

УДК 57.083.12:[502.65:665.6]

Рогозина Е.А., Калимуллина Г.М.

БАЛАНСОВАЯ СТОРОНА УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ БИОПРЕПАРАТАМИ СЕРИИ «НАФТОКС»

Проведен анализ эффективности утилизации различных фракций нефтяного загрязнения почвы (10 л/м^2) углеводородоокисляющими микроорганизмами, составляющими основу биопрепаратов серии «Нафтокс». Балансовые расчеты основывались на химико-битуминологических данных, характеризующих состав нефтяного загрязнения до и после внесения биопрепаратов в загрязненную почву. Согласно расчетам в течение двух месяцев происходил сложный процесс биохимического преобразования нефтяного загрязнения.

Максимальной утилизации (37,0-53,1% относительно исходного содержания) подверглась фракция n-алканов (C_{11} - C_{24-25}). На фоне снижения абсолютного содержания масел, спирто-бензольных смол, метаново-нафтенных углеводородов и n-алканов C_{11} - C_{24-25} , наблюдалось возрастание абсолютного содержания спирто-бензольных смол, асфальтенов, ароматических, изопреноидных углеводородов, n-алканов (C_{25-26} - C_{37}).

Ключевые слова: углеводородоокисляющие микроорганизмы, нефтяное загрязнение, биопрепарат серии "Нафтокс", биоочистка почв.

Различные типы нефтей и продуктов их переработки со сложным многокомпонентным составом являются одним из самых распространенных загрязнителей природных экосистем. В состав нефти входят различные классы углеводородов и асфальтово-смолистых веществ. Соотношение между различными компонентами нефти и их характеристика наглядно представлена на схеме Н.Б. Вассоевича (рис. 1).

Продукты переработки нефтей, или нефтепродукты, представлены различными марками бензина, керосина, дизельного топлива, масел, мазута, дорожными битумами и твердым парафином. Состав и технические характеристики этих продуктов определены соответствующими стандартами.

Многовариантность состава нефтей и продуктов их переработки создает значительные трудности при очистке и восстановлении нефтезагрязненных почвенных экосистем. В первую очередь это касается биологических способов очистки, основу которых составляют углеводородоокисляющие микроорганизмы. Известно, что различные классы углеводородов, входящих в состав нефтей и продуктов их переработки, в разной степени подвергаются окислению. Л.А. Кодиной [1988] была создана классификация компонентов нефтей по их способности к биодegradации. Согласно этой классификации выделено пять групп компонентов нефтей по их устойчивости к биодegradации.

Степень последней (в % к исходному содержанию) изменяется в пределах от 0 до 100% - от высокоустойчивых до высокочувствительных соответственно (табл. 1).

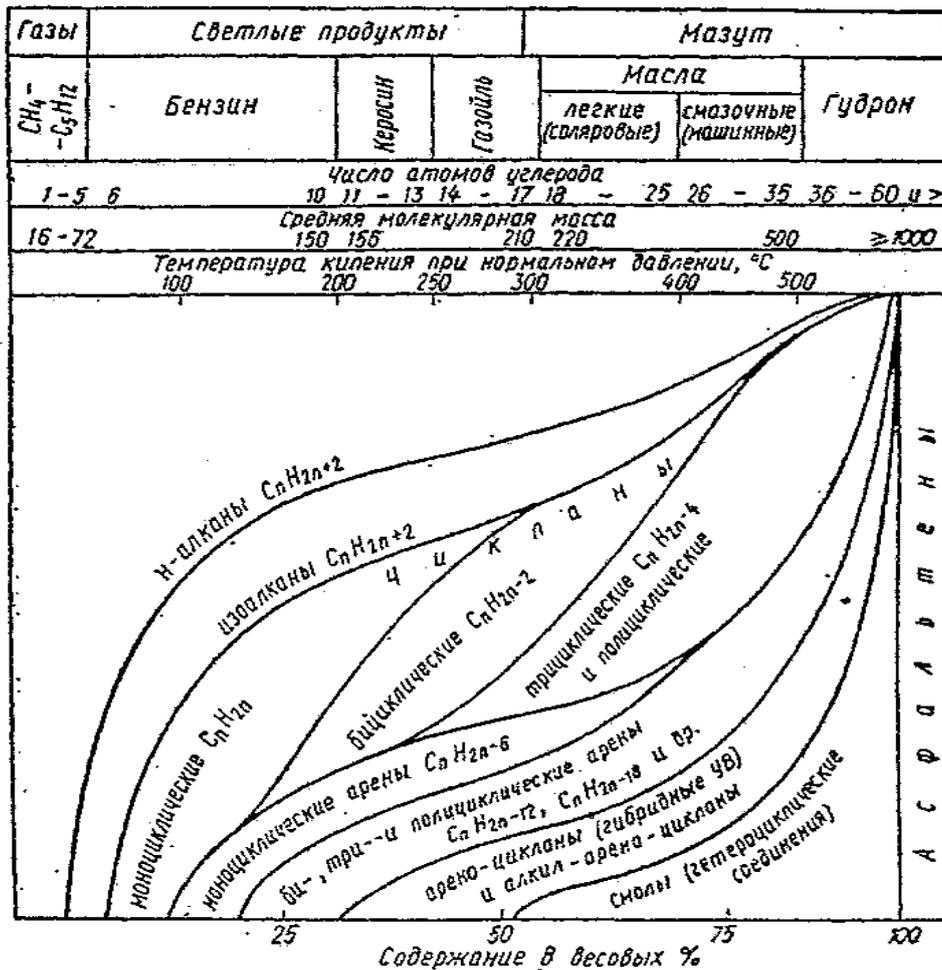


Рис. 1. Соотношение компонентов нефти и их характеристика (по Н.Б. Вассоевичу, 1971)

Таким образом, эффективность утилизации нефтяного загрязнения биологическими способами зависит от состава и степени антропогенной нагрузки, глубины ее проникновения в почву, агрохимических характеристик почвы, состава микробиоценоза, продолжительности очистки и других факторов.

