

## ФИТОРЕМЕДИАЦИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ СТОЧНОЙ ВОДЫ

Результаты наших исследований показывают, что применение метода фиторемедиации – снижения нефтяного загрязнения сточной воды при помощи нефтотолерантных гидробионтов растений – во многом основывается на стимуляции естественного гидробионтного сообщества. В результате было установлено, что состав анализируемой воды представлен 24 видами гидробионтов, из которых 12 видов альгофлоры, 12 видов протозойных и беспозвоночных организмов, и были выделены 25 активных культур микроорганизмов. В результате сочетанного влияния высших водных растений и микроорганизмов на доочистку нефтесодержащих сточных вод воды очищаются от нефтепродуктов на 94%.

**Ключевые слова:** высшие водные растения, сточные воды, нефтяные загрязнения, фиторемедиация, роголистник погруженный, рдест кудрявый.

Вопросы водообеспечения и загрязнения водных ресурсов выходят за границы сугубо национальных проблем. Наиболее широко распространенными загрязнителями сточных вод являются нефтепродукты – неидентифицированная группа углеводов нефти, мазута, керосина, масел и их примесей, которые вследствие их высокой токсичности принадлежат, по данным ЮНЕСКО, к числу десяти наиболее опасных загрязнителей окружающей среды. В настоящее время в Республике Казахстан усиленно разрабатывается нефтегазовая отрасль, поэтому защита окружающей среды от нефтесодержащих сточных вод – одна из главных задач. Мероприятия, направленные на очистку воды от нефти, помогут сберечь определенные количества нефти и сохранить чистым воздушный и водный бассейны [1, 2].

Для очистки сточных вод от токсичных ингредиентов, в том числе от нефти и нефтепродуктов, широко используют высшие водные растения [3]. Однако сам процесс очистки состоит из ряда подпроцессов, в которых принимают участие все члены ризосферного биоценоза. Водоросли и высшие водные растения помимо сорбционной функции в результате фотосинтетической деятельности обогащают воду кислородом и этим создают условия для аэробных микроорганизмов – основных агентов минерализации органических загрязнений [4].

Таким образом, объектом наших исследований являлись сточные воды Атырауского нефтяного месторождения. Для изучения влияния высших водных растений на гидробиологический состав сточных вод Атырауского нефтяного месторождения были использованы: роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum L.*), рдест кудрявый (*Potamogeton crispus*).

Первым этапом исследований было определение гидробиологического состава сточной воды. В результате было установлено, что состав анализируемой воды представлен 24 видами гидробионтов, из которых 12 видов альгофлоры, 12 видов протозойных и беспозвоночных организмов, и были выделены 25 активных культур микроорганизмов. По результатам микробиологических исследований мы предварительно отнесли их к роду *Bacillus subtilis*.

Сравнительный анализ влияния *Ceratophyllum demersum L.* и *Potamogeton crispus* на сточные воды Атырауского нефтяного месторождения выявил различия их действия на видовой состав гидробионтов (таблица 1).

Как показано в таблице 1, использование *Potamogeton crispus* для фиторемедиации нефтесодержащей сточной воды привело к развитию новых гидробионтов (8 видов), таких как: *Hironotus lammela*, *Cercobodo longicauda*, *Monas termo*, *Trinema enchelys*, *Actinophrys sol*, *Trachelomonas Allsevlana*, *Nitzschia sigmoidea*, *Roya cambrica*. Причем наряду с появлением новых видов гидробионтов (6 видов) некоторые из них не были выявлены в сравнении с контролем: *Mastigamoeba reptans*, *Mayerella lacona*, *Polychous taskiculatum*, *Phormidium retzii*, *Euglena viridis*, *Scenedesmus acuminatus*. Общее количество выявленных гидробионтов при использовании *Potamogeton crispus* увеличилось с 24 видов до 26 видов.

Напротив, применение *Ceratophyllum demersum L.* для фиторемедиации нефтесодержащей сточной воды снизило общее количество видов гидробионтов с 24 до 22 видов по сравнению с контролем. Наряду с этим наблюдалось также изменение видового состава среди выявленных гидробионтов. Например, были выявлены следующие виды гидробионтов, отсутствующие в

контроле: *Nitzschia sigmoidea*, *Diatoma vulgare*, *Dictyococcus irregularis*, *Oscillatoria chalybea*, *Bodo saltans*, *Bodo globosus*, *Cercobodo radiatus*, *Monas termo*, *Litonotus lamella*, *Hemiofphora procera*. Общее количество «новых» гидробионтов составило 10 видов. Количество «исчезнувших» видов гидробионтов составило 12 видов, таких как: *Scenedesmus acuminatus*, *Volvox polychlamys*, *Synedra ulna*, *Pinnularia viridis*, *Phormidium retzii*, *Oscillatoria nigra*, *Bodo minimus*, *Mastigamoeba reptans*, *Mayerella lacona*, *Polychous taskiculatum*, *Cyclidium citrillus*, *Uronema nigricans*.

