

Recovery of aquatic invertebrate communities as a result of oil decontamination of bottom sediments

Y.A. Noskov, D.S. Vorobiev

*National Research Tomsk State University
Tomsk, Russia*

E-mail: yunoskov@gmail.com, tel. 89234157501, <https://orcid.org/0000-0001-8752-3979>

Submitted: 24.10.2017. Accepted: 15.12.2017

Oil decontamination of water bodies is one of the most complex and time-consuming tasks in the field of liquidation of oil spills. The complexity of cleaning natural water bodies is associated with a dynamic water environment and a variety of oil transformation processes that occur in the water. The most advanced and developed are technologies and methods of collecting oil and oil products from the surface of water bodies. Economically acceptable and well-grounded technologies for oil decontamination of bottom sediments are presented in minimal quantities, and often are not applicable to natural water bodies. The technology for oil decontamination based on flotation has been developed and successfully applied on Lake Shchuch'ye in 2004–2005 and showed a positive result after two summer seasons of work. This article presents the results of aquatic ecosystems recovery as a result of oil decontamination of bottom sediments. The issue of restoration of the aquatic ecosystem as a result of cleaning bottom sediments from oil after a considerable time interval has been studied. A comparison of the quantitative indices and species diversity of the zooplankton of Shchuch'ye Lake from 2004 to 2016 showed a clear tendency of increasing the abundance, biomass and species diversity of total zooplankton and Cladocera in particular. In 2016 the amount of zooplankton species of Shchuch'ye Lake reaches the number of species of the uncontaminated lake, using as a control. It was shown that the macrozoobenthic fauna of Shchuch'ye Lake is poorer in both the number of main ecological groups and in species diversity within certain groups characteristic than in the uncontaminated lake. Some groups were found in both lakes, but the species diversity of Lake Shchuch'ye was poorer. The exception was a group of leeches, which had a greater variety in Lake Shchuch'ye. The change in the oligochaetene complex to chironomid, both in numbers and in biomass, indicates an improvement in environmental conditions, since chironomids are more sensitive to the quality of the habitat. Chemical analysis of bottom sediments in 2016 revealed that the oil concentration did not exceed 0.9 mg / kg, which indicates the effectiveness of the oil decontamination technology of bottom sediments.

Key words: oil spill; zooplankton; macrozoobenthos; technology for oil decontamination of bottom sediments

Восстановление сообществ водных беспозвоночных в результате очистки донных отложений от нефти

Ю.А. Носков, Д.С. Воробьев

*Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томск, Россия*

Проведены гидробиологические исследования северного озера, подвергшегося нефтяному загрязнению и последующей очистки донных отложений. В статье представлены данные по восстановительной способности сообществ зоопланктона и макрозообентоса. Выявлено, что сообщества зоопланктона способны восстанавливаться не менее чем за 10 лет в условиях севера, восстановления сообществ макрозообентоса за аналогичный период не происходит. Показана эффективность технологии очистки донных отложений от нефти.

Ключевые слова: нефтяное загрязнение; зоопланктон; макрозообентос; технология очистки донных отложений