Важным моментом при биоочистке нефтезагрязненных почв является контроль за эффективностью очистки. К сожалению, на сегодняшний день нет единого метода оценки утилизации в целом конкретного нефтяного загрязнения. Из существующих лабораторных методов [Проблема диагностики..., 2003], контролирующих полноту очистки, наиболее распространенным в нашей стране является контроль за содержанием до и после очистки так называемых «нефтепродуктов».

Согласно ГОСТу 17.1.4.01-80 (Охрана природы. Гидросфера) под нефтепродуктами понимается сумма малополярных углеводородов (алифатические, ароматические,

алициклические), составляющую главную и наиболее характерную часть нефти и продуктов ее переработки. Извлечение их производится CCl_4 или другими растворителями с последующей очисткой на хроматографической колонке с Al_2O_3 и анализом.

Таблица 1

Классификация компонентов нефтей по их способности к биodeградации
[Кодина, 1988]

Группа	Отношение к воздействию микроорганизмов	Степень биodeградации, % к исходному содержанию	Компоненты нефти
I	Высокочувствительные	80-100	н-алканы изо-алканы
II	Чувствительные	60-80	Циклоалканы с 6, 1, 5 и двумя кольцами, s-ароматика, моноароматика
III	Умеренно чувствительные	45-60	Циклоалканы с 3 и 4 кольцами и триароматические УВ
IV	Устойчивые	30-45	Тетраароматические УВ, стераны, тритерпаны, нафтеноароматические УВ
V	Высокоустойчивые	0-30	Пентаароматические УВ, асфальтены, смолы

Вполне очевидно, что содержание фракции «нефтепродуктов» в разных типах нефтяного загрязнения различно. В связи с этим расчет эффективности утилизации нефтяного загрязнения по снижению содержания «нефтепродуктов» в почве до и после проведения очистных работ является величиной относительной. Она лишь показывает, насколько полно прошла биodeградация данной фракции. Ранее этот вопрос нами неоднократно обсуждался [Рогозина, Хотянович, 1995; Система методического..., 1999]. В развитие высказанных нами положений была проведена экспериментальная работа, позволившая оценить долю «нефтепродуктов» в различных нефтяных загрязнителях. В лабораторных условиях равные по весу навески предварительно экстрагированного хлороформом песка искусственно загрязнялись одинаковыми дозами керосина, нефти и мазута. Затем, согласно РД 52.18.575-96 [Определение валового..., 1999], определялось в них содержание «нефтепродуктов». Параллельно проводилась экстракция загрязненного песка

хлороформом и исследовался групповой состав экстракта. Результаты проведенного эксперимента сведены в табл. 2.

Таблица 2

Содержание фракции «нефтепродуктов» в различных нефтяных загрязнителях

Загрязнитель образца песка	Содержание в составе нефтяного загрязнителя (% отн) фракции		Примечание
	масел	«нефтепродуктов»	
Керосин	-	97.4	
Нефть 1	92.9	86.4	
Нефть 2	61.3	61.5	
Мазут	60.3	88.0-90.9	Из-за неравномерности загрязнения навески песка мазутом

Использованные в экспериментальной работе нефтяные загрязнители, как следует из таблицы, значительно различаются по содержанию фракции «нефтепродуктов» - от 97,4 % в керосине до 61,5 % в составе нефти 2. Отсюда следует, что вне рамок количественного определения степени утилизации может оказаться до 40% нефтяного загрязнителя. Это следует и из определения содержания масел в составе использованных загрязнителей. Несмотря на некоторое несоответствие содержания масел и «нефтепродуктов» в составе мазута, в групповом составе хлороформенного экстракта мазута и нефтей на долю смол и асфальтенов приходится также до 40 %.

На основании выше изложенного следует:

1. Нефтяное загрязнение почвенных экосистем, представленное различными типами нефтей и продуктов их переработки, многовариантно по своему углеводородному составу.
2. Различные классы углеводородов в составе нефтей и продуктов их переработки характеризуются разной степенью устойчивости (от 0 до 100%) к биодegradации.
3. На сегодняшний день нет единого метода контроля за утилизацией нефтяного загрязнения почв, позволяющего оценить абсолютное снижение валового содержания загрязнителя и отдельных его фракций при проведении очистных, в первую очередь биоочистки, работ.

4. Балансовая сторона биодеструкции нефтяного загрязнения почвенных экосистем является одной из актуальных проблем экологии и представляет интерес в научном и практическом отношении.

Коллективом сотрудников Центра экологической безопасности (Санкт-Петербург) под руководством доктора биологических наук, профессора Л.П. Капелькиной летом 2006 г. были начаты исследования по оценке эффективности различных способов, включая биологический, очистки нефтезагрязненных почв. Испытания проходили на специально подготовленном полигоне, загрязненных нефтью из расчета 10 л/м². До начала работ по очистке загрязненный полигон в течение двух недель выдерживался без каких-либо нарушений.

ВНИГРИ приняло участие в этих исследованиях на следующих условиях:

- отбор контрольных и нефтезагрязненных проб почвы на отведенных институту участках до начала очистки;
- обработка загрязненных участков биопрепаратами серии Нафтокс по ранее разработанной институтом технологии;
- отбор контрольных и нефтезагрязненных проб почвы через 2 месяца после начала очистки;
- анализ отобранных проб почвы по разработанной в институте схеме проведения нефтеэкологической экспертизы и контроля за ходом очистных работ;
- интерпретация полученных результатов биодеструкции нефтяного загрязнения.

