

УДК 631.34+579.69

НЕФТЕДЕСТРУКТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР, ЗАГРЯЗНЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДАМИ

©2016 А.И. Фахрутдинов¹, Т.Д. Ямпольская¹, А.А. Зубайдулин²

¹ Сургутский государственный университет

² Сибирский научно-исследовательский проектный институт рационального природопользования, г. Нижневартовск

Статья поступила в редакцию 31.05.2016

Проведены исследования по оценке ряда показателей обезвоженных донных отложений, образованных при очистке нефтезагрязненных озер с использованием геоконтейнеров. Проведенные лабораторные исследования на различных уровнях нефтяного загрязнения показали возможность использования подобных субстратов в качестве компонента рекультивационных технологий, как самостоятельно, так и в сочетании с минеральным питанием. Эффективность деструкции нефтяных углеводородов составила более 90% за 5 декад.

Ключевые слова: углеводородокисляющие микроорганизмы, донные отложения, нефтяное загрязнение, эффективность деструкции, почвенные ферменты

В последние годы в мире и России, в частности, наблюдается увеличение интереса к использованию донных отложений в различных отраслях экономики как источника разнообразных органических соединений и микроорганизмов. Россия является мировым лидером по запасам богатых органическим веществом донных отложений (сапропелей). На Западно-Сибирской равнине имеется около 1 млн. озер с общей площадью более 100 тыс. км². Озерность изменяется от 1 до 1,5% на юге, до 2 - 3% на севере [2, 3]. Однако изученность озерного сапропелевого фонда в целом по России и по Западной Сибири, в частности, недостаточна и находится на уровне всего 2%. Еще меньше известно о влиянии возрастающих запасов донных отложений на экологию пресноводных озер и, особенно, их экотехнологическом потенциале [13].

В настоящее время основные источники получения традиционных органических удобрений не могут компенсировать их усугубляющегося дефицита. Одним из путей решения данной проблемы является использование нетрадиционных органических удобрений на основе отходов производства и потребления. Рекультивация деградированных почв путем переработки органических субстратов в нетрадиционные удобрения и питательные субстраты позволяет их использовать. Таким образом, тонны органических субстратов из категории отходы производства - загрязнители окружающей среды переходят в эффективные удобрения. Однако вопрос об их повсеместном использовании остается открытым, так как недостаточно изучено их влияние на экологическое состояние почвы [5, 6, 19]. Внесение нетрадиционных удобрений в подзолистую песчаную почву способствует активизации почвенно-микробиологических процессов и увеличению некоторых параметров биологической активности почвы. Полученные данные свидетельствуют о том, что фоновые озера Западной Сибири, удаленные от источников загрязнения, подвержены нефтяным

загрязнениям за счет процессов атмосферной и водной (поверхностной, подземной) миграций. Однако первой ступенью очищения природных вод от нефтепродуктов является аккумуляция нефтяных углеводородов донными отложениями. Способность донных отложений к аккумуляции нефтяных углеводородов зависит от содержания в них органического вещества [9, 11, 25].

В системе оценки экологического состояния водных объектов важная роль принадлежит микроорганизмам, которые вследствие своих физиологических особенностей, гораздо быстрее, по сравнению с другими компонентами водных биоценозов, реагируют на изменение физико-химических условий в водотоках изменением численности определенных групп. В природных водах микроорганизмы выполняют основную роль в процессах деструкции разнообразных органических веществ, т.е. участвуют в самоочищении водных экосистем [10, 12, 16]. Скорость процессов самоочищения почв от нефти в любой климатической зоне зависит от взаимодействия и эффективности таких природных факторов, как физический (процессы выветривания), физико-химический (процессы фотохимического и биохимического преобразования углеводородов) и биологический (микробная деструкция). В климатических условиях центральной зоны ХМАО-Югры почвы отличаются слабой резистивностью к нефтезагрязнению. Низкий потенциал самоочищения при коротком вегетационном периоде и низких температурах предполагает необходимость поиска технологий очистки нефтезагрязнений, чтобы получить максимально возможное восстановление техногенно нарушенных экосистем [4, 7, 20, 22].

При восстановлении нефтезагрязненных почв особое внимание уделяется методам ремедиации, основывающимся на применении современных сорбентов, качество которых определяется емкостью по отношению к нефти, степенью гидрофобности, плавучестью после сорбции нефти и регенерации или же утилизации сорбента. Надежной технологией рекультивации на данный момент является биологический подход с применением светокорректирующей пленки, которая за счет более равномерного распределения солнечного света, температурного режима и улучшения

Фахрутдинов Айвар Инталович, кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии. E-mail: fachrutdinov_a_i@mail.ru
Ямпольская Татьяна Даниловна, кандидат биологических наук, доцент. E-mail: yampolska0105@mail.ru
Зубайдулин Азат Анварович, ведущий инженер. E-mail: azat_eco@rambler.ru

влагообмена способствует полноценному развитию углеводородокисляющей микрофлоры [8, 21, 26].

Цель работы: определение возможности использования органогенных донных отложений от очистки нефтезагрязненных озер с использованием геоконтейнеров для рекультивации загрязненных нефтью почв и грунтов.

В соответствии с поставленной целью были определены следующие **задачи:**

- определить химические, физико-химические и микробиологические показатели нефтезагрязненных донных отложений, находящихся в геоконтейнерах;
- определить углеводородокисляющую эффективность донных отложений при различных уровнях нефтяного загрязнения и вариантах использования;
- выявить влияние минерального питания на изменения эффективности деструкции в различных вариантах;
- выявить микробную и ферментативную активность в различных вариантах использования на различных уровнях загрязнения.

Объекты и методы исследований. Отбор образцов для исследований проводился на базе трех озер без названия в районе куста № 14 Южно-Аганского лицензионного участка ОАО «Славнефть-Мегионнефтегаз» и озера «Комсомольское» г. Нижневартовск. Работы по очистке нефтезагрязненных озер выполняли специалисты ООО «ЭкоВек» (г. Нижневартовск) в 2014-2015 гг. в рамках реализации утвержденного Проекта по очистке озера от нефтезагрязнений в районе куста 14 Южно-Аганского лицензионного участка и рекультивация прибрежной полосы, разработанного ЗАО «СибНИПИРП» в 2012-2013 гг. по заказу ОАО «Славнефть-Мегионнефтегаз». Отбор образцов из геоконтейнеров нефтезагрязненных озер в районе куста 14 Южно-Аганского лицензионного участка производился в сентябре из 16 точек с глубины 0,5 м и 1 м при

помощи почвенного бура. Средний объем образца около 2 кг.

Для исследований возможности использования донных отложений, находящихся в геоконтейнерах в качестве компонента технологий рекультивации, были заложены 4 лабораторных эксперимента. Эксперимент № 1: вариант 1 – 100% донные отложения, вариант 2 – 75% донных отложений и 25% песка, вариант 3 – 50% отложений и 50% песка, вариант 4 – 75% отложений и 25% песка, вариант 5 – чистый песок. Объем образца в каждом варианте 2 кг. В каждую ёмкость добавлялась нефть из расчета 20 г/кг, в 5 повторностях, продолжительность эксперимента 5 декад. Эксперимент № 2 аналогичен первому с той разницей, что в каждый образец было добавлено комплексное удобрение нитроаммофоска из расчета $N_{120}P_{120}K_{120}$ и раскислитель. В экспериментах 3 и 4 увеличена доза внесения нефти до 40 г/кг, во всем остальном аналогично 1 и 2 эксперименту.