Введение

Нефтяное загрязнение является одним из ведущих факторов антропогенного воздействия на водные экосистемы в современном мире. Нефтяные углеводороды относятся к наиболее опасным и широко распространенным поллютантам (Abdurakhmanov et al., 2006; Carls et al., 2002). Нефть оказывает негативное влияние на все группы организмов, обитающих как в поверхностном слое и толще воды, так и в грунте. Основным путем поступления углеводородов в водоёмы являются аварийные разливы в процессе добычи и транспортировки нефти. Проблеме нефтяного загрязнения водных объектов посвящено значительное число публикаций в отечественной и зарубежной литературе (Abdusamadov et al., 2011; Commendatore et al., 2000; Popkov et al., 2002; Jiang, 2012). Большинство исследований посвящено изучению влияния нефтяного загрязнения на морских (Almeda et al., 2013, 2014; Cohen, 2014; Abdurakhmanov et al., 2006) и пресноводных (Miller, 1978; Lozovoy, 2012; Makrushin et al., 2014) пелагических гидробионтов. Меньшее, тем не менее, довольно внушительное количество работ направлено на изучение влияния нефтяных углеводородов на донные сообщества (Elmgren, 1983; Alyoshina, Chukanova, 2005; Vorobiev, 2006; Ruzanova, Vorobiev, 1999; 2001; Vorobiev, Noskov, 2015; Vorobiev et al., 2016a). Несмотря на многочисленные исследования последствий нефтяного загрязнения водоёмов, остаётся малоизученным вопрос о восстановлении водных экосистем в результате их очистки (Lee, 2002). В подавляющем большинстве случаев ликвидация нефтяных загрязнений водных объектов ограничивается сбором нефти с поверхности воды с помощью различных устройств и сорбентов. При отсутствии оперативных мероприятий по очистке водного объекта, нефть или нефтепродукты сорбируются взвешенными в воде органическими и минеральными нерастворенными частицами и погружаются, постепенно достигая донных отложений. В условиях дефицита кислорода, низких показателях фотоокисления и пониженных температурах, скорость деструкции нефтяных углеводородов значительно снижается. Вместо окисления происходит сульфатредукция и метанообразование, с накоплением токсичных веществ в толще воды (Kondratyeva, 2000). Очистка донных отложений от нефти и нефтепродуктов является одним из актуальных вопросов практической экологии (Vorobiev et al., 2016b). Большинство известных технологий сводятся к механическому сбору нефти с помощью насосных установок, что приводит к изъятию огромного количества грунта и поэтому является крайне трудозатратным и дорогостоящим методом. Сотрудниками Томского государственного университета, совместно со специалистами «НТО Приборсервис» в 2003 году разработали технологию очистки донных отложений от нефти и нефтепродуктов, основанную на молекулярной адгезии нефти на границе раздела двух фаз – воздуха и воды (флотация). Очистка донных отложений методом флотации впервые была проведена в 2004–2005 гг. на нефтезагрязнённом озере Щучье №1 (Усинский район, р. Коми). Проведённые в 2003 году рекогносцировочные исследования озера выявили сильное загрязнение донных отложений (более 50 г/кг) нефтью и полное отсутствие организмов макрозообентоса. По результатам двухлетнего цикла очистных работ, была показана эффективность данной технологии в условиях Заполярья – концентрация нефти в донных отложениях существенно снизилась (в среднем составила менее 4 г/кг), начали появляться бентосные организмы, возросли темпы роста и линейные показатели рыб (Воробьев и др., 2008). Для выяснения степени восстановления экосистемы через значительный промежуток времени и оценки эффективности технологии в долгосрочной перспективе, в 2016 году были проведены гидробиологические обследования озера. Целью исследования является изучение влияния остаточного нефтяного загрязнения на гидробионтов Заполярных водных экосистем и оценка эффективности технологии очистки донных отложений от нефти.

Материал и методы

Озеро Щучье расположено в Усинском районе республики Коми, представляет собой систему из четырёх слабопроточных термокарстовых озёр и является истоком ручья Воргаёль. Общая площадь озера составляет более 56 га. Площадь озера №1, на котором проводились очистные работы и исследования, составляет 6,26 га. Максимальные глубины озера достигают 7 м. Технология очистки, результаты двухлетнего цикла очистных мероприятий и схема озёр подробно изложены в работах: Воробьев (Vorobiev, 2010), Лушников, Воробьев (Lushnikov, Vorobiev, 2006), Воробьев и др. (Lushnikov et al., 2006).

Зоопланктон. Пробы зоопланктона отбирали путем процеживания 50 л воды через планктонную сеть Апштейна, изготовленную из мельничного газа № 70. Содержимое стаканчика планктонной сетки помещали в стеклянный сосуд объемом 0,1 л и фиксировали 10% раствором формалина. Обработку проб в лабораторных условиях производили счетным методом, принятым в гидробиологии, в камере Богорова под бинокулярной стереоскопической лупой Ломо МСП-1 и микроскопом Carl Zeiss Primo Star. Для идентификации видов зоопланктона использовали определители (Opredelitel..., 2010; Smirnov, 1971; Ermolayeva, 2007; Kutikova, 1970). Расчет численности (N , экз./м³) проводился путем пересчета количества особей отдельных видов в пробе на 1 м³. Расчет биомассы (B , мг/м³) производился умножением индивидуального веса особи вида на численность вида в 1 м³. Индивидуальную массу ракообразных и коловраток определяли по длине тела с использованием уравнения зависимости между этими показателями (Balushkina, Vinberg, 1979).

