумах с червями превышало таковое без червей в среднем в $3,90 \pm 0,86$ раз ($\alpha < 0,01$ %) (от 1,9 до 12,6 раз), что, высоковероятно, вызвано интенсификацией биохимического окисления илов в результате жизнедеятельности тубифицид наряду с дыханием самих червей.

3. Снижение содержания растворенного кислорода в аквариумах с червями обуславливало снижение его потребления; между содержанием растворенного кислорода и его потреблением выявлена корреляционная связь ($r = 0,90$; $\alpha < 0,1$ %).

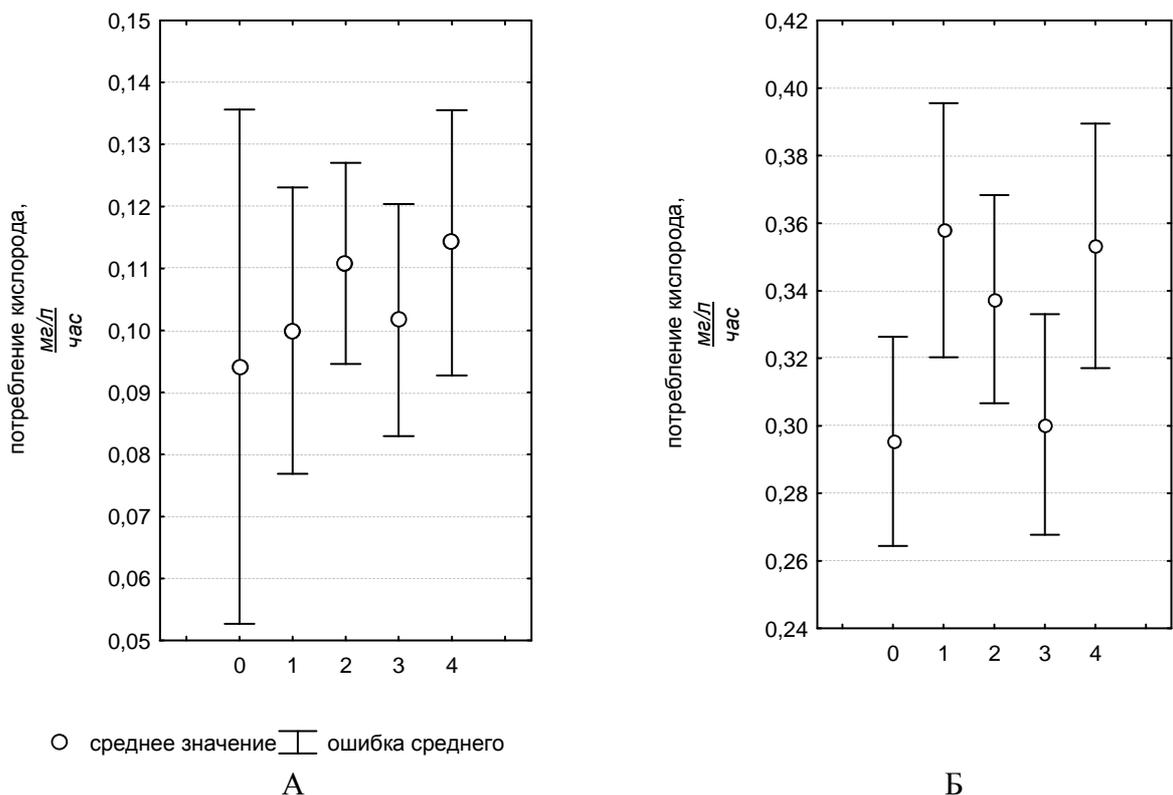


Рис. 4. Потребление растворенного кислорода в аквариумах без червей (А) и с червями (Б); содержание нефти в донных отложениях: 0 – без нефти; 1 – 3,34 г/кг, 2 – 6,69 г/кг, 3 – 10,03 г/кг, 4 – 16,72 г/кг

4. Различные концентрации нефти в донных отложениях не оказывали достоверного влияния на потребление кислорода, как в аквариумах с червями, так и без них.