Каждые 10 дней производился микробиологический посев почвенных образцов для подсчета общей микробной численности (ОМЧ) на МПА, учет углеводородокисляющей микрофлоры (УОМ) на среде Кинга, определялась численность анаэробов [14]. В лабораторных условиях проведены исследования по определению ряда химических, физико-химических и биохимических показателей отобранных образцов. В образцах определялись: содержание нефтепродуктов [17], общий углерод, общий азот, аммиачный азот, нитратный азот [1], подвижный фосфор, а также такие характеристики как pH, оценка суммы обменных оснований и гидролитической кислотности [15], активность ряда почвенных ферментов: каталаза, инвертаза, дегидрогеназа и уреазы [24]. Результаты исследований обрабатывались с помощью компьютерного пакета данных Microsoft Excel: рассчитывали средние значения, квадратическое отклонение от среднего ($x \pm s$), коэффициент корреляции Пирсона [19].

Таблица 1. Химические показатели содержимого геоконтейнеров

№ п/п	Номер образца/глубина отбора, м	Содержание нефтепродуктов, г/кг	Общий углерод, %	Общий азот, %	Аммиачный азот, мг/100г N-NH ₄	Нитратный азот, мг/100г N-NO ₃	Подвижный фосфор, мг/100г P ₂ O ₅
1	1,1/1	4,26	18,26	5,67	1,65	3,59	6,25
2	1,1/0,5	4,12	15,32	6,25	2,05	2,55	5,15
3	1,2/0,5	3,64	16,21	5,04	1,68	2,84	5,33
4	1,2/1	3,25	17,25	5,28	2,55	3,12	8,15
5	2,1/0,5	4,09	18,45	6,24	2,15	2,68	4,69
6	2,1/1	3,54	15,09	5,28	2,65	2,57	5,33
7	2,2/0,5	3,68	16,88	5,39	3,06	2,61	7,25
8	2,2/1	3,55	16,78	6,48	2,68	3,04	8,47
9	3,1/0,5	4,05	16,88	6,27	3,08	3,45	6,45
10	3,1/1	3,15	19,45	5,88	2,14	2,88	6,59
11	3,2/0,5	3,28	15,42	6,58	2,94	2,69	5,84
12	3,2/1	3,45	16,25	5,29	3,15	3,04	6,08
13	4,1/0,5	4,68	18,45	5,48	2,51	2,42	8,15
14	4,1/1	4,36	16,22	5,38	2,34	2,61	7,26
15	4,2/0,5	4,12	17,56	5,22	2,68	2,84	7,14
16	4,2/1	3,57	18,34	6,08	3,03	2,36	6,58
	Ср. знач.	3,80	17,05	5,74	2,52	2,83	6,54
	Озеро «Комсомольское»	0,06	16,58	5,67	2,68	3,06	5,24

Результаты исследований. Алгоритм оценки возможности полезного применения обезвоженных

донных отложений, образованных при очистке нефтезагрязненных озер с использованием геоконтейнеров,

требует изначально оценить уровни содержания различных компонентов в загрязненных донных отложениях с последующей оценкой возможного полезного использования данных органических субстратов. Существующие нормативы на содержание тех или иных соединений в нефтезагрязненных донных отложениях не всегда в полной мере отражают возможные пути и направления конечных рекультивационных мероприятий. В табл. 1 отображены показатели содержания ряда химических соединений в исследованных донных отложениях находящихся в геоконтейнерах. Массовая доля нефтепродуктов находится в пределах от 3,15 до 4,68 г/кг, в незначительной степени колеблясь вне зависимости от номера геоконтейнера и глубины отбора. Средние значения в геоконтейнерах в районе куста № 14 Южно-Аганского лицензионного участка ОАО «Славнефть-Мегионнефтегаз» по содержанию нефтепродуктов в донных отложениях составляет 3,8 г/кг. Содержание данного поллютанта в геоконтейнерах, расположенных у озера Комсомольское г. Нижневартоска составило 0,06 г/кг, что объясняется наличием озера в центре города и отсутствием сброса в него нефти и углеводородов. Данный показатель не превышает ПДУ остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в органогенных почвах после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ на территории ХМАО- Югры – до 60 г/кг [18, 23].

Содержание общего углерода в исследуемых геоконтейнерах с донными отложениями имеет высокие показатели, что характерно для неглубоких озёр ХМАО и в сочетании с поступившими извне углеводородами нефти колеблется в значениях от 15,09 до 18,45%. В среднем этот показатель в исследуемых образцах района куста № 14 составляет 17,05%. Сравнительно высокое содержание общего углерода выявлено в геоконтейнерах у озера Комсомольское 16,58%.

Несмотря на невысокую биологическую активность местных биогенов в исследованных донных отложениях выявлены высокие значения общего азота: от 5,04 до 6,58% при среднем показателе 5,74%. Важным показателем биогенности донных отложений является содержание и соотношение аммиачного и нитратного азота: значения этих форм азота в исследованных геоконтейнерах с донными отложениями так же не показали зависимости от номера контейнера и глубины отбора и составили в среднем 2,52 и 2,83 мг/100 г соответственно. Данные показатели у донных отложений озера Комсомольское составляют 2,68 и 3,06 мг/100 г, что подтверждает природный, а не антропогенный, характер выявленной биогенности органогенных донных отложений.

Геоконтейнеры с донными отложениями на протяжении года находились на береговой линии озёр, что позволило нам относиться к ним как к почвоподобному грунту. В будущем, для использования в качестве субстрата, важное значение будет иметь подвижная форма фосфора. Данный показатель имеет широкое колебание в различных контейнерах и глубинах: от 4,69 до 8,47 мг/100 г при среднем значении 6,54 мг/100 г. В донных отложениях озера Комсомольское так же высокое значение этой формы фосфора – 5,24 мг/100 г. Вышеприведенные значения ряда биогенных элементов на фоне углеводородного загрязнения позволяют говорить о перспективности использования данного грунта в качестве органогенной составляющей в технологиях рекультивации нефтезагрязненных почв и грунтов.