Ниже изложены результаты выполненных во ВНИГРИ по этому проекту исследований.*

Согласно разработанной во ВНИГРИ концепции биологической очистки нефтезагрязненных почв первым этапом перед началом работ является проведение нефтеэкологической экспертизы загрязненной территории, результаты которой служат основанием для решения таких вопросов как:

- справится ли почва с нефтяным загрязнением путем самоочистки;
- эффективен ли биологический способ очистки для данного уровня загрязнения;
- насколько необходима биологическая доочистка после применения других способов утилизации нефтяного загрязнения.

* Анализы были выполнены в комплексной лаборатории химических и физических методов исследования УВ сырья и нефтегазоматеринских пород ВНИГРИ под руководством к. г.-м. н. А.И. Шапиро

К сожалению, перед началом проведения эксперимента нефтеэкологическая экспертиза загрязненного полигона не была проведена.

По первоначальной дозе нефти – 10 л/м² – трудно судить о фактической нефтяной нагрузке, поскольку за две недели внесенная в почву нефть частично испарилась, частично проникла в глубь почвы. В связи с этим перед внесением биопрепарата на отведенных институту участках (7 и 8 в четырехкратной повторности), а также на контрольных участках в интервале глубин 0 – 5 см (согласно методическим рекомендациям основных исполнителей проекта) были отобраны способом «конверта» образцы почв.

Как показали анализы, нагрузка по «нефтепродуктам» в интервале 0 – 5 см для участков 7 составила 48653 - 69637, в среднем 55544 мг/кг. Соответственно для участков 8 содержание «нефтепродуктов» находилось в пределах 46150 - 59370, в среднем 52682 мг/кг.

По данным химико-битуминологического анализа в осредненном образце почвы с участков 7 содержание хлороформенного битумоида составило 85517 мг/кг, для участков 8 – 87375 мг/кг.

Таким образом, загрязненность полигона «нефтепродуктами» более чем в 10 раз превышала высокий уровень загрязнения почвы (3000 - 5000 мг/кг), установленный Госкомэкологией России в 1999 г.

Нефтяное загрязнение участков, определенное по содержанию в почве хлороформенного битумоида в среднем более чем в 1,5 раза превышало определенную по содержанию «нефтепродуктов».

Содержание «нефтепродуктов» в осредненной с контрольных участков пробе почвы составляло 150 мг/кг, что оказалось в четыре раза меньше содержания в ней хлороформенного битумоида.

Среднее содержание $C_{орг}$ в почве полигона до загрязнения ее нефтью, как показал анализ почвы контрольных участков - 2,66%.

В нефтезагрязненную почву были внесены биопрепараты Нафтокс-4Д (участки 7) и Нафтокс-5 КВ (участки 8). Для испытания была выбрана жидкая форма препарата, приготовленная на основе активных штаммов углеводородокисляющих микроорганизмов, титр которых в препаратах составлял $n \cdot 10^9$ кл/мл. Разрыхленная после отбора исходных образцов почва увлажнялась, в нее вносились необходимые для обеспечения жизнедеятельности микроорганизмов компоненты (N, K, P) и соответствующий биопрепарат. Затем участки вновь перекапывались на глубину 5 см и разрыхлялись.

Начало эксперимента проходило при температуре воздуха 20 - 25⁰С. Влажность, с учетом имеющейся, на участке 7 составляла 20,9%, на участке 8 – 19,7%. На контрольных участках после их увлажнения содержание влаги составило 14%.

Через два месяца после начала эксперимента были отобраны по приведенной выше методике образцы почвы с контрольных и загрязненных участков. Несмотря на прошедшие к концу второго месяца дожди, на участках, обработанных биопрепаратами, резко снизилась влажность почвы. Содержание влаги в интервале 0 – 5 см в средней пробе участков 7 снизилось до 1,72 против 20,9, а участков 8 до 0,66 против 19,7%. Содержание влаги в средней пробе контрольных участков возросло с 14 до 21,1 %.

Значение рН почвы контрольных и нефтезагрязненных участков из области слабощелочной (контрольный участок и участок 8) и нейтральной (участок 7) перешло в слабокислую область.

Микробиологический анализ показал, что через 2 месяца после начала эксперимента, несмотря на резкое снижение содержание влаги и перехода рН в слабокислую область, в почве, обработанной биопрепаратами, в интервале глубин 0 – 5 см сохранился наряду с бациллами и грибами высокий титр углеводородокисляющих микроорганизмов – $\cdot 10^6$ на участках 7-4Д и $\cdot 10^7$ на участках 8 - 5 КВ. В почве контрольных участков присутствовали только бациллы и грибы.

Эти данные свидетельствуют о высокой жизнеспособности и активности микроорганизмов, составляющих основу биопрепаратов.

Об эффективности биопрепаратов судят по снижению нефтяной нагрузки на почву в процессе проведения очистных работ. Как отмечалось выше, таким показателем является степень снижения содержания фракции «нефтепродуктов».

По результатам проведенных анализов степень очистки биопрепаратом Нафтокс-4Д варьировала в пределах 3,8 - 26,3%, в среднем 8,6%, биопрепаратом Нафтокс-5КВ - 1,7 - 27,4%, в среднем 9,1%, от исходного содержания «нефтепродуктов» в загрязненной почве.

При незначительной степени утилизации нефтяного загрязнения (менее 10% потери «нефтепродуктов») важно установить, какие составляющие нефти оказались более предпочтительными для микроорганизмов. Материалом для решения этого вопроса послужили результаты комплексного анализа хлороформенных битумоидов, извлеченных из образцов нефтезагрязненной почвы до и через два месяца после внесения биопрепаратов (табл. 3).

