

from 0 to 200 ng S<sub>2</sub>-/(L×day) and from 108 to 1982 ng S<sub>2</sub>-/(L×day), respectively. Similarly, the rate of methanogenesis varied from 0 to 1204 nL CH<sub>4</sub>/(L×day) and from 24 to 9045 nL CH<sub>4</sub>/(L×day) for not flooded and water-flooded oilfields, respectively.

Phylogenetic diversity of Bacteria and Archaea in the sample of injection water (5600 well) was studied by analysis of the 16S rRNA genes with high-throughput sequencing. Injection water represents mixture of surface water and formation water, separated from oil. The results indicated the presence of members of both the surface and oilfield microorganisms in injection water. It was obtained 24925 16S rRNA gene sequences, included 65 archaeal sequences (0.2%) and 24764 bacterial ones (99.0%). Most sequences (14837) belonged to the Proteobacteria, specifically Betaproteobacteria (7998), Alphaproteobacteria (4107), Gammaproteobacteria (2013), Deltaproteobacteria (403), and Epsilonproteobacteria (316). The library of 16S rRNA genes also included sequences of aerobic bacteria Acinetobacter, Pseudomonas and Rhodococcus genera, capable to produce biopolymers and biosurfactants useful for oil displacement. 16S rRNA genes of Dechloromonas were also revealed. This bacterium can utilize aromatic hydrocarbons (benzene, toluene, xylene, naphthalene) and other components of the heavy oil both aerobically and anaerobically.

Members of genera Acinetobacter, Pseudomonas, Bacillus and Gordonia, capable of biosurfactant production, were isolated from formation waters. Aerobic organotrophic and anaerobic fermentative bacteria, revealed in oil reservoir, form biomass and products of oil degradation (volatile acids and alcohols) having the oil-displacing properties.

This work was supported by Russian Science Foundation, grant no. 16-14-00028.

УДК 574.632

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОТ НЕФТИ

Носков Ю.А.<sup>1</sup>, Воробьев Д.С.<sup>1</sup>, Туманов М.Д.<sup>2</sup>, Никулина Ю.С.<sup>1</sup>, Лим А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Томский государственный университет, Томск, Россия  
634050, Томск, пр. Ленина, д. 36  
email: yunoskov@gmail.com

<sup>2</sup> Научно-производственный кооператив «Изыскания Мониторинг Кадастр», Сыктывкар, Россия  
167000, Сыктывкар, ул. Магистральная, д. 17, кв. 98

Комплексное гидробиологическое обследование нефтезагрязнённого водоёма (озеро Щучье, республика Коми) в 2016 году, через 10 лет после проведения очистки донных отложений от нефти, показало эффективное прохождение процессов восстановления водоёма и увеличение разнообразия гидробионтов.

**Ключевые слова:** нефтяное загрязнение; очистка донных отложений.

Нефтяное загрязнение является одним из ведущих факторов антропогенного воздействия на водные экосистемы. Основным путем поступления углеводородов в водоёмы являются аварийные разливы в процессе добычи и транспортировки нефти. Одна из крупнейших аварий произошла в 1994 году в Усинском районе Республики Коми, при которой произошла утечка более 200 тыс. тонн нефтесодержащей жидкости. Помимо территорий покрытых нефтью земель, загрязнёнными оказались множество рек и озёр. Через несколько лет после аварии в районе загрязнения стала отмечаться рыба с отклонениями в строении тела. Наиболее часто описывалась щука (*Esox lucius*) со значительно укороченной верхней челюстью. Специалистами Томского государственного университета и Научно-технического объединения «Приборсервис», г. Томск, по заказу ООО «ЛУКОЙЛ-Коми», была разработана технология очистки воды и донных отложений от нефти. В 2004–2005 гг. проводилось её экспериментальное испытание на озере Щучье, площадью 6,4 га. В результате проведенных очистных работ содержание нефти в донных отложениях снизилось более чем в 20 раз. Было отмечено появление бентосных организмов и увеличение численности, биомассы и количества видов зоопланктона, увеличение линейных показателей и темпов роста рыб.