Сравнительный анализ показывает, что применение *Potamogeton crispus* для фиторемедиации нефтезагрязненной воды ведет к более значительному изменению видового состава гидробионтов, чем применение *Ceratophyllum demersum* L., хотя в первом случае видовой состав «богаче».

Затем были изучены морфофизиологические и биохимические свойства выделенных культур микроорганизмов. В ходе экспериментальных исследований осуществлен подбор концентрации нефтепродуктов в жидких и плотных питательных средах для культивирования выделенных бактериальных штаммов в лабораторных условиях. Результаты исследований показали, что активность микроорганизмов с увеличением процентного содержания нефти (1–10%) в среде уменьшилась и в опыте с концентрацией нефти 5 и 10% прирост относительно контроля уже не наблюдался.

Для быстрого скрининга микроорганизмов, усваивающих различные углеводороды нефтепродуктов в качестве единственного источника углерода и энергии, были использованы различные нефтепродукты: дизельное топливо, нефть, толуол. Было установлено, что ряд культур способен их активно потреблять.

Культуры  $V_1 10^5$ ,  $T_2 10^5$ ,  $T_1 10^7$ , выделенные из сточной воды и прикорневой зоны растений, загрязненных нефтью, интенсивно растут на минеральной среде с дизельным топливом и нефтью. Культуры  $TA_{10^7}$ ,  $TA_{10^7}$ ,  $P_{10^5}$ ,  $P_{10^7}$ , вы-

Таблица 1. Влияние *Ceratophyllum demersum* L. и *Potamogeton crispus* на гидробиологический состав воды Атырауского нефтяного месторождения

Контроль	<i>Potamogeton crispus</i>	<i>Ceratophyllum demersum</i>
<b>Chlorophyta:</b> <i>Volvox polychlamys</i> <i>Chlorella vulgaris</i> <i>Scenedesmus quadricauda</i> <i>Scenedesmus acuminatus</i>	<b>Chlorophyta:</b> <i>Roya cambrica</i> <i>Volvox polychlamys</i> <i>Chlorella vulgaris</i> <i>Scenedesmus quadricauda</i>	<b>Chlorophyta:</b> <i>Chlorella vulgaris</i> <i>Scenedesmus quadricauda</i>
<b>Diatomophyta:</b> <i>Nitzschia filiformis</i> <i>Synedra ulna</i> <i>Pinnularia viridis</i> <i>Bacillaria paradoxa</i>	<b>Diatomophyta:</b> <i>Nitzschia filiformis</i> <i>Nitzschia sigmoidea</i> <i>Synedra ulna</i> <i>Pinnularia viridis</i> <i>Bacillaria paradoxa</i>	<b>Diatomophyta:</b> <i>Nitzschia filiformis</i> <i>Nitzschia sigmoidea</i> <i>Bacillaria paradoxa</i> <i>Diatoma vulgare</i>
<b>Cyanophyta:</b> <i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Microcystis f. flos-aquae</i> <i>Phormidium retzii</i> <i>Oscillatoria nigra</i>	<b>Cyanophyta:</b> <i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Microcystis f. flos-aquae</i> <i>Oscillatoria nigra</i>	<b>Cyanophyta:</b> <i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Microcystis f. flos-aquae</i> <i>Oscillatoria nigra</i> <i>Dictyococcus irregularis</i> <i>Oscillatoria chalybea</i>
<b>Euglenophyta:</b> <i>Euglena viridis</i> <i>Trachelomonas Allsevlana</i> <i>Trachelomonas dictyophora</i>	<b>Euglenophyta:</b> <i>Trachelomonas Allsevlana</i> <i>Trachelomonas dictyophora</i>	<b>Euglenophyta:</b> <i>Trachelomonas Allsevlana</i> <i>Euglena viridis</i>

Таблица 2. Характер роста некоторых культур углеводородокисляющих микроорганизмов на углеводородах нефти