5. Из полученных данных следует, что для повышения эффективности очистки нефтезагрязненных донных отложений с помощью червей, целесообразно включать в технологические схемы дополнительную аэрацию придонных слоев воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильинский В.В., Поршнев О.В., Семенов М.Н. Угледородородокисляющие микроорганизмы в прибрежных и открытых водах Можайского водохранилища: активность и вклад в процессы естественного очищения в летний период. // Водные ресурсы. 1998. Т. 25, № 3. С. 335–338.
2. Воробьев Д.С. Влияние нефти и нефтепродуктов на макрозообентос. // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309, № 3. С.42–45.
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. Заварзин Г.А., Колотилова Н.Н. Введение в природоведческую микробиологию. – М.: Книжный дом «Университет», 2001. 256 с.
5. Цветкова Л.И. О роли сапробных олигохет в кислородном балансе водоемов (бассейн р. Невы): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1969. 23 с.
6. Цветкова Л.И. О роли тубифицидов в кислородном балансе водоемов // Водные малощетинковые черви (систематика, экология, исследования фауны СССР): Труды ВГБО. М.: Наука, 1972. Т. 17. С. 118–125.
7. Поддубная Т.Л., Архипова Н.Р. Температурно-кислородный оптимум развития и выживания *Tubifex tubifex* (Müll.) в эмбриональный период. // Эколого-физиологические исследования в природе и эксперименте. Фрунзе, 1977. С. 231–232.
8. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.
9. Alsterberg G. Die respiratorischen Mechanismen der Tubificiden. Lund-Leipzig, 1922. Avd. 2, Bd 18. № 1. 175 s.
10. Побегайло П.И. Роль донных организмов в процессе самоочищения водоемов, загрязненных сточными водами: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1955. 20 с.
11. Архипова Н.Р. Влияние кислородного и температурного режимов на интенсивность обмена, развитие и выживание *Tubifex tubifex* (Müll.) (*Oligochaeta*, *Tubificidae*) в эмбриональный период. // Биология, морфология и систематика водных беспозвоночных. Л.: «Наука», 1980. С. 31–40.
12. 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.

TO THE QUESTION OF TUBIFICIDAE ROLE IN OXYGEN CONSUMPTION IN OIL-CONTAMINATED BOTTOM SEDIMENTS

© 2008 D.S. Vorobiev¹, Y.A. Frank², N.A. Zalozny³, S.V. Lushnikov², Y.A. Noskov²

¹ Tomsk Petroleum Institute of East Oil Company Open Joint-Stock (TomskNIPIneft VNK)

² Research and technology association «Priborservice» Ltd., Tomsk, Russia

³ Tomsk State University

This research paper is devoted to investigation of role of *Tubificidae* worms in oxygen consumption in oil-polluted bottom sediments. These benthic organisms are very promising for using in biological remediation of bottom sediments because of high resistance to oxygen shortage and oil contamination. They also play the great role in transformation and transfer of different matters in freshwater sediments. In our experiment we used the most wide spread species of *Tubificidae* - *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparede, 1862.

The experiment showed that oxygen consumption in aquariums with worms is 1.9 – 12.6 times higher than in aquariums without mentioned organisms (3.90±0.86 times on average ($\alpha < 0,01$ %)). Dissolved oxygen content decreasing in aquariums with worms caused decreasing of it consumption by biocenose.

Correlation between dissolved oxygen content and its consumption has been revealed ($r = 0,90$; $\alpha < 0,1$ %). Noted that if dissolved oxygen content is less than 5 mg/l ($t = 23^\circ \text{C}$), *Tubificidae* worms respond by more active “respiratory” movements, by increasing of size of body part involving in such movements and by decreasing of feeding activity. Features mentioned above were more intensive while decreasing of oxygen content. It needs to notice that different concentrations of oil in bottom sediments didn't influence to oxygen consumption either in aquariums with worms or in aquariums without worms.

Key words: bottom sediments, oil, oil products, clearing, oxygen consumption, dissolved oxygen, *Tubificidae*.

Vorob'ev Danil Sergeevich, Candidat of Biology, senior teacher research fellow of Department of ecology monitoring. E-mail: danilvorobiev@yandex.ru. *Frank Jyulia Alexandrovna*, Candidat of Biology, af. Main director. E-mail: sci@t-sl.ru. *Zalozny Nikolay Alexandrovich*, кандидат биологических наук, senior lecturer of department ichtiology and hydrobiology. E-mail: icht@bio.tsu.ru. *Lushnikov Sergey Valer'evich*, main director. E-mail: 080707@mail.ru. *Noskov Yuriy Alexandrovich*, assistant of department ichtiology and hydrobiology. E-mail: more@sibmail.com.