Таблица 3

Изменение химико-битуминологических параметров в осредненных пробах нефтезагрязненной почвы в процессе биоочистки*

Участок	Влага, % на почву	рН	Нефтепродукты, %	$\alpha_{ХБ}$, %	Групповой состав ХБ, % отн.				Состав Ме-Нф фракции, % отн.				Состав насыщ. УВ, % отн.	
					М	См/б	См сп/б	Асф	Ме- Нф	Ar I	Ar II	Ar II	н- алканы	изопреноиды
До внесения биопрепаратов														
7	7,53	6,8	5,55	8,55	71,11	14,21	10,57	4,11	66,19	10,79	23,02	0,0	81,30	18,70
8	9,34	7,0	5,27	8,74										
Через 2 месяца после внесения биопрепаратов														
7 – 4Д	1,72	5,5	5,07	8,24	69,91	13,40	12,02	4,67	59,29	16,28	24,43	0,0	63,69	36,31
8 – 5КВ	0,66	5,5	4,79	8,52	69,92	13,92	11,31	4,85	61,97	16,62	21,41	0,0	74,63	25,37

* Срок очистки 2 мес. Биопрепараты – Нафтокс-4Д и Нафтокс-5КВ, интервал отбора проб почвы 0 - 5 см

Результаты анализа объединенного битумоида (участки 7 и 8) характеризуют состав исходного (до внесения в почву биопрепаратов) нефтяного загрязнения. В составе битумоидов, извлеченных из образцов почвы на участках 7 - 4Д и 8 - 5КВ через два месяца от начала эксперимента, произошли заметные изменения. Снизилось содержание масел, бензольных смол, метаново-нафтеновых углеводородов, н-алканов. На участках 8 - 5КВ отмечено снижение Ar II в составе Me-Нф фракции. Относительное содержание остальных составляющих битумоидов, по сравнению с составом исходного, в той или иной степени возросло.

Произошедшие изменения в качественном составе в целом битумоидов и отдельных их фракций являются величинами относительными, не позволяющими судить о фактической утилизации составляющих исходного нефтяного загрязнения.

В связи с этими были проведены балансовые расчеты, по результатам которых оценивалась абсолютная потеря всех составляющих исходного битумоида и определена степень утилизации за прошедшие два месяца по отношению к исходному их содержанию (табл. 4).

Таблица 4

Балансовая сторона утилизации нефтяного загрязнения на глубине 0-5 см через два месяца после внесения в почву биопрепаратов Нафтокс-4Д и Нафтокс-5КВ

Биопрепарат	Утилизация различных фракций ХБ (% отн. исходного содержания)									
	ХБ	М	См б	См сп/б	Асф	Me-Нф	Ar I	Ar II	н-алканы	изопреноид
4Д	3,6	5,2	9,1	+9,6	+9,5	15,1	+43,0	+0,6	33,5	+64,8
5КВ	2,5	4,1	4,5	+4,3	+15,0	10,3	+47,7	10,9	17,6	+21,8

Наиболее наглядно балансовая сторона утилизации нефтяного загрязнения представлена на рис. 2. Как следует из данных табл. 4 и рис. 2, на полигоне происходил сложный процесс биохимического преобразования нефтяного загрязнения. В нем участвовали все составляющие искусственно созданной экосистемы – почва полигона, нефтяное загрязнение, внесенные с биопрепаратами углеводородокисляющие микроорганизмы, компоненты их жизнеобеспечения, включая влагу и атмосферный кислород. Следует также иметь в виду, что, несмотря на полностью сбалансированную (до и после очистки) битуминозную составляющую (хлороформенный битумоид), система в целом остается открытой. Изменения содержащегося в загрязненной почве органического вещества, минеральной составляющей остались не исследованными.