Культуры	Толуол	Дизельное топливо	Нефть
$V_1 10^5$	+++	+++	+++
$T_2 10^5$	+++	+++	+++
$T_1 10^7$	+++	+++	+++
$TA_{10^7}$	+	+++	+++
$TA_1 10^7$	+	++	+++
$P_{10^5}$	+	++	+++
$P_{10^7}$	+	+++	+
$TA_1^1$	+	++	++
$TA_2$	+	++	++
$TA_{10^7_1}$	+	++	+
$V_1$	+	++	++
$V_2 10$	+	+	+

деленные из воды и из корней растений, загрязненных дизельным топливом, интенсивно растут на минеральной среде с дизельным топливом и нефтью, а на среде с добавлением толуола наблюдается слабый рост (таблица 2). Культуры  $TA_1^1$ ,  $TA_2$ ,  $TA_{10^7_1}$ ,  $V_2 10$ ,  $V_1$  отмечают слабый рост на толуолсодержащей среде, а на средах с нефтью и дизельным топливом отмечался рост средней интенсивности.

Эти результаты можно объяснить тем, что дизельному топливу и нефти свойственны природные особенности, т.к. нефть является природным соединением, а дизельное топливо не подвергается особой химической переработке.

Именно эти природные свойства позволяют микроорганизмам расти и размножаться в этой среде и использовать углеводороды в качестве комфортной среды обитания. Тогда как толуол является продуктом глубокой химической переработки и в связи с этим приобретает иные свойства, отличающие его от природной нефти. Этим объясняется более слабый рост культур в толуолсодержащей среде.

Следующим этапом было совокупное определение влияния *Ceratophyllum demersum L.* и *Potamogeton crispus* и микроорганизмов на физико-химические показатели сточных вод. Результаты этих исследований показаны в таблице 3. Раздельное влияние *Ceratophyllum demersum L.* и *Potamogeton crispus* было незначительным (данные не показаны).

В анализируемой воде было выявлено превышение ПДК для сточных вод по следующим параметрам: нефтепродукты, сухой остаток, рН, хлориды, сульфаты, хром. В результате сочетанное влияние *Ceratophyllum demersum L.* и *Potamogeton crispus* и микроорганизмов привело к восстановлению этих показателей до значений определенных ПДК к сточным водам. Содержание нефтепродуктов после фиторемедиации снизилось с 6,9 мг/дм<sup>3</sup> до значений менее 0,01 мг/дм<sup>3</sup>, количество сульфатов снизилось в три раза и в количественном выражении составило 320 мг/дм<sup>3</sup>. Количество хрома снизилось с 0,07 мг/дм<sup>3</sup> до менее чем 0,04 мг/дм<sup>3</sup>. Нормализовались значения рН воды с 9,2 до 7,2. Наряду с этим улучшились такие показатели сточной воды, как цветность – от 40 град. до 15

Таблица 3. Физико-химические показатели сточной воды Атырауского нефтяного месторождения

Наименование показателей	Единицы измерений	Физико-химические показатели сточных до применения растений и микроорганизмов	Физико-химические показатели сточных после применения растений и микроорганизмов	Нормативы (ПДК), не более
По внешнему виду вода – жидкость содержит взвешенные вещества, поверхностно плавующей пленки и пятен минеральных масел				
Запах при 20,0 <sup>0</sup> С	баллы	2	0	1
Общая жесткость	ммоль\дм <sup>3</sup>	4,4	6,70	не нормируется
Цветность	град.	40	15	не нормируется
Мутность	мг\дм <sup>3</sup>	6	1,79	не нормируется
рН	единица рН	9,2	7,2	6,5-8,5
Сухой остаток	мг\дм <sup>3</sup>	1100,0	800,0	1000,0
Хлориды	мг\дм <sup>3</sup>	152,0	145,0	350,0
Гидрокарбонаты	мг\дм <sup>3</sup>	320	195,2	не нормируется
Йод	мг\дм <sup>3</sup>	0,01	≤ 0,01	не нормируется
Кальций	мг\дм <sup>3</sup>	92	41	не нормируется
Магний	мг\дм <sup>3</sup>	1,1	≤ 0,2	не нормируется
Окисляемость перманганатная	мгО <sub>2</sub> \дм <sup>3</sup>	8,5	9,6	не нормируется
Нитриты	мг\дм <sup>3</sup>	3,2	0,2	3,3
Нитраты	мг\дм <sup>3</sup>	43	9,8	45,0
Аммиак	мг\дм <sup>3</sup>	≤ 0,02	≤ 0,01	2,0
Нефтепродукты	мг\л	6,9	≤ 0,01	0,01
Хром	мг\дм <sup>3</sup>	0,07	≤ 0,04	0,05
Медь	мг\дм <sup>3</sup>	≤ 0,02	≤ 0,02	1,0
Цианиды	мг\дм <sup>3</sup>	≤ 0,008	≤ 0,008	0,035
Марганец	мг\дм <sup>3</sup>	≤ 0,01	≤ 0,1	0,1
Фториды	мг\дм <sup>3</sup>	0,24	≤ 0,2	1,2-1,5
Сульфаты	мг\дм <sup>3</sup>	960,0	320	500,0
Цинк	мг\дм <sup>3</sup>	0,12	0,08	1,0
Железо	мг\дм <sup>3</sup>	0,22	0,06	0,3