Зообентос. Для взятия проб зообентоса использовали дночерпатель системы Петерсена с площадью захвата 1/80 м². Для устранения возможной ошибки, связанной с неоднородностью распределения гидробионтов, каждая проба зообентоса в одной точке включает содержимое трех-четырёх дночерпателей. Взятую пробу отмывали от мелких фракций ила в промывочном мешке, изготовленном из мельничного газа № 28. Оставшееся содержимое разбирали с помощью лупы и пинцета для извлечения организмов зообентоса. Организмов фиксировали 70% этиловым спиртом в

стеклянных емкостях и этикетировали. Камеральную обработку проб проводили в соответствии с общепринятыми методиками (Metodika..., 1975). В пробах зообентоса определяли численность и биомассу основных экологических групп. Для оценки качества донных отложений и воды использовали численность и биомассу животных (в пересчете на 1 м²); число таксонов (экологических групп) бентосных организмов. О состоянии водотока судят по соотношению олигохет и других обитателей дна. Трофность донных ценозов по показателям биомассы определяли по шкале, предложенной С.П. Китаевым (Kitaev, 2007).

Результаты и обсуждение

Зоопланктон.

В июле-августе 2004 года в шести отобранных зоопланктонных пробах было обнаружено всего восемь видов организмов, что характеризует сообщество как недостаточно развитое для сезона года и для подобного типа водоема. Максимальная численность и биомасса была отмечена во второй половине августа и достигала 7560 экз./м³ и 217 мг/м³, соответственно. В составе зоопланктона были обнаружены виды только из ветвистоусых (Cladocera) и веслоногих (Copepoda) рачков, главным образом, пелагических фильтраторов (*Bosmina obtusirostris*, *Heterocopa appendiculata*, *Eudiaptomus gracilis* и др.), а также один представитель хищников (род *Cyclops*). Набор видов, в целом, типичный для довольно крупного слабопроточного северного водоема. Зоопланктон был представлен в основном видами с арктическим и голарктическим распространением. По отношению к степени трофии (сапробности), в зоопланктоне преобладали олиго-беттамезасапробные виды, и был встречен один эврибионтный вид (*Chydorus sphaericus*). Индекс видового разнообразия Шеннона, рассчитанный для июля, был невысокий (1,8), в этот период сообщество находилось в фазе становления. О более-менее благополучном состоянии сообщества может свидетельствовать большая доля молодежи (64%) в общей численности и преобладание по типу питания видов фильтраторов. В августе численность зоопланктона увеличивалась в 2-3 раза; увеличилось также число обнаруженных видов (с 5 до 8). Произошло увеличение показателя индекса видового разнообразия (до 2,4). Возможно, стимулирующее развитие сообщества влияние оказало внесение удобрений, за счёт увеличения кормовой базы. Состояние поверхностного слоя воды по состоянию зоопланктона находилось в пределах III класса (вода "умеренно загрязненная").

Летом 2005г. в воде оз. Щучье №1 обнаружено большее число видов зоопланктона (6), по сравнению с аналогичным периодом 2004 г. Численность в июле не превышала 2400 экз./м³, в августе достигала 6500 экз./м³. Биомасса в июле и августе достигала, соответственно, 74 и 179 мг/м³ (Рис. 1, 2) В составе зоопланктона впервые с начала наблюдений были обнаружены типичные для подобных водоемов виды из коловраток (преимущественно *Kellicottia longispina*) (Рис. 1). Также отмечены ветвистоусые и веслоногие рачки из отрядов Cyclopoida и Calanoida. Обнаруженные виды представлены, главным образом, пелагическими фильтраторами (*Daphnia*, *Bosmina obtusirostris*, *Eudiaptomus gracilis*) и эвритопными формами (только *Chydorus sphaericus*), а также хищниками (*Heterocopa appendiculata*, *Macrocyclus albidus*, представители из рода *Cyclops*). Виды зоопланктеров являлись либо широко распространенными (*Daphnia longispina*, *Ceriodapnia quadrangula*, *Chydorus sphaericus*), либо преимущественно арктического или северного распространения (*Kellicottia longispina*, *Bosmina obtusirostris*, *Heterocopa appendiculata*). На обследованных участках водоема в сроки отбора проб доминировали веслоногие рачки (*Eudiaptomus gracilis*, *Heterocopa appendiculata*) и их молодежь, в роли субдоминантов были ветвистоусые рачки босмина или дафния.