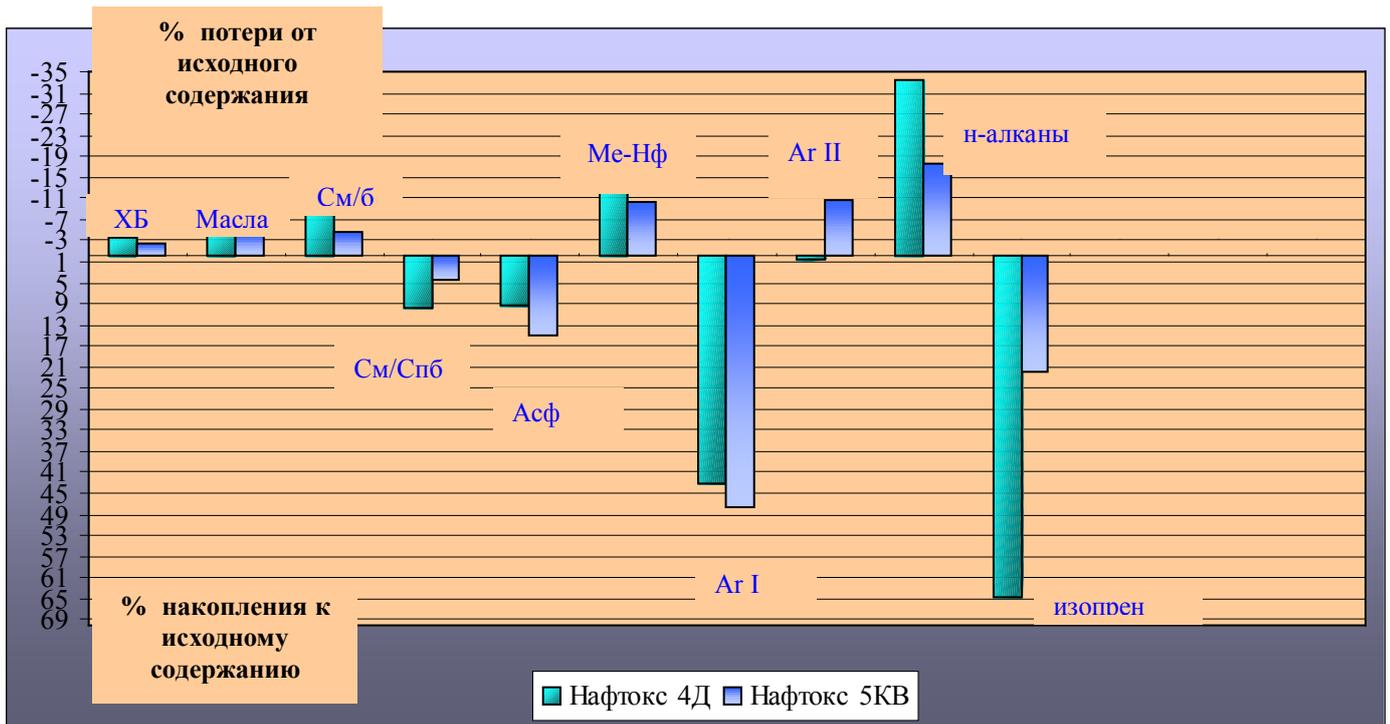


Рис. 2. Утилизация различных фракций ХБ биопрепаратами Нафтокс-4Д и Нафтокс-5KB (срок очистки 2 мес. Интервал очистки 0-5 см)

За два месяца «работы» биопрепаратов утилизация по снижению содержания ХБ нефтяного загрязнения оказалась незначительной – 3,6 % на участках 7-4Д и 2,5 % - на участках 8-5KB.

Согласно табл. 4 и рис. 2, процесс утилизации нефтяного загрязнения не является однонаправленным - содержание некоторых фракций, по отношению к их исходному содержанию, снижается, других – возрастает. Этот факт неоднократно нами фиксировался при создании и испытаниях биопрепаратов серии Нафтокс.

При проведении данных исследований детально была рассмотрена балансовая сторона утилизации насыщенных углеводородов – н-алканов и изопреноидов. Как следует из табл. 4, при утилизации нефтяного загрязнения резко снижается содержание н-алканов и происходит возрастание содержания изопреноидов, по сравнению с исходным.

Нафтокс – 4Д утилизирует н-алканы $C_{11}-C_{24}$. Фракция н-алканов $C_{11}-C_{24}$ подверглась биодеструкции на 53,1 % от исходного ее содержания в составе нефтяного загрязнения.

Степень утилизации при возрастании числа углеродных атомов в молекуле заметно снижается (н- C_{11} утилизирован на 100%, н- C_{24} всего лишь на 6,4 % от исходного содержания). Н-алканы $C_{25}-C_{37}$ в процессе прошедшей биоочистки увеличили свою массу, по

сравнению с исходной, на 17-337 %. Возросло и абсолютное содержание изопреноидов ($iC_{13} - iC_{25}$) по отношению к исходному на 17,8-93,7 %. Исключение составил iC_{15} , утилизация которого равна 70,4 %. (рис. 3, рис. 4).

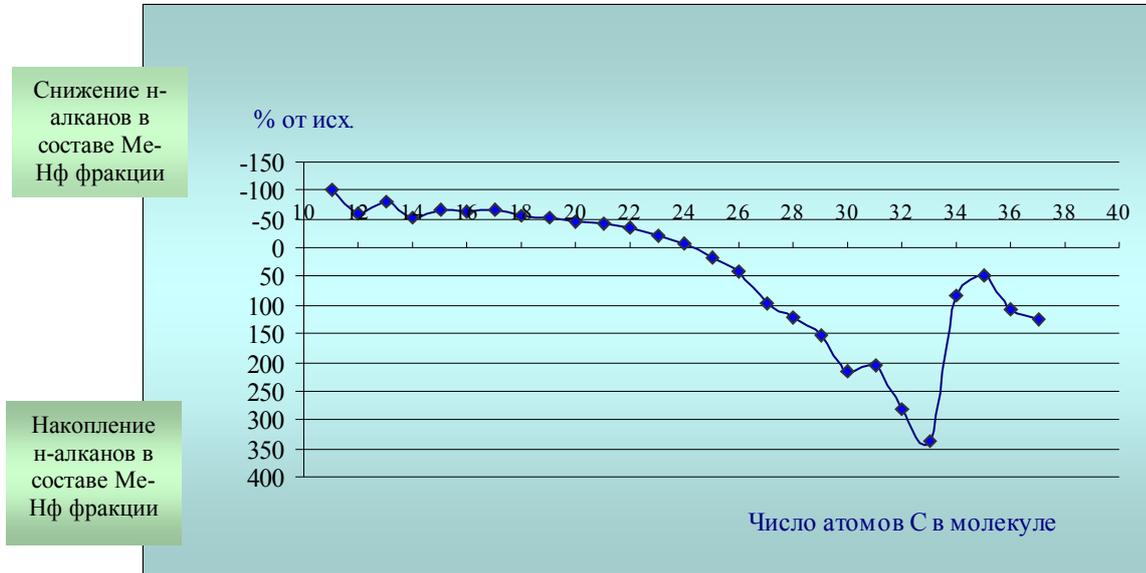


Рис. 3. Утилизация n-алканов в составе нефтяного загрязнения биопрепаратом Нафтокс-4Д