Грунт, находящийся в геоконтейнерах в районе куста № 14, показал нейтральные значения pH: от 6,14 до 6,78 со средним значением 6,43. Содержимое геоконтейнеров озера Комсомольское имеет слабокислую реакцию – водородный показатель равен 6,0. Это говорит о перспективности использования – большинство травосмесей, используемых для фиторекультивации, развивается в условиях слабокислой или нейтральной реакции почвы. В табл. 2, исходя из перспективности использования, была проведена оценка суммы обменных оснований (S) и гидролитической кислотности (Hr). Сумма обменных оснований как характеристика емкости коллоидной системы изменяется в широком коридоре: от 16,44 до 80,04 мг-экв/100 г со средним значением 29,55 мг-экв/100 г без какой-либо зависимости от контейнера или глубины отбора проб. Гидролитическая кислотность, отображающая количество свободного водорода в коллоидной системе, показала высокие значения: от 12,03 до 70,89 мг-экв/100 г со средним значением 22,25 мг-экв/100 г, так же без привязки к контейнеру и глубине отбора. Можно предположить, что значимые колебания показателей коллоидной системы определены движениями заборного шнека в момент откачки донных отложений и прихватыванием каких-либо геологических пород. У донных отложений озера Комсомольское Hr равен 5,87 мг-экв/100 г, что свидетельствует о поступлении в озеро большого количества нейтрализующих щелочных элементов (дорожная соль, строительные материалы и т.п.).

Таблица 2. Показатели физико-химической активности грунтов геоконтейнеров

№ п/п	Номер образца/глубина отбора, м	pH	Сумма обменных оснований, S мг-экв/100 г;	Гидролитическая кислотность, Hr мг-экв/100 г;
1	1,1/1	6,56	16,64	16,17
2	1,1/0,5	6,54	21,81	13,79
3	1,2/0,5	6,14	31,16	17,73
4	1,2/1	6,58	23,56	22,38
5	2,1/0,5	6,48	68,89	44,67
6	2,1/1	6,67	19,56	16,07
7	2,2/0,5	6,18	25,66	21,48
8	2,2/1	6,27	21,56	16,02
9	3,1/0,5	6,41	38,04	23,38
10	3,1/1	6,23	19,24	14,92
11	3,2/0,5	6,42	21,35	17,28
12	3,2/1	6,21	18,66	14,52
13	4,1/0,5	6,17	26,63	16,00
14	4,1/1	6,48	16,44	12,03
15	4,2/0,5	6,78	80,04	70,89
16	4,2/1	6,71	23,58	18,62
	Ср. знач.	6,43	29,55	22,25
Озеро "Комсомольское"		6,04	16,25	5,87

Полученные данные, характеризующие физико-химические показатели исследования грунтов говорят о высокой биологической агрессивности и необходимости удаления гидролитического водорода одним из вариантов решения этого вопроса может быть предварительное высушивание песками или использованием раскислителей.

Микробиологические показатели. Продолжительный процесс образования озёрных донных отложений обеспечивает формирование широкого

разнообразия и высокой численности различных микроорганизмов. Они представлены разными экологотрофическими группами и экологическими стратегиями, характерными для микроорганизмов. Проведенная родовая идентификация выявила, что здесь находят свое место микроорганизмы, участвующие в круговороте азота, фосфора и других биогенных элементов. Широко представлены бактерии, участвующие в круговороте углерода - углеводородокисляющие микроорганизмы. Выживаемость микробиоценоза в целом

обеспечивает сочетание и пересечение представителей автотонной и зимогенной микрофлор (табл. 3).

Поступление различных нехарактерных для естественного круговорота элементов и компонентов, в т.ч. и углеводородных загрязнений озер, и его длительное воздействие на микробиоценоз озерных донных отложений в состоянии изменить вектор физиологических и биохимических процессов донных отложений. Анализ микробиоценоза исследованных геоконтейнеров проводился по микроботрофическим группам (табл. 4).

Таблица 3. Углеводородокисляющие микроорганизмы, выявленные в исследованных образцах

Представители озерной микрофлоры		Представители почвенной микрофлоры	
<i>Rhodococcus</i>	<i>Mycobacterium</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Nocardia</i>
<i>Nocardia</i>	<i>Pseudonocardia</i>	<i>Arthrobacter</i>	<i>Achromobacter</i>
<i>Corynebacterium</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Mycobacterium</i>	<i>Micrococcus</i>
<i>Frankia</i>	<i>Acinetobacter</i>	<i>Brevibacterium</i>	<i>Klebsiella</i>
<i>Nocardioopsis</i>	<i>Actinomadura</i>	<i>Rhodococcus</i>	<i>Enterobacteriaceae</i>
<i>Brevibacterium</i>		<i>Bacillus</i>	<i>Mycobacterium</i>
Дрожжи родов <i>Candida</i>		<i>Corynebacterium</i>	<i>Beierinckia</i>

Таблица 4. Результаты микробиологических исследований грунтов геоконтейнеров

Номер образца/глубина отбора, м	Общее микробное число, КОЕ $\times 10^9/\text{г}$	Численность углеводородокисляющих микроорганизмов, КОЕ $\times 10^6/\text{г}$	Численность анаэробных микроорганизмов, КОЕ $\times 10^6/\text{г}$
1,1/1	5,65	0,65	0,12
1,1/0,5	2,64	0,54	0,06
1,2/0,5	3,54	0,59	0,02
1,2/1	5,38	1,25	0,3
2,1/0,5	1,58	0,87	0,03
2,1/1	2,98	1,06	0,02
2,2/0,5	3,55	0,87	0,01
2,2/1	4,15	1,51	0,03
3,1/0,5	3,58	1,05	0,06
3,1/1	2,61	0,65	0,03
3,2/0,5	2,14	0,54	0,05
3,2/1	3,58	0,98	0,02
4,1/0,5	3,05	0,56	0,02
4,1/1	3,89	0,54	0,03
4,2/0,5	3,12	0,84	0,05
4,2/1	2,57	0,59	0,4
Ср. знач.	3,38	0,82	0,08
Озеро "Комсомольское"	1,25	0,08	0,01

Поступление различных нехарактерных для естественного круговорота элементов и компонентов, в т.ч. и углеводородных загрязнений озер, и его длительное воздействие на микробиоценоз озерных донных отложений в состоянии изменить вектор физиологических и биохимических процессов донных отложений. Анализ микробиоценоза исследованных геоконтейнеров проводился по микроботрофическим группам (табл. 4). Общая численность микробиоценоза варьируется в пределах 1,58 – 5,65 КОЕ $\times 10^9/\text{г}$. Средняя численность 3,38 КОЕ $\times 10^9/\text{г}$. Численность УОМ находится в пределах от 0,54 до 1,51 КОЕ $\times 10^6/\text{г}$. Относительно высокие значения показала анаэробная микрофлора в границах 0,01 до 0,4 КОЕ $\times 10^6/\text{г}$. Полученные результаты

выявили обширное родовое разнообразие почвенных и водных микроорганизмов, характерных для нашего округа. Полученные результаты говорят о достаточной микробиологической активности и возможности использования для различных экологических технологий и мероприятий.

Результаты лабораторных экспериментов опытов № 1-4. Направленность функционирования естественного и сформированного (искусственного) микробиоценоза определяется активностью использования основных биогенных элементов, в первую очередь углерода. В нашем случае углерод в основном представлен углеводородами внесенной нефти, которая осуществляет двойное воздействие на микробиоценоз: стимулирующее и угнетающее. На рис. 1 отображена динамика изменения концентраций нефти, скорость и направленность деструкции углеводородов, а также численность отдельных эколого-трофических групп.