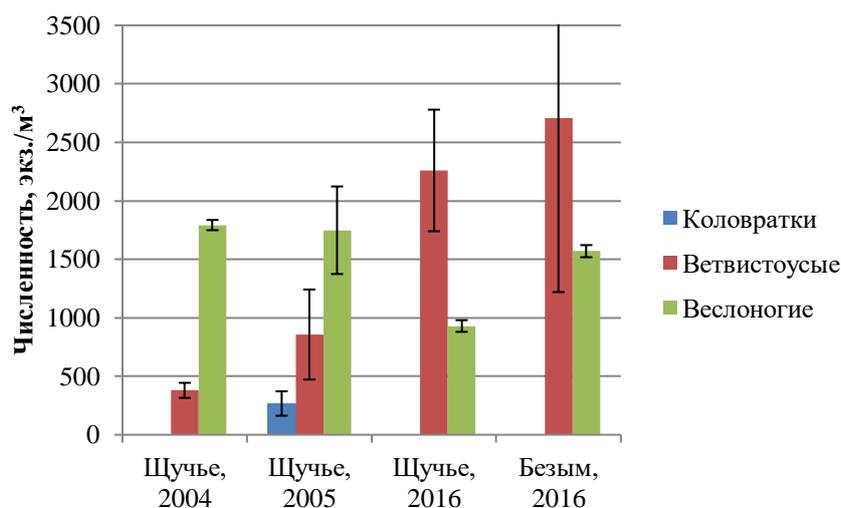


Рис. 1. Численность (экз./м³) зоопланктона в оз. Щучье №1 и в оз. Безымянное в июле в разные годы исследования.

По отношению к степени трофии воды, в зоопланктоне озер преобладали олиго-беттамезасапробные виды, периодически встречался эврибионтный вид *Chydorus sphaericus*. Помимо озера Щучье в 2005 году проводили гидробиологическое обследование незагрязненного озера Безымянное, расположенное в том же районе. Результаты химического анализа проб донных отложений и воды оз. Безымянного свидетельствуют об отсутствии загрязнения нефтяными углеводородами. Были показаны значительные превосходства в численности и видовом богатстве

зоопланктона оз. Безымянного. Всего в этом озере было обнаружено 15 видов зоопланктона, общая средняя численность достигала 6000 экз./м³.

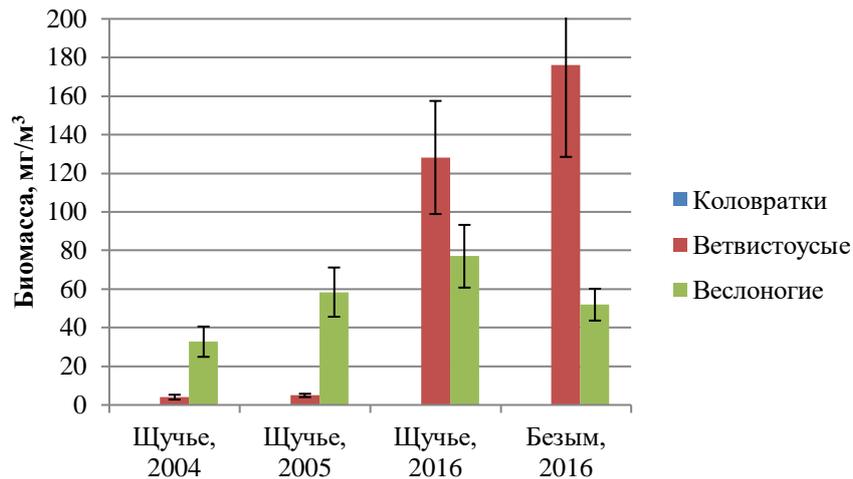


Рис. 2. Биомасса (мг/м³) зоопланктона в оз. Щучье №1 и в оз. Безымянное в июле в разные годы исследования.

В исследуемый период 2016 г. (вторая половина июля) в составе зоопланктона озёр Щучье и Безымянное обнаружены 20 видов зоопланктона. В оз. Безымянное выявлены 15 видов, в озере Щучьем – 17. По видовому составу зоопланктон исследованных озёр сходен, но в оз. Щучьем отмечается большее видовое разнообразие. Обилие зоопланктона было невелико и не превышало 7900 экз./м³ и 450 мг/м³, что соответствует α-олиготрофным водоемам по шкале С.П. Китаева (2007). Наиболее обильными видами в исследованных озерах были ветвистоусые рачки: *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus*, *Polyphemus pediculus*, *Grraptoleberis testudinaria*, которые встречались почти на каждой станции отбора проб. Состав и обилие зоопланктона на отдельных участках исследованных озёр значительно отличались. Это свидетельствует об отличиях в экологических условиях по акватории озера – на мелководных участках имеются заросли макрофитов. В оз. Щучьем, несмотря на большее видовое разнообразие, обилие зоопланктона было меньше, однако достоверные отличия отмечены только в численности веслоногих, причем их биомасса была выше в оз. Щучьем. Состав доминирующих видов на станциях отбора проб был разным.