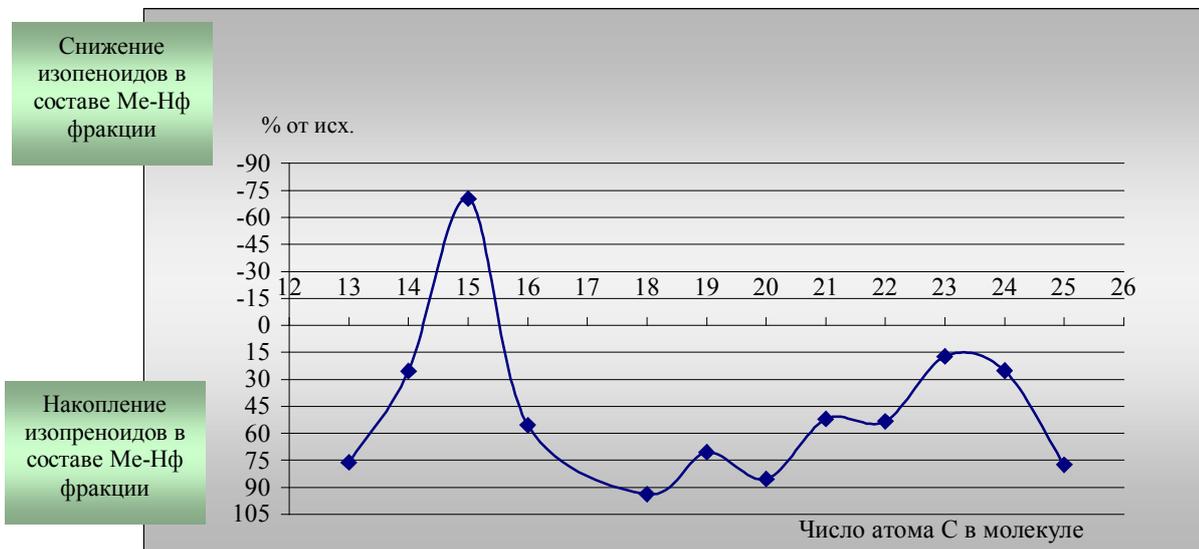


Рис.4. Утилизация изопреноидов в составе нефтяного загрязнения биопрепаратом Нафтокс-4Д

Утилизация насыщенных углеводородов биопрепаратом Нафтокс-5КВ происходила несколько иначе, чем биопрепаратом Нафтокс-4Д (рис. 5, 6).

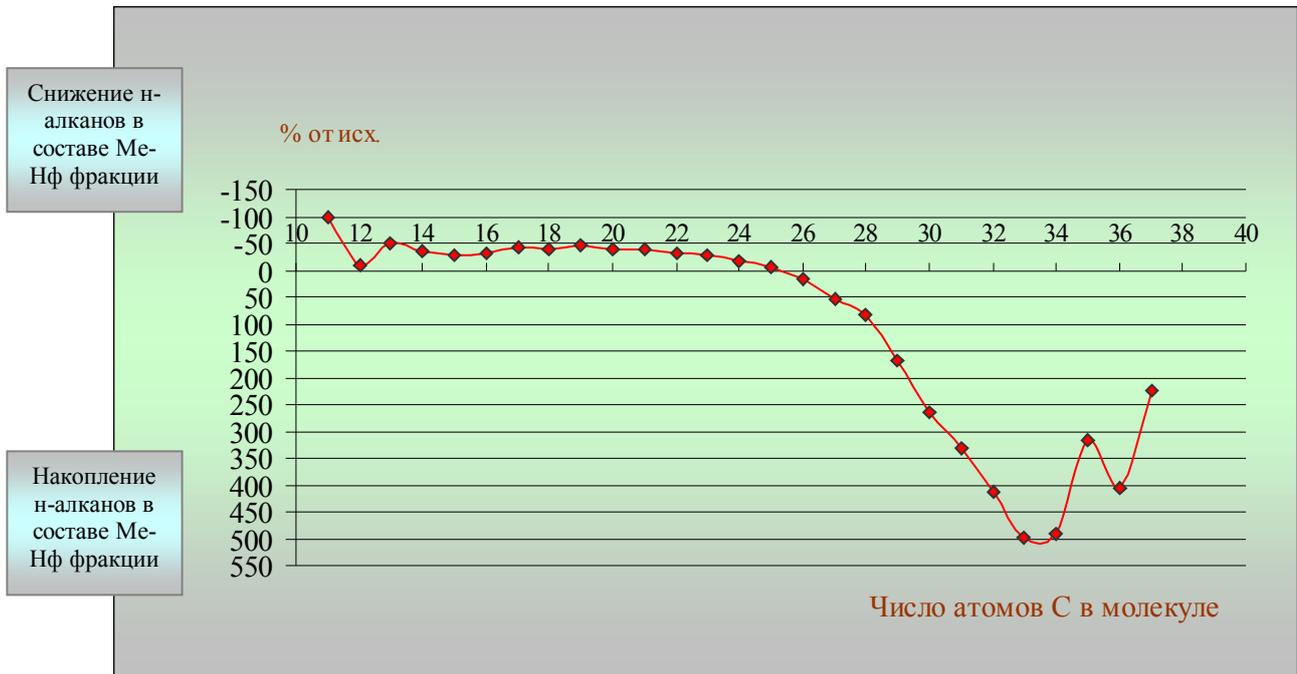


Рис. 5. Утилизация n-алканов в составе нефтяного загрязнения биопрепаратом Нафтокс-5КВ