Снижение содержания углеводородов нефти в образцах в различных вариантах имеет четкую зависимость от соотношения грунт-песок. Наименьшее остаточное содержание углеводородов к концу пятой декады выявлено в образцах разведения 25/75 (донных отложений/песок). Аналогичная картина наблюдается в определении эффективности деструкции углеводородов, где максимальные значения в варианте 25/75 составляют около 70%. Причиной этому служит создание благоприятных условий для протекания химических, физико-химических и биологических процессов.

Общая численность микроорганизмов свидетельствует об динамичном формировании нового активного микробиоценоза в особенности в вариантах 50/50 и 25/75 с максимальными значениями около 15×10^9 КОЕ/г субстрата. Численность УОМ достигает максимальных значений на второй декаде в варианте 25/75 и составляет около 10×10^6 КОЕ с последующим снижением к окончанию эксперимента. Снижение активности УОМ является следствием накопления в замкнутой системе токсичных биологических и химических компонентов, отсутствия выноса, а также антагонистических процессов между различными группами микроорганизмов, появляющихся в следствие снижения токсического действия углеводородов нефти.

Физиологические особенности жизнедеятельности микроорганизмов определяются активностью экзо- и эндоферментов, которые, в свою очередь, активно участвуют в формировании среды обитания различных микроорганизмов. Помимо этого, активность ферментов

является важным диагностическим показателем, позволяющим судить о глубине и направленности всей массы физиологических процессов развивающихся в биоценозе.

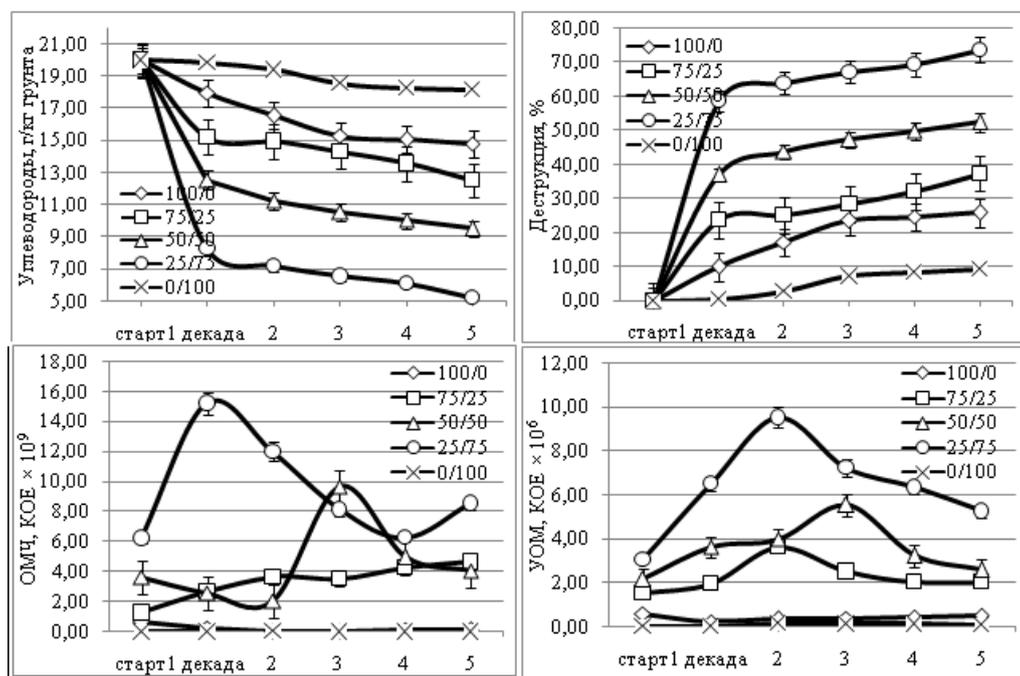


Рис. 1. Динамика ряда показателей в лабораторном эксперименте №1

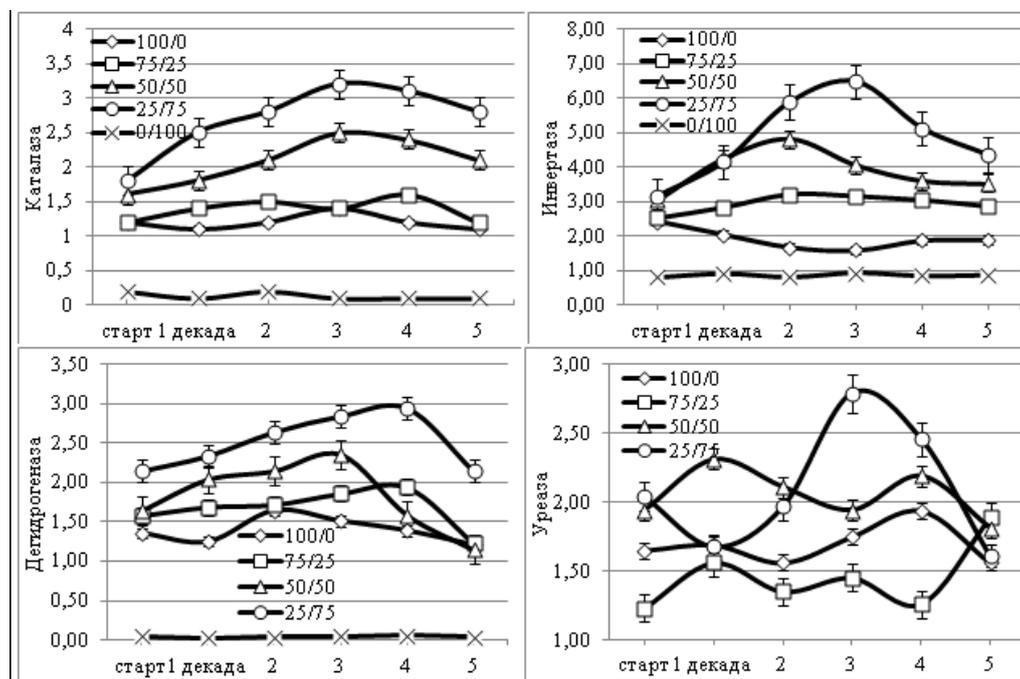


Рис. 2. Динамика ряда ферментов в первом лабораторном эксперименте

Все представленные на рис. 2 содержания ферментов: каталазы, уреазы, дегидрогеназы и инвертазы показывают высокую активность во всех вариациях, за исключением варианта с чистым песком (0/100). Активность ферментов каталазы, инвертазы и дегидрогеназы на протяжении пяти декад эксперимента находятся в прямой зависимости от активности микробиоценоза, УОМ, ОМЧ и наибольшие значения наблюда-

ются в варианте 25/75. Значение уреазы на протяжении всего эксперимента во всех вариантах не имеет существенных различий между собой, что является следствием замкнутости исследованного микробиоценоза, но в природных условиях, где есть поступление и вынос азота, динамика, вероятно, будет иная. В таблице 5 показаны корреляционные зависимости, полученные в результате анализа результатов опыта №1. Видны

высокие значения ($r = 0,73-0,82$) эффективности деструкции от активности микробоценоза, а также обра-

щают на себя внимание значительные показатели корреляционных зависимостей ферментов и УОМ.