Сравнивая количественные показатели и видовое богатство зоопланктона оз. Щучье с 2004 по 2016 гг., прослеживается четкая тенденция увеличения численности (Рис. 1), биомассы (Рис. 2) и количества видов зоопланктона. Причем наибольшее значение имеет не изменение общей численности, а возрастание видового разнообразия, которое в 2016 году достигает показателей незагрязненного озера Безымянное. Тем не менее, выявленные отличия в видовом составе и количественных показателей зоопланктона фонового и импактного водоёмов является показателем неполного восстановления экосистемы в результате проведения очистных мероприятий, что свидетельствует о длительном процессе восстановления водной экосистемы после нефтяного загрязнения. Следует отметить, что химический анализ проб воды на содержание нефтяных углеводородов показал, что в разных частях озера концентрация нефтепродуктов варьировала в пределах от 0,024 до 0,052 мг/л, что соответствует ПДК для вод рыбохозяйственного назначения. Зообентос.

В результате обследования макрозообентоса оз. Щучье в 2005 году было обнаружено 8 групп донных животных (брюхоногие моллюски, двустворчатые моллюски, хирономиды, клещи, олигохеты, пиявки, стрекозы, поденки). Непосредственно в донных отложениях было встречено всего три группы – олигохеты, хирономиды и двустворчатые моллюски, остальные были собраны с высшей водной растительности с помощью гидробиологического скребка. Более качественное разнообразие макрозообентоса зарослей прибрежной водной растительности, по сравнению с детритно-илистыми отложениями, связано с тем, что организмы, использующие в качестве субстрата водные растения, больше зависят от качества воды, а не от качества грунта. Максимальные количественные показатели были отмечены у группы олигохет – до 4080 экз./м³ (среднее – 530) и 6,1 г/м³ (среднее – 0,76) (Рис. 3, 4). Двустворчатые моллюски и хирономиды играли заметно меньшую роль в составе исследуемых ценозов по количественным показателям, в среднем составляя 20 и 30 экз./м³, 0,15 и 0,06 г/м³. Трофность детритно-илистых биотопов оз. Щучье колебалась в пределах от очень низкого (α-олиготрофного) до среднего (β-мезотрофного) класса трофности. По среднему показателю трофности исследуемые биотопы были отнесены к очень низкому классу трофности (α-олиготрофному) по шкале Китаева. Химический анализ донных отложений оз. Щучье на содержание нефтяных углеводородов показал, что их средняя концентрация составляет 0,9 мг/кг.

В оз. Безымянное также обследовались 2 типа ценозов – детритно-илистые отложения и прибрежная зона (заросли водной растительности). В детритно-илистых отложениях было выявлено 4 группы организмов: олигохеты, хирономиды, поденки и брюхоногие моллюски. Самыми многочисленными были хирономиды – до 2720 экз./м³ (среднее – 514) и 1,2 г/м³ (среднее – 0,32). Самой малочисленной группой были поденки. В среднем по показателю трофности исследуемые детритно-илистые биотопы отнесены к очень низкому классу трофности (α-олиготрофному) по шкале Китаева. В прибрежной зоне озера Безымянное было отмечено 9 групп макрозообентоса: олигохеты, хирономиды, двустворчатые моллюски, хелеиды, ручейники, пиявки, клещи, брюхоногие моллюски и веснянки.

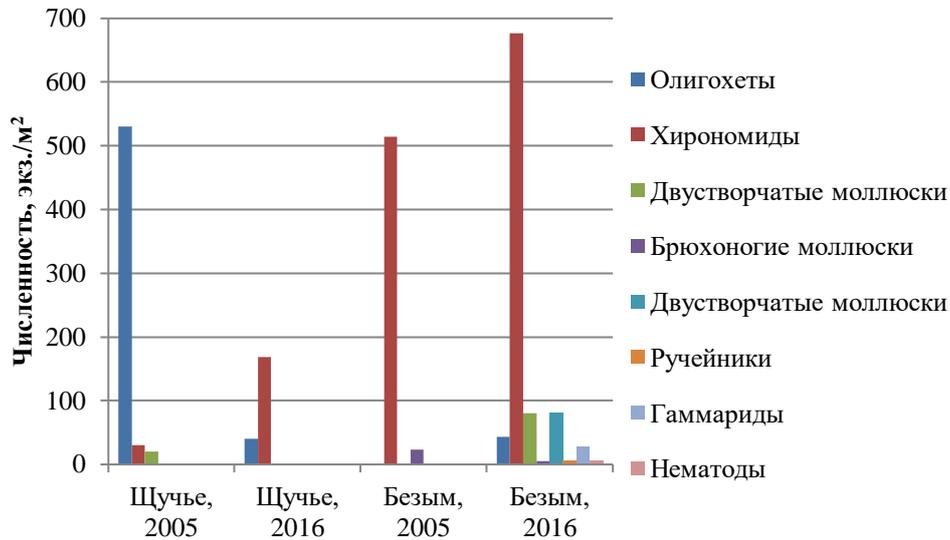


Рис. 3. Численность (экз./м²) макрозообентоса в оз. Щучьем №1 и в оз. Безымянное в июле в разные годы исследования.