град. – и мутность – от 6 мг/дм<sup>3</sup> до 1,79 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация биогенных элементов в виде нитратов, аммония и цианидов уменьшается до следовых.

Таким образом, наши результаты показали, что при сочетанном влиянии высших водных растений и микроорганизмов на доочистку

нефтедержащих сточных вод воды очищаются от нефтепродуктов на 94%. Интенсификация процесса очистки происходит за счет высокой скорости вегетативного размножения, большой рабочей площади корневой системы растений и способствующей развитию гидробионтов.

16.03.2010

**Список литературы:**

1. Водные ресурсы Казахстана в новом тысячелетии. Обзор. – Алматы, 2004, Публикации ПРООН, 7-10 с.
2. Нагметова А.Б., Макенова А.М., Куспакова А.Ш. К вопросу о повторном использовании сточных вод // Тез. конф. «Актуальные проблемы экологии», 7-9 декабря. – Алматы, 2004. – С. 17-19.
3. Пономарев В.Г., Иоакимис Э.Г., Монгайт И.Л. Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. – М.: Химия, 1985. 256 с.
4. Морозов Н.В., Николаев В.Н., Петрова Р.П., Ахмадиев Г.М., Магалимов А.Ф., Пупынин И.А., Подольский В.А. Способ очистки сточных вод в биологических прудах / Авт. свид. № 918277 СССР МКИЗ С 02 F 3/32. Бюл. изобр., 1982. №13.

**Сведения об авторах:**

**Хантурин Марат Рашидович**, заведующий кафедры управления и инжиниринга в сфере охраны окружающей среды Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, доктор биологических наук, профессор

**Оспанова Жанна Хожановна**, кафедра управления и инжиниринга в сфере охраны окружающей среды Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, кандидат биологических наук 080001, Республика Казахстан, г. Астана, ул. Мунайпасова, 3, тел. (7172)499681, e-mail: ojk\_44@mail.ru

Ospanova Zh.Kh., Khanturin M.R.

Phytoremediation of the oil-polluted effluent water

The results of their studies show that the application of a method of phytoremediation - reduction in the petroleum pollution of effluent with the aid of the oil-tolerant hydrobiont plants - in many respects is based on the stimulation of natural hydrobiont association. It was as a result established that the composition of the analyzed water was 24 forms of the hydrobionts, from which 12 forms of algoflora, 12 forms of protozoal and invertebrate organisms, and were isolated 25 active cultures of microorganisms. As a result summed influence of the highest aqueous plants and microorganisms on the refining of the petroleum-containing effluent waters are cleaned from the petroleum products to 94%.

Key words: the highest aqueous plants, effluents, petroleum pollution, phytoremediation, moross-weed, pond weed curly.

**References:**

1. Water resources of Kazakhstan in the new millennium. Review. - Almaty. 2004, UNDP Publications, 7-10 pp.
2. Nagmetova A.B., Makenova A.M., Kuspakova A.S. On the reuse of wastewater / Thes.conf. «Actual problems of ecology», 7-9 December - Almaty, 2004. 17-19 pp.
3. Ponomarev V.G., Ioakimis E.G., Mongait I.L. Wastewater refinement. - M.: Chemistry, 1985, 256 pp.
4. Morozov N.V., Nikolaev V.N., Petrova R.P., Ahmadiyev G.M., Magalimov A.F., Pupyinin I.A., Podolsky V.A. Sewage refinement method in biological ponds / Certificate of authorship № 918277 USSR MKIZ C 02 F 3 / 32, Bulletin of the invention, 1982. № 13.