В июле 2016 г., спустя 10 лет после проведения очистных мероприятий, были проведены комплексные гидробиологические исследования оз. Щучье и фонового оз. Безымянное, не подвергавшегося загрязнению. Химический анализ проб донных отложений и воды показал значительное снижение концентрации нефтепродуктов относительно уровня 2005 г. – концентрация нефти в донных отложениях оз. Щучье лишь

в одной точке отбора составляла около 5 г/кг, в остальных пробах не превышала 3 г/кг. Концентрация нефтепродуктов в воде не превышала значений предельно допустимых концентраций. Видовой состав зоопланктона оз. Щучье отличался большим разнообразием по сравнению с оз. Безымянным, однако численность зоопланктона в первом озере была значительно ниже. Донные ценозы озера Щучье были представлены детритно-илистыми отложениями. В 2005 году абсолютными доминантами в бентосе были олигохеты, в 2016 году доминирование перешло к личинкам хирономид. Видовой состав ихтиофауны исследованных озёр был аналогичен и включал три вида – плотва, окунь и щука. Результаты биологического анализа рыб двух озёр не выявили достоверных различий между ними. В уловах был встречен всего один экземпляр щуки с деформированным челюстным аппаратом. Возраст данного экземпляра составлял 11+ лет. При анализе микроэлементного состава тканей (мышц) рыб из двух озёр было обнаружено превышение допустимых остаточных количеств для 5 из 15 элементов: Al, Cr, Fe, Cu, Zn. Сравнивая содержание микроэлементного состава у рыб следует отметить, что превышение допустимых остаточных количеств некоторых элементов было характерно для обоих исследованных озёр.

Полученные результаты исследований: видовое сходство фитопланктона, зоопланктона, отсутствие щуки с отклонениями в развитии челюстного аппарата, являются показателем благоприятных условий для существования гидробионтов в озере Щучье. Проведенные исследования свидетельствуют о высокой эффективности технологии очистки донных отложений от нефти.

Исследование было выполнено при поддержке Гранта Президента Российской Федерации № МК-5336.2016.4.

## THE EFFECTIVENESS OF TECHNOLOGY FOR CLEANING UP OIL FROM BOTTOM DEPOSITS

Noskov Y.A.<sup>1</sup>, Vorobiev D.S.<sup>1</sup>, Tumanov M.D.<sup>2</sup>, Nikulina Y.S.<sup>1</sup>, Lim A.G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tomsk State University, Tomsk, Russia  
634050, Tomsk, Lenina av., 36  
email: yunoskov@gmail.com

<sup>2</sup> Scientific-Production Cooperative «Researches Monitoring Inventory», Syktyvkar, Russia  
167000, Syktyvkar, Magistralnaya str., 17-98.

A complex hydrobiological survey of an oil-contaminated water body (Lake Shchuchye in the Komi Republic) conducted in 2016, after ten years of cleaning up oil from the bottom deposits, has shown effective recovery processes in the water and an increase in the diversity of hydrobionts.

**Key words:** oil contamination; cleaning up of bottom deposits.

Oil contamination is one of the most influential anthropogenic factors on water ecosystems. The main entry path of hydrocarbons into water bodies is emergency spills during the extraction process and oil transportation. One of the most significant incidents occurred in 1994 in the Usinsk district of the Komi Republic, during which there was a leak of more than 200,000 tonnes of oil-containing liquid. Besides the areas covered with oil, a large number of rivers and lakes was also contaminated. Several years after the incident, fish were recorded in the district with deviations in their body structure. Most frequently pike (*Esox lucius*) with a significantly shortened upper jaw was described. Technology for cleaning water and bottom deposits was developed by specialists at Tomsk State University and the Priborservis Scientific and Technical Association (Tomsk), commissioned by LUKOIL-Komi LLC. In 2004-2005 experimental testing of the technology took place on Lake Shchuchye with an area of 6.4 hectares. As the result of the cleaning up, the containment of oil in the bottom deposits decreased by more than 20 times. Emergence of benthic organisms, an increase in biomass and in the number of zooplankton species, and an increase in the linear parameters and the rate of fish growth were recorded.