В результате обследования макрозообентоса озера Щучье в 2016 году было обнаружено 2 группы донных животных – хириномиды и олигохеты. Доминирование от олигохет перешло к хириномидам, которые в среднем составляли 169 экз./м³ и 0,25 г/м³. В среднем, трофность детритно-илистых биотопов озера Щучье №1 за прошедший период не изменилась и отражала, как и в 2005 году, α-олиготрофный класс (очень низкая трофность) по шкале Китаева.

В детритно-илистых отложениях оз. Безымянного в 2016 году было выявлено большее число групп бентоса (хириномиды, олигохеты, моллюски двустворчатые и брюхоногие, гаммариды, ручейники, нематоды). Самой многочисленной группой, как и в 2005 году была группа хириномид, в среднем составляя 677 экз./м³ и 1,6 г/м³. Трофность детритно-илистых биотопов оз. Безымянного в 2005 году отражала очень низкий класс – α-олиготрофный, а в 2016 году немного повысилась и составила β-олиготрофный класс.

Сравнение качественного состава макрозообентоса оз. Щучье и оз. Безымянного в 2005 и 2016 гг. показало, что макрозообентическая фауна оз. Щучье беднее как по количеству основных экологических групп, так и по видовому разнообразию внутри некоторых групп, характерных для обоих водоемов. Некоторые группы (брюхоногие моллюски, двустворчатые моллюски, хириномиды, клещи) встречались в обоих озерах, однако видовое разнообразие оз. Щучье было беднее. Исключением была группа пиявок, которая имела большее разнообразие в оз. Щучьем. Изменение олигохетного комплекса на хириномидный, как по численности, так и по биомассе, свидетельствует об улучшении условий, так как хириномиды более чувствительны к качеству среды обитания.

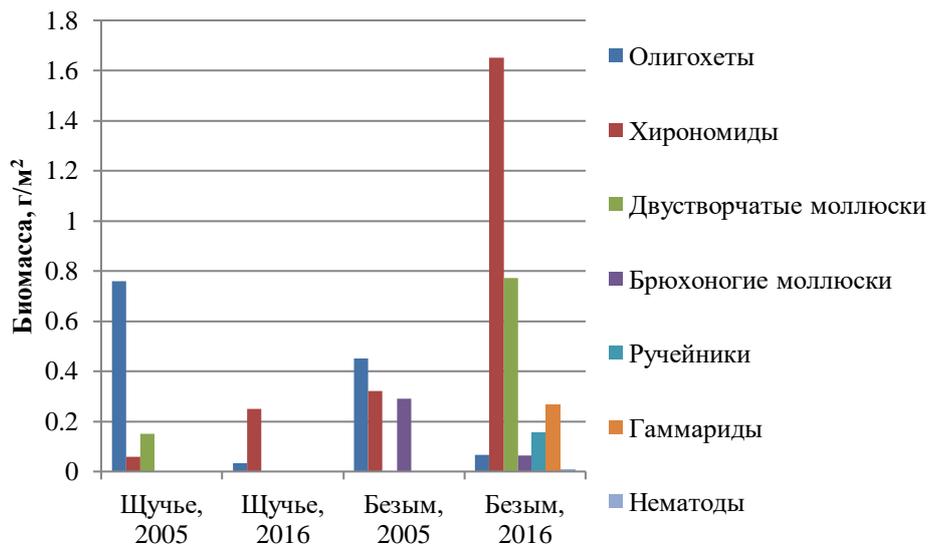


Рис. 4. Биомасса (г/м²) макрозообентоса в оз. Щучье №1 и в оз. Безымянное в июле в разные годы исследования.

Выводы

После проведения очистных мероприятий по очистке донных отложений от нефти происходит практически полное восстановление зоопланктонных сообществ – за 11 лет количественные и качественные показатели соответствуют

фооновым показателям незагрязненного озера. Сообщества макрозообентоса восстанавливаются очень медленно и незначительно увеличивают свою численность за аналогичный период, несмотря на низкое содержание нефтяных углеводородов в донных отложениях. Показана высокая эффективность технологии очистки донных отложений от нефти методом флотации, которая позволяет достигать снижения концентрации нефтяных углеводородов до 0,9 мг/кг за два летних сезона.