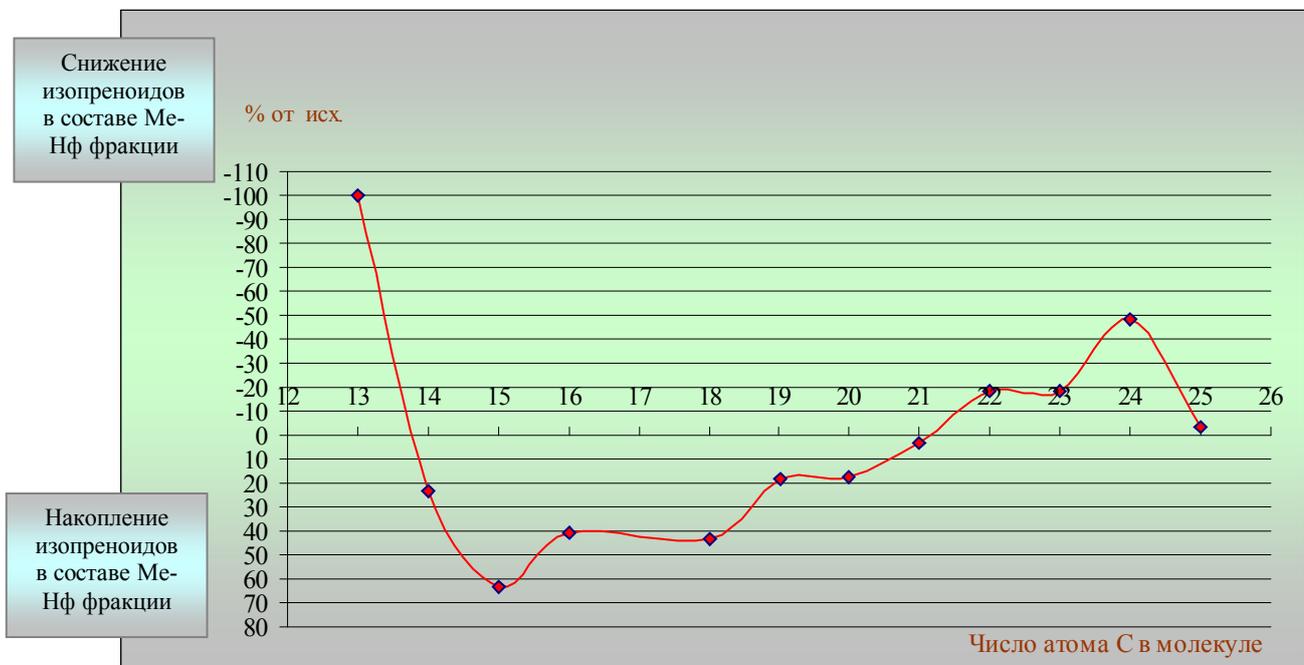


Рис. 6. Утилизация изопреноидов в составе нефтяного загрязнения биопрепаратом Нафтокс-5КВ

Так, диапазон *n*-алканов, подвергшихся биодеструкции несколько расширился (*n*C₁₁ – *n*C₂₅), на 100% утилизированы *n*C₁₁ и *n*C₁₂. С возрастанием числа атомов углерода в молекуле степень утилизации снизилась со 100% до 7,1%. В целом биодеструкция этой фракции прошла на 37,0%. *n*-алканы C₂₆ – C₃₇ в процессе биодеструкции в течение двух месяцев увеличили свою массу на 15 – 496,5%. В плане изопреноидов произошла 100% утилизация *i*C₁₃ и от 0,8 до 49,2% были утилизированы *i*C₂₂ – *i*C₂₅ от их исходного содержания.

Из более сложных по составу фракций битумоида, согласно данным анализа, углеводородокисляющие микроорганизмы (штамм 5КВ), в отличие от 4Д, подвергли биодegradации на 10,9% фракцию Аг II.

В целом следует отметить, что за два месяца биопрепарат Нафтокс – 5КВ с меньшей эффективностью, чем Нафтокс – 4Д, утилизировал нефтяное загрязнение.

Приведенные выше результаты исследований дают представление о биодеструкции различных фракций нефтяного загрязнения относительно их исходного содержания. Была рассчитана абсолютная потеря в целом битумоида и отдельных его составляющих.

На участках 7 - 4Д в интервале глубин 0 – 5 см в загрязненной почве снизилось на 230,8 г/м² содержание битумоида. Исходное его содержание составляло 6413,8 г/м². При исходном содержании 2454,3 г/м² нормальных алканов биодegradации подверглось 1134,4 г/м².

Соответствующие потери на участках 8-5КВ составили 164,6 г/м² из 6553,1 г/м² – в целом битумоида и 830,3 г/м² из 2507,6 г/м² – *n*-алканов.

Углеводородокисляющие микроорганизмы - основа биопрепаратов серии Нафтокс – в первую очередь утилизировали *n*-алканы (C₁₁ – C₂₅) и сохранили активность и жизнеспособность благодаря высокому содержанию последних в составе нефтяного загрязнения.

В дальнейшем необходим мониторинг за ходом трансформации нефтяного загрязнения на рассмотренном полигоне.

Но и сейчас можно составить представление об общих закономерностях дальнейшей трансформации нефтяного загрязнения. Это стало возможным благодаря широкому и детальному освещению в научной литературе результатов исследования проблемы трансформации и биодegradации отдельных классов нефтяных углеводов при самоочистке и биоочистке нефтезагрязненных почв.