Таблица 5. Корреляционные зависимости опыта №1

	ОМЧ	УОМ	Каталаза	Инвертаза	Дегидрогеназа	Уреаза
Эффективность	0,73	0,82	0,85	0,82	0,70	0,62
ОМЧ			0,79	0,77	0,71	0,50
УОМ			0,88	0,93	0,81	0,62

Общеизвестным является тот факт, что внесение минеральных удобрений и раскислителя в нефтезагрязненные почвы ускоряет процесс деструкции углеводов на фоне активизации микробиоценоза и его биохимических показателей. В опыте 2 в качестве удобрения использовалось комплексное минеральное удобрение нитроаммофоска и раскислитель в виде мела с содержанием кальция до 98%. На рис. 3 отображены изменения ряда показателей, выявленных в опыте №2. Видно, что вариант 25/75 в условиях внесённого минерального питания и раскислителя показал наибольшую эффективность при деструкции

внесённых углеводов нефти. Эффективность деструкции составляет около 90% за пять декад эксперимента. При этом наблюдается высокая и стабильная активность микробоценоза данного варианта ($15 - 20 \times 10^9$ КОЕ), а также значимый рост и общая численность УОМ (более 15×10^6 КОЕ). Очевидно, это связано с формированием новой почвенной и коллоидной системы в варианте 25/75, в которой активно используются внесённые с удобрениями биогенные элементы на фоне нейтрализации микробоценоза в целом благодаря внесённому кальцию.

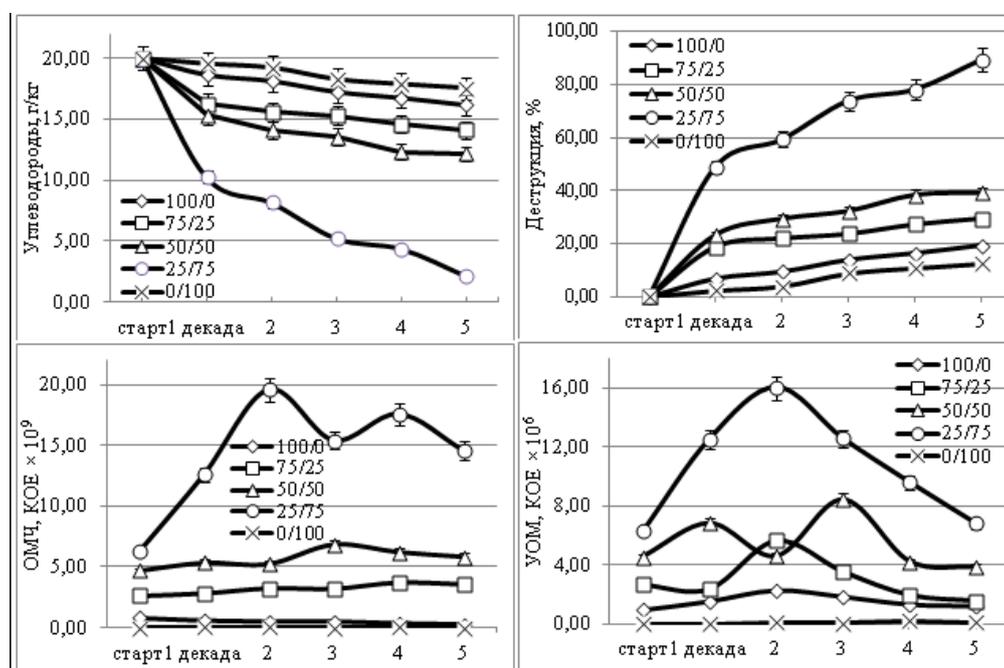


Рис. 3. Динамика ряда показателей в лабораторном эксперименте №2

Изменения в активности исследуемых микробоценозов различных вариантов опыта №2 вызвало неоднозначную реакцию в определенных ферментах. Каталаза, как фермент нейтрализующий перекись водорода, активен во всех вариантах за исключением песка (0/100) что свидетельствует о накоплении токсичных компонентов, которые образуются благодаря функционированию инвертазы и дегидрогеназы, активность которых к концу пятой декады выравнивается, что говорит об общем ингибировании биохимических и биологических процессов. Уреаза, как фермент, активно разрушающий аммиак и образующийся в результате разложения белковых соединений, показывает постоянное снижение на протяжении всего эксперимента, что говорит о постоянном связывании свободных форм азота в процессе развития микробоценоза и о начале формирования почвенно-поглощающего

комплекса (ППК), способного фиксировать и сохранять различные формы азота. В таблице 6 отображены корреляционные зависимости различных показателей опыта №2, которые подтверждают ранее высказанные предположения о положительном воздействии минеральных удобрений и раскислителя на процессы деструкции углеводов нефти, примененных в качестве загрязнителя, а также о формировании нового устойчивого микробоценоза в условиях замкнутой системы.

Увеличение дозы загрязнителя или уровня влияния любого инородного фактора на микробиоценоз вызывает ответную реакцию, направленность и глубина которой соответствует уровню устойчивости и его гомеостазу, определяя тем самым компоненты микробиоценоза, развивая которые он приобретает новую устойчивость. В случае с нефтяным загрязнителем подобными опорными элементами являются УОМ.

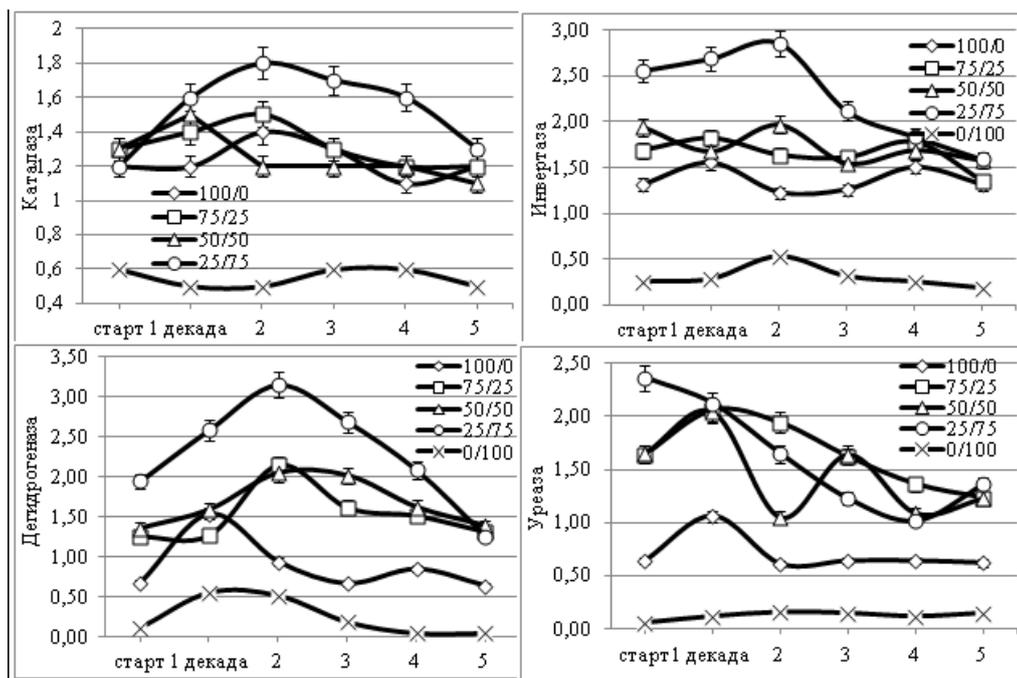


Рис. 4. Динамика ряда ферментов в лабораторном эксперименте №2

Таблица 6. Корреляционные зависимости опыта №2

	ОМЧ	УОМ	Каталаза	Инвертаза	Дегидрогеназа	Уреаза
Эффективность	0,88	0,73	0,56	0,47	0,60	0,29
ОМЧ			0,68	0,69	0,79	0,49
УОМ			0,76	0,78	0,89	0,62