In July 2016, ten years after the purification, complex hydrobiological surveys were conducted of Lake Shchuchye along with Lake Bezimyannoe, which had not been subject to contamination. Chemical analysis of samples of water and bottom deposits showed a significant decrease in the concentration of petroleum products relative to the level of 2005 – the oil concentration in the bottom deposits of Lake Shchuchye at only one point of extraction was about 5g/kg, and the other samples did not exceed 3g/kg. The concentration of petroleum products in the water did not exceed the maximum permissible concentrations. The species composition of the zooplankton

of Lake Shchuchye is more diverse in comparison with Lake Bezimyannoe, but the number of zooplankton in the former was significantly lower. The bottom cenoses of Lake Shchuchye were made up of detrital-silt deposits. In 2005 oligochaetes were the absolute dominants in the benthos; in 2016 the dominance was obtained by the larvae of chironomids. The species composition of the fish fauna in the lakes was similar and included three species – roach, perch and pike. The results of biological analysis of fish in the two lakes did not reveal any reliable difference between them. In the catches only one example of a pike with a deformed jaw was recorded. The age of this fish was 11+ years. During analysis of the microelement composition of tissues (muscles) of fish from the two lakes an excess of allowable residual amounting to 5 out of 15 elements was found: Al, Cr, Fe, Cu, Zn. Comparing the content of microelement composition it is important to note that the excess of allowable residual amounts of some elements was typical for both of the surveyed lakes.

The following results were obtained: similarity in phytoplankton species and zooplankton species; the absence of pike with deviations in jaw development are indicators of conditions conducive to the existence of hydrobionts in Lake Shchuchye. The surveys demonstrate the high effectiveness of the oil cleaning up technology.

The research was supported by the grant of President of Russian Federation № MK-5336.2016.4.

УДК 574.632

## ВОДНЫЕ ЧЕРВИ В НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ИЛАХ

Воробьев Д.С., Воробьев Е.Д.

Биологический институт Томского государственного университета, Томск, Россия  
634050, Россия, Томск, пр. Ленина, 36  
e-mail: danilvorobiev@yandex.ru

В результате экспериментов с водными червями семейства Tubificidae (*Limnodrilus hoffmeisteri* Claparede, 1862) в нефтезагрязненных донных отложениях достоверно выявлено, что содержание свежей нефти в илах в концентрации 2 г/кг является порогом толерантности червей при их перемещении из чистых участков дна в загрязненные.

**Ключевые слова:** водные черви; донные отложения; ил; нефтяное загрязнение.

Нефть является одним из основных загрязнителей водных экосистем, особенно в бассейне реки Обь, где идет активная добыча углеводородного сырья [1]. Водные малощетинковые черви устойчивы к нефтяному загрязнению и активно участвуют в процессах биологической деструкции нефти в донных отложениях [2, 3]. Целью исследования являлось определение нижнего порога чувствительности *Limnodrilus hoffmeisteri* к загрязнению иловых отложений свежей нефтью.

Для проведения экспериментов были изготовлены стеклянные аквариумы с размерами 20x10x1 см. В левую часть аквариума помещали чистый ил, в правую – загрязненный нефтью. После заливки воды 100 взрослых червей помещались в область чистого ила (вблизи границы чистого и загрязненного ила) (Рис. 1). Температура воды 21...22 °С; аэрация не проводилась. Длительность каждого эксперимента – 7 суток. Ежедневно проводился подсчет червей в левой и правой частях аквариума (Рис. 2). Всего было проведено 10 серий экспериментов с концентрациями нефти: 100, 50, 25, 15, 10, 7, 5, 3, 2 г/кг и без нефти (контроль).

В результате экспериментов доказано, что при концентрации свежей нефти 2 г/кг и ниже не выявлено достоверных отличий по ежесуточному количеству червей между чистыми и загрязненными участками. Благодаря процессам биотурбации в донных отложениях, вызванных деятельностью червей, происходят изменения состава и свойств донных отложений. Использование данного процесса для очистки донных отложений весьма перспективно и требует изучения.

### Литература:

1. Vorobiev D.S., Noskov Y.A. Oil Contamination of the Ob Basin // *International Journal of Environmental Studies*. 2015. Vol. 72. Issue 3. P. 509-515.
2. Vorob'ev, D.S., Frank, Y.A., Lushnikov, S.V., Zaloznyi, N.A., Noskov, Y.A. Oil decontamination of bottom sediments using *Limnodrilus hoffmeisteri* (Oligochaeta: Tubificidae) // *Contemporary Problems of Ecology*. 2010. Vol. 3(1). P. 15-18.
3. Патент РФ № 2357929, 26.06.2007.