Благодарности

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 6.7494.2017/9.10.

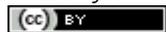
References

- Abdurahmanov, G. M., Ahmedova, G. A., Gasangadzhieva, A. G. (2006). Zagryaznenie zapadnoy chasti Srednego Kaspiya neftyanymi uglevodorodami i biologicheskoe raznoobrazie. Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta, 3(32), 151-158. (In Russian).
- Abdusamadov, A. S., Abdurahmanov, G. M., Dohtukaeva, A. M., & Dudurhanova, L. A. (2011). Zagryaznenie melkovodnoy pribrezhnoy opresnennoy zony i shelfa zapadnoy chasti Kaspiyskogo morya i ego vliyanie na biotu i vosproizvodstvo ryib. Yug Rossii: ekologiya, razvitie, (2), 37-62 (In Russian).
- Aleshina, O. A., & Chukanova, S. V. (2005). Sostoyanie malyyh vodotokov g. Tyumeni po pokazatelyam makrozoobentosa. Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. (4). 204-212. (In Russian)
- Almeda R., Wambaugh, Z., Wang, Z., Hyatt, C., Liu, Z., & Buskey, E. J. (2013). Interactions between zooplankton and crude oil: toxic effects and bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons. PLoS one, 8(6), e67212. doi:10.1371/journal.pone.0067212.
- Almeda, R., Baca, S., Hyatt, C., & Buskey, E. J. (2014). Ingestion and sublethal effects of physically and chemically dispersed crude oil on marine planktonic copepods. Ecotoxicology, 23(6), 988-1003. doi 10.1007/s10646-014-1242-6.
- Balushkina, E. V., & Vinberg, G. G. (1979). Zavisimost mezhdu dlinoy i massoy tela planktonnykh rakoobraznykh. In Eksperimentalnye i polevyie issledovaniya biologicheskikh osnov produktivnosti ozer (pp. 58-79). Leningrad: Nauka. (In Russian).
- Carls, M. G., Marty, G. D., & Hose, J. E. (2002). Synthesis of the toxicological impacts of the Exxon Valdez oil spill on Pacific herring (*Clupea pallasii*) in Prince William Sound, Alaska, USA. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 59(1), 153-172.
- Cohen, J.H., McCormick, L.R., & Burkhardt, S.M. (2014). Effects of dispersant and oil on survival and swimming activity in a marine copepod. Bulletin of environmental contamination and toxicology, 92(4), 381-387. doi: 10.1007/s00128-013-1191-4.
- Commendatore, M. G., Esteves, J. L., & Colombo, J. C. (2000). Hydrocarbons in coastal sediments of Patagonia, Argentina: levels and probable sources. Marine Pollution Bulletin, 40(11), 989-998. doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00042-4.
- Elmgren, R., Hansson, S., Larsson, U., Sundelin, B., & Boehm, P. D. (1983). The "Tsesis" oil spill: acute and long-term impact on the benthos. Marine Biology, 73(1), 51-65.
- Ermolaeva, N. I. (2007). Veslonogie raki semeystva Cyclopidae vodoemov Ob-Irtyshskogo basseyna. Novosibirsk. (In Russian).
- Fefilova, E. B., & Dobryinina, T. I. (2010). Opredelitel zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeyskoy Rossii. V.R Alekseev, S.Ya. Tsalolihin (Eds.). Moscow. (In Russian).
- Jiang, Z., Huang, Y., Chen, Q., Zeng, J., & Xu, X. (2012). Acute toxicity of crude oil water accommodated fraction on marine copepods: the relative importance of acclimatization temperature and body size. Marine environmental research, (81), 12-17. doi.org/10.1016/j.marenvres.2012.08.003.
- Kitaev, S. P. (2007). Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ihtiologov. Karelskiy nauch. tsentr RAN. (In Russian).
- Kondrateva, L. M. (2000). Vtorichnoe zagryaznenie vodnykh ekosistem. Vodnyie resursy, 27(2), 221-231. (In Russian).
- Kutikova, L. A. (1970). Kolovratki fauny SSSR. Moscow. (In Russian).
- Lee, K. (2002). Oil-particle interactions in aquatic environments: influence on the transport, fate, effect and remediation of oil spills. Spill Sci. Technol. Bull, 8(1), 3-8. doi.org/10.1016/S1353-2561(03)00006-9.
- Lozovoy, D. V. (2012). Vliyanie neftyanikh uglevodorodov na baykalskie organizmy v estestvennykh i laboratornykh usloviyakh. Georesursy, 43(1), 53-57 (in Russian).
- Lushnikov, S. V., & Vorobev, D. S. (2006). Ochistka donnykh otlozheniy ot nefti (rezultaty eksperimentalnykh rabot). Ekologiya i promyshlennost Rossii, (10), 11-13. (In Russian).
- Lushnikov, S. V., Frank, Y. A., & Vorobyov, D. S. (2006). Oil decontamination of bottom sediments experimental work results. Earth Sciences Research Journal, 10(1), 35-40.
- Makrushin, A. V., Semenova, A. S., Dubovskaya, O. P., Fefilova, E. B., Rodionova, N. V., & Lazareva, V. I. (2014). Vliyanie zagryazneniya na presnovodnykh planktonnykh Cladocera (Crustacea). Astrahanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya, 29(3), 38-45. (In Russian).
- Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennih vodoemov. (1975). F.D. Morduhay-Boltovskiy (Ed.). Moscow. Nauka (In Russian).
- Miller, M. C., Alexander, V., & Barsdate, R. J. (1978). The effects of oil spills on phytoplankton in an arctic lake and ponds. Arctic, 31(3), 192-218.
- Popkov, V. K., Vorobev, D. S., Luyantseva, L. V., & Ruzanova, A. I. (2002). Basseyn reki Vasyugan (srednyaya Ob) kak model poymenno-rechnoy sistemy dlya izucheniya vliyaniya neftyanogo zagryazneniya na vodnyie soobshchestva. In Ekologo-biogeohimicheskie issledovaniya v basseyne Obi (pp. 220-245). (In Russian).