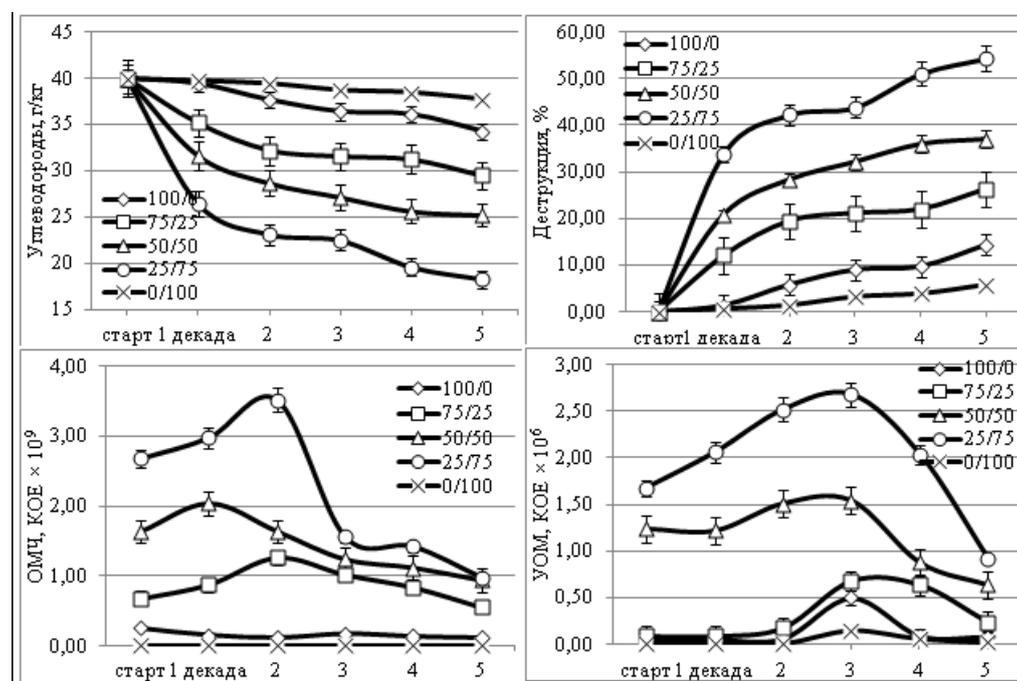


Рис. 5. Динамика ряда показателей в лабораторном эксперименте №3

На рис. 5 отображена динамика ряда показателей, изменения которых говорят об угнетающем действии увеличения нефтезагрязнения до 40г/кг грунта. Эффективность деструкции около 50%, ОМЧ и численность УОМ резко снижается после второй и третьей декады эксперимента. Несмотря на значимую динамику УОМ, снижение количества поллютанта не активное, что говорит о сложностях в проявлении своей фи-

зиологической активности вследствие напряженного водно-воздушного режима.

Представленная на рис. 6 активность ряда ферментов подтверждает наше предположение о напряженном состоянии микробиоценоза во всех вариантах опыта. Увеличение дозы степени разбавления песком увеличивает показатели активности каталазы, что свидетельствует о накоплении и трудности утилизации

образующейся перекиси водорода. Инвертаза, как фермент, активизирующийся на коротких углеводородных цепочках C₆ – C₈ показал свою активность до третьей декады опыта с последующим резким снижением показателей, что говорит об уменьшении субстрата для активности данного фермента. Дегидрогеназа, наоборот, показывает свою активность на протяжении всего опыта с максимальными значениями в варианте 25/75. Уреаза, своей нестабильной активно-

стью на протяжении всего опыта показывает сложное и нестабильное положение по азотному питанию во всех формирующихся биоценозах за исключением песчаного (0/100). Несмотря на высокие корреляционные показатели активности ферментов и микроценоза ($r = 0,86 - 0,49$) зависимость эффективности деструкции от жизнедеятельности микроценоза остается высокой (табл. 7).

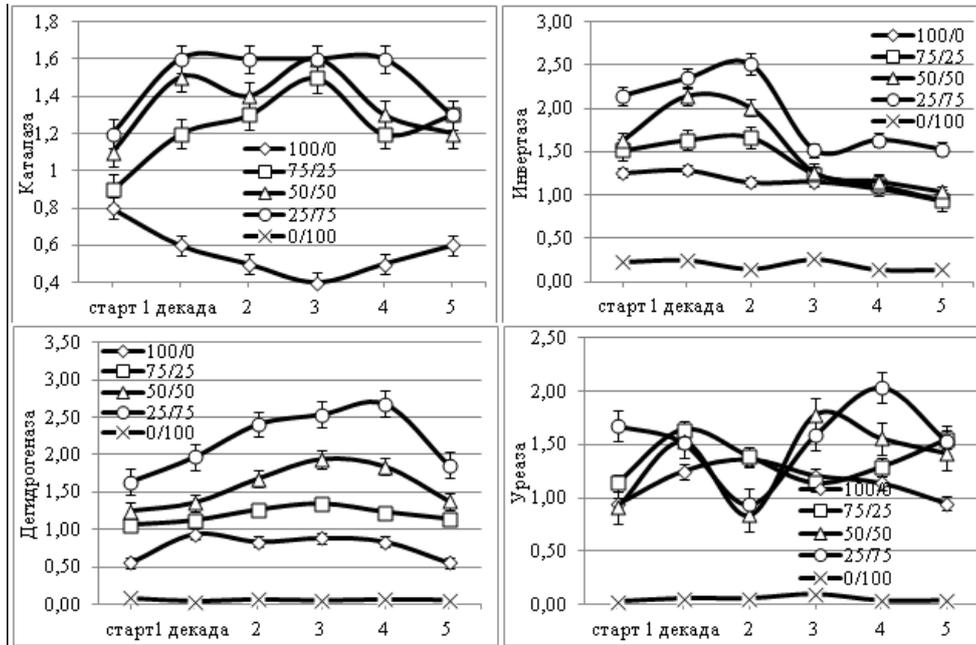


Рис. 6. Динамика ряда ферментов в лабораторном эксперименте №3

Таблица 7. Корреляционные зависимости опыта №3

	ОМЧ	УОМ	Каталаза	Инвертаза	Дегидрогеназа	Уреаза
Эффективность	0,52	0,68	0,75	0,46	0,82	0,59
ОМЧ			0,79	0,86	0,50	0,50
УОМ			0,75	0,70	0,87	0,49

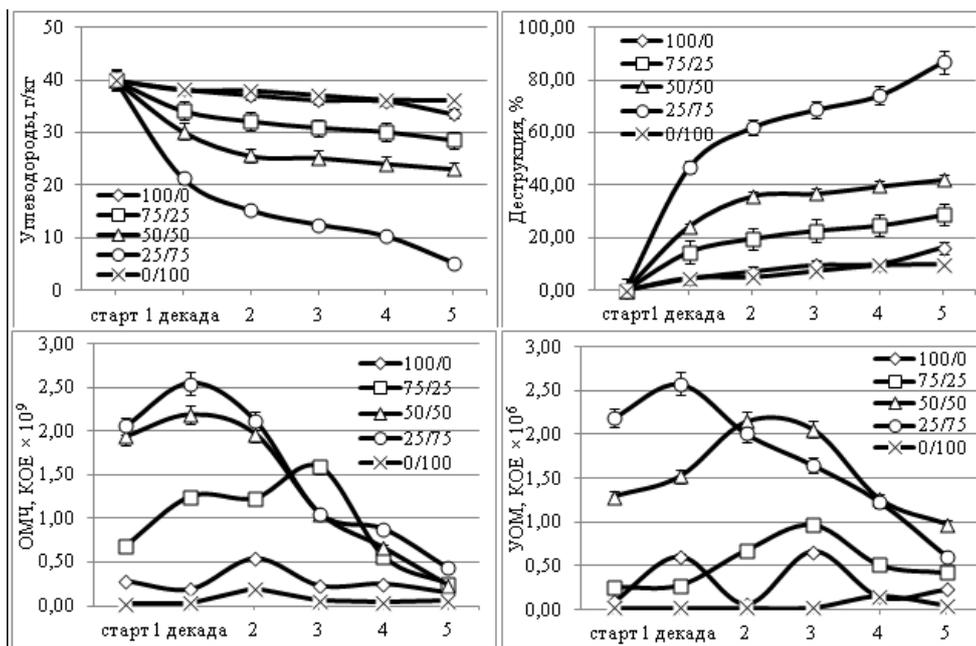


Рис. 7. Динамика ряда показателей в лабораторном эксперименте №4.

Как было показано выше, минеральное питание на фоне стабилизации микробоценоза дает положительные результаты в области увеличения эффективности деструкции углеводородов. Подобные явления выявлены в опыте №4 (рис. 7). Оптимизация минерального питания позволила добиться за 5 декад снижения уровня загрязнения с 40 до 5 грамм, с эффективностью деструкции около 90%. Судя по взрывной активности микробоценоза в целом и в частности УОМ, в наиболее активных вариантах (50/50 и 75/25)

происходит формирование новых структурных элементов, начиная от почвенно-поглощающего комплекса до оструктурирования твердой фазы грунта, что резко улучшает водно-воздушный режим, увеличивает порозность почвенных структур, а значит и процесс дыхания с выводом за пределы системы токсичных элементов и углекислого газа. Вышесказанное подтверждается высокой активностью дегидрогеназы и уреазы, показывающих максимальную активность в период снижения численности микроорганизмов (рис. 8).

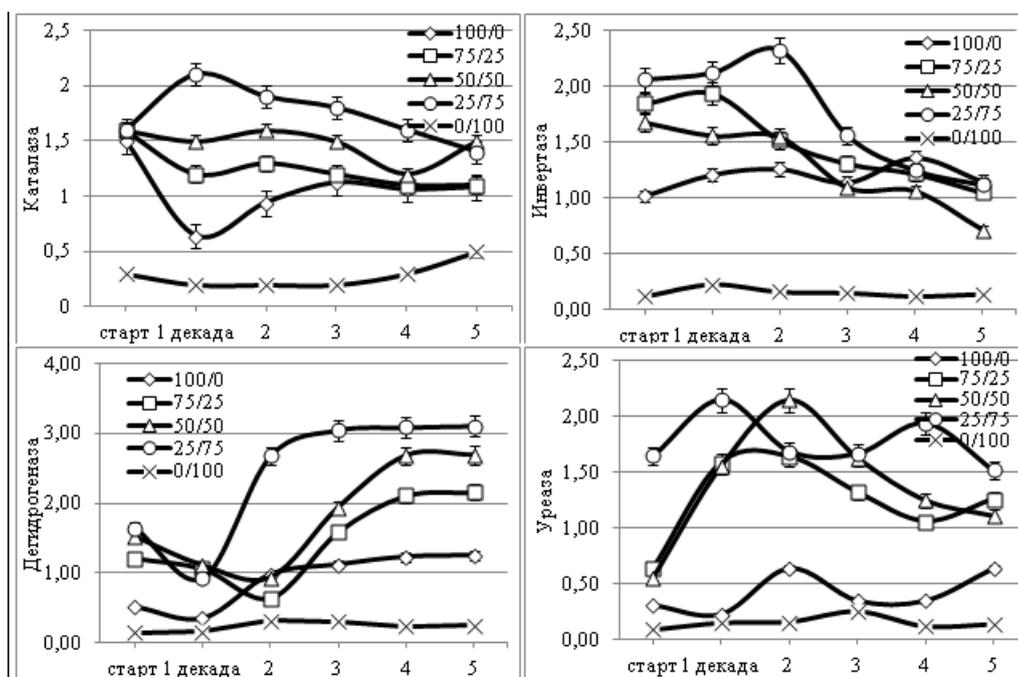


Рис. 8. Динамика ряда ферментов в лабораторном эксперименте №4

Активность каталазы стабильна на протяжении практически всего опыта, очевидно по причине выхода перекиси водорода за пределы зоны активности микробоценоза. Высокое содержание внесенных углеводородов нефти как активного поллютанта определило

высокую зависимость эффективности деструкции от активности УОМ (табл. 8). Помимо этого, данные корреляционного анализа подтверждают высокую зависимость активности микробоценоза от активности дегидрогеназы и уреазы.

Таблица 8. Корреляционные зависимости опыта №4

	ОМЧ	УОМ	Каталаза	Инвертаза	Дегидрогеназа	Уреаза
Эффективность	0,28	0,51	0,54	0,29	0,80	0,70
ОМЧ			0,73	0,78	0,24	0,75
УОМ			0,76	0,65	0,46	0,80

Выводы: проведенные исследования позволяют заключить что химические, физико-химические и биологические показатели обезвоженных донных отложений, находящихся в геоконтейнерах, не выходят за рамки средних показателей, характерных для нефтесорбированных озер Западной Сибири; обращают на себя внимание высокие значения отдельных физико-химических параметров, что определит дальнейшую технологию использования данных почвоподобных грунтов. Наилучшая динамика исследованных параметров: эффективность деструкции углеводородов нефти, микробная и ферментативная активность выявлена в варианте разбавления донных отложений песком в соотношении 1:4 вне зависимости от уровня нефтяного загрязнения и на фоне минерального питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ариунушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: МГУ, 1970. 487 с.
2. Астанин, А.И. Оценка метаболической активности донных отложений озер юга Западной Сибири по отношению к нефтепродуктам (на примере минерального масла) / А.И. Астанин, А.Ю. Алексеев, Л.С. Адаменко // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. С. 1-7.
3. Белкина, Н.А. Роль донных отложений в процессах трансформации органического вещества и биогенных элементов в озерных экосистемах // Труды Карельского научного центра РАН. 2011. № 4. С. 35-41.
4. Войно, Л.И. Биодegradация нефтесорбированных почв и акватории // Фундаментальные исследования. 2012. №5. С. 1-4.
5. Гажеева, Т.П. Микробиологическая индикация эффективности использования нетрадиционных мелиорантов / Т.П. Гажеева, О.В. Малюта, Т.Х. Гордеева // Вестник

- Оренбургского государственного университета. 2011. № 12. С. 331-333.
6. *Галиханова, Э.* В борьбе за чистоту озёр // Вестник. Еже-недельная газета Сургутского района. 2013. 4 октября № 40 (1157). –Режим доступа: <http://vestniksr.ru/archives/9516>
 7. *Глянцева, Ю.С.* Биоремедиация нефтезагрязненных почв в условиях севера / *Ю.С. Глянцева, И.Н. Зуева* // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. №8-2. С. 214-216.
 8. *Гордеева, Т.Х.* Динамика параметров биологической активности почвы как показатель почвенно-экологических условий на объекте рекультивации / *Т.Х. Гордеева, О.В. Малюта* // Известия Оренбургского государственного аграрного университета – 2013. - № 2. – С. 34-36.
 9. *Гордеева, Т.Х.* Оценка мелиорирующего эффекта нетрадиционных удобрений на подзолистой песчаной почве / *Т.Х. Гордеева, О.В. Малюта, В.И. Таланцев* // Агро XXI. 2014. № 1-3. С. 37-38.
 10. *Калинин, В.М.* Вода и нефть (гидролого-экологические проблемы Тюменского региона). – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2010. 244 с.
 11. *Киреева, Н.А.* Биологическая активность нефтезагрязненных почв / *Н.А. Киреева, В.В. Водопьянов, А.М. Мифтахова.* – Уфа изд-во «Гилем», 2001. 376 с.
 12. *Кураков, А.В.* Биоиндикация и реабилитация экосистем при нефтяных загрязнениях / *А.В. Кураков, В.В. Ильинский, С.В. Котелевцев, А.П. Садчиков.* – М.: Из-во «Графикон», 2006. 336 с.
 13. *Курзо, Б.В.* Особенности формирования вещественного состава сапропеля органического типа в озерах различных регионов Беларуси / *Б.В. Курзо, О.М. Гайдукевич, И.В. Кляузье* // Природопользование. 2012. Вып. 21. С. 183-190.
 14. Методы исследований при идентификации микроорганизмов / Метод. пособие / сост.: *Т.Д. Ямпольская, А.И. Фахрутдинов.* – Сургут: Изд-во СурГУ, 2008. 45 с.
 15. *Минева, В.Г.* Практикум по агрохимии / под ред. *В.Г. Минева.* – М.: Изд-во МГУ, 1989. 304 с.
 16. *Паничева, Л.П.* Аккумуляция нефтепродуктов донными отложениями в фоновых водоемах Западной Сибири / *Л.П. Паничева, Т.А. Кремлева, С.С. Волкова* // Вестник Тюменского государственного университета. 2013. № 12. С. 204-211.
 17. ПНД Ф 16.1;2.2.22-98 Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органических, органоминеральных почвах
 18. Постановление правительства ХМАО - ЮГРЫ от 10.12.2004 № 466-п «Об утверждении регионального норматива "допустимое остаточное содержание нефти и нефтепродуктов в почвах после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры»
 19. *Салин, В.М.* Практикум по курсу «Статистика» (в системе STATISTICS 7.) / *В.М. Салин, Э.Ю. Чурилова* – М.: Изд-кий Дом «Социальные отношения», 2002. 188 с.
 20. *Прокопенко, М.* Чтобы утки крякали и рыба плескалась // Сургутская трибуна. -2014. 11 июня (№ 106-107). –Режим доступа: <http://old.ugra-news.ru/article/33852>
 21. *Соромотин, А.В.* Воздействие добычи нефти на таежные экосистемы Западной Сибири. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2010. 320 с.
 22. *Фахрутдинов, А.И.* Микробиологическая и ферментативная активность почвы при рекультивации нефтезагрязненных территорий / *А.И. Фахрутдинов, Т.Д. Ямпольская* // Сб. науч. тр. Вып.16. Естественные науки / Сургут.гос.унив-т. – Сургут: СурГУ, 2003. С. 73-82.
 23. *Фахрутдинов, А.И.* Микробная и биохимическая устойчивость естественных и нарушенных почв ХМАО // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. №1(5). С. 1230-1232.
 24. *Шор, Е.Л.* Опыт оценки состояния озер, подвергшихся загрязнению нефтью / *Е.Л. Шор, А.А. Зубайдулин, Ф.Ю. Овечкин* и др. // Биологические ресурсы и природопользование. Сб. науч. тр. Вып.8. / Сургут.гос.унив-т. – Сургут: Дефис, 2005. С. 188-197.
 25. *Хазиев, Ф.Х.* Методы почвенной энзимологии. – М.: Наука, 2005. 252 с.
 26. *Янин, Е.П.* Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки). – М.: ИМГРЭ, 2002. 52 с.
 27. *Яппаров, А.Х.* Комплексный подход к рекультивации нефтезагрязненных почв / *А.Х. Яппаров, И.А. Дяттерева* // Современные проблемы науки и образования – 2012. №1. С. 1-7.

GROUND DEPOSITS PETRODESTRUCTIVE ACTIVITY OF LAKES POLLUTED BY HYDROCARBONS

©2016 A.I. Fakhrutdinov¹, T.D. Yampolskaya¹, A.A. Zubayduln²

¹ Surgut State University

² Siberian Scientific Research Design Institute of Rational Nature Management,
Nizhnevartovsk

Researches on the assessment of number of indicators of dehydrated ground deposits formed when cleaning the petropolluted lakes with use of geocontainers are conducted. The carried-out laboratory researches at various levels of oil pollution have shown a possibility of use the similar substrata as a component of remediation technologies as independently, and in combination with mineral food. Efficiency of destruction of oil hydrocarbons has made more than 90% in 5 decades.

Key words: *hydrocarbon oxidizing microorganisms, ground deposits, oil pollution, efficiency of destruction, soil enzymes*

Ayvar Fakhrutdinov, Candidate of Biology, Associate Professor at the Microbiology Department. E-mail: fakhrutdinov_a_i@mail.ru
Tatiana Yampolskaya, Candidate of Biology, Associate Professor. E-mail: yampolska0105@mail.ru
Azat Zubayduln, Leading Engineer. E-mail: azat_eco@rambler.ru