Ю.И. Пиковский приводит результаты наблюдения за трансформацией трех типов нефтей, внесенных на поверхность почвы на экспериментальных площадках в количестве 20 л/м². Анализ результатов позволил заключить:

- процесс изменения состава нефти в почвах со временем отчетливо прослеживается по изменению содержания и состава ее групповых компонентов;
- снижение содержания всех групповых компонентов нефти происходит неравномерно;
- относительно и абсолютно быстрее других компонентов уменьшается содержание метаново-нафтеновой фракции;
- параллельно с уменьшением доли алканов существенно увеличивается в нефтях относительное содержание смолистых веществ не только за счет уменьшения доли других компонентов, но и за счет новообразования в процессе трансформации нефти;
- в первые три месяца пребывания нефти в почве в ее составе заметно увеличивается количество изопреноидных структур с числом углеродных атомов 19 и 20;
- в течение последующего года содержание изопреноидов относительно снижается.

Кроме того, снижается содержание углеводородов среднемолекулярной структуры (C₂₀ – C₂₄) и параллельно увеличивается содержание тяжелых (C₂₇ – C₃₇) углеводородов [Пиковский, 1993].

Ю.И. Пиковским были рассмотрены закономерности трансформации нефтяного загрязнения в процессе самоочищения почвы. В нашем случае трансформация нефтяного загрязнения проходила под действием биопрепаратов. Результаты изменения во времени состава остаточной нефти, внесенный в гумусовый горизонт почвенного профиля светлой серо-бурой почвы Апшеронского полуострова [Пиковский, 1993, табл. 36] мы представили графически (рис. 7). Помимо общей потери суммарного битумоида и отдельных его составляющих течение 15 месяцев, мы рассчитали динамику изменения этих параметров. Согласно проведенным данным к концу третьего месяца идет заметное снижение как в целом битумоида, так и его составляющих. К концу девятого месяца утилизация битумоида, метаново-нафтеновых замедляется, утилизация нафтеново-ароматических углеводородов близка к нулю, а доля смол и асфальтенов возрастает. К концу 15 месяцев с различной степенью интенсивности вновь происходит снижение содержания битумоида и его составляющих.

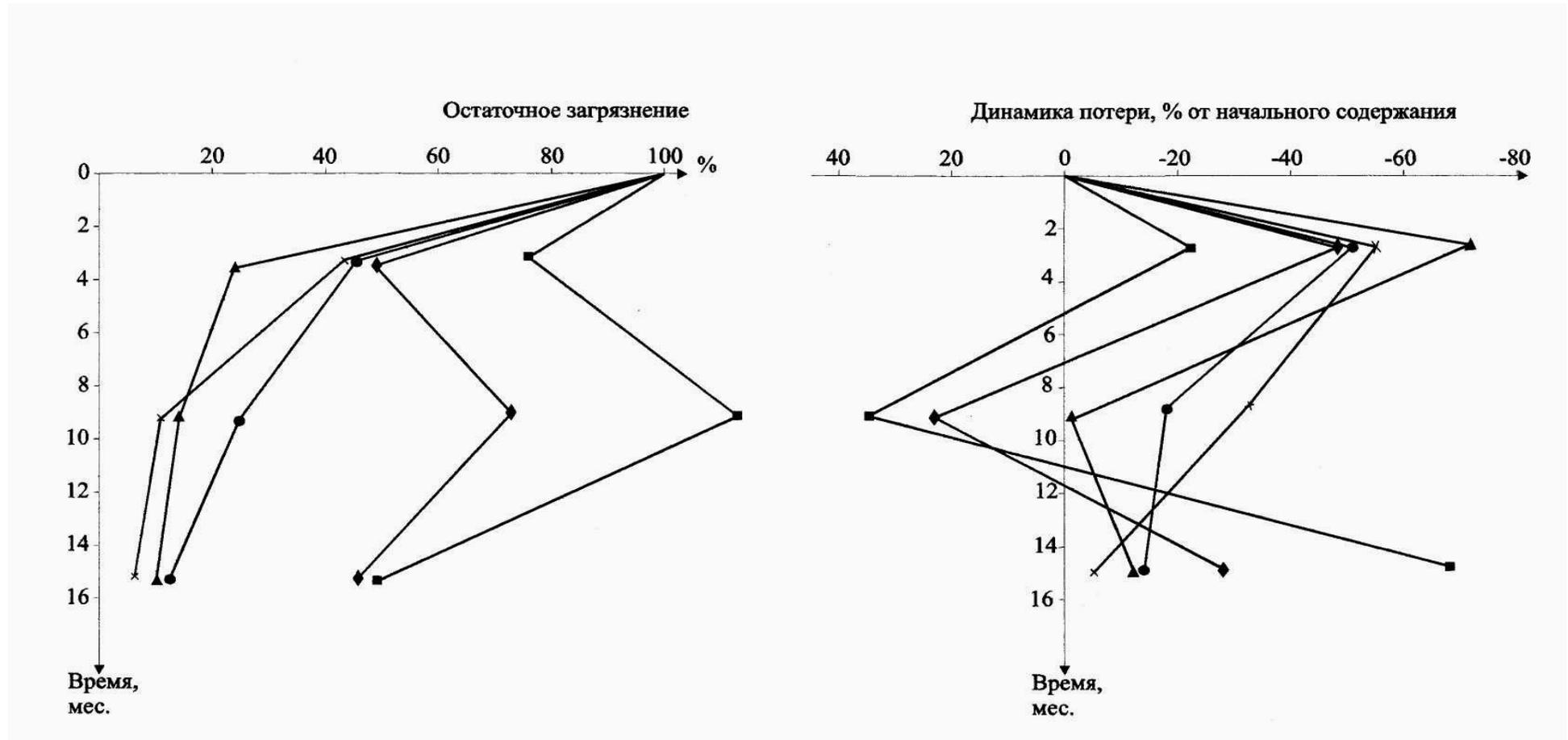


Рис. 7. Масштабы и динамика изменения во времени нефти и ее составляющих (% от начального содержания), внесенных