- Ruzanova A.I., & Vorobev D.S. (2001). Sostoyanie donnyih soobschestv basseyna reki Yagyilyah (rayon neftnyih mestorozhdeniy). Ekobiotehnologiya: borba s neftnyim zagryazneniem okruzhayushey sredy. Puschino: IBFM RAN. 14–16. (In Russian).
- Ruzanova, A. I., & Vorobev, D. S. (1999). Transformatsiya donnyih soobschestv v usloviyah neftyanogo zagryazneniya. Ekologiya poym si birskih rek i Arktiki/Pod red. VV Zueva. Novosibirsk: Izdatelstvo SO RAN, 71-78 (In Russian).
- Smirnov, N. N. (1971) Chydoridae faunyi mira. Moscow. (In Russian)
- Vorobiev, D. S. (2006). Vliyanie nefti i nefteproduktov na makrozoobentos. Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 309(3). 42–45. (In Russian).
- Vorobiev, D.S. (2010). Sistema ochistki donnyih otlozheniy vodoemov ot nefti i/ili nefteproduktov. Patent RF #2381994. Izobretenie. Patentobladatel: Otkryitoe aktsionernoe obschestvo "Tomskiy nauchno-issledovatel'skiy i proektnyy institut nefti i gaza" (LTD "TomskNIPIneft"), zayavka: 2008122664/15, 04.06.2008 (In Russian).
- Vorobev, D. S., Tumanov, M. D., Noskov, Yu. A., Lushnikov, S. V., & Frank, Yu. A. (2008). Ihtioindikatsionnaya otsenka effektivnosti meropriyatiy po ochistke donnyih otlozheniy i vodyi oz. Schuche ot nefti. Problemy regionalnoy ekologii, (1), 125-130. (In Russian).
- Vorobiev, D. S., & Noskov, Y. A. (2015). Oil contamination of the Ob basin. *International Journal of Environmental Studies*, 72(3), 509-515.
- Vorobiev, D. S., Noskov, Y. A., Popkov, V. K., & Ruzanova, A. I. (2016a). Benthic invertebrate community floodplain-river system basin Vasyugan (middle Ob): Consequences of oil field exploration. In O. S. Pokrovsky (Ed.). [Riparian Zones: Characteristics, Management Practices and Ecological Impacts](#) (pp. 311–327). Nova Science Publishers, Inc.
- Vorobiev, D. S., Frank, Y. A., Noskov, Y. A., Merzlyakov, O. E., & Kulizhskiy, S. P. (2016b). Novel technological solution for oil decontamination of bottom sediments. *Water Practice and Technology*, 11(1), 139-143.

Citation:

Noskov, Y.A., Vorobiev, D.S. (2017). Recovery of aquatic invertebrate communities as a result of oil decontamination of bottom sediments. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(4), 407–413.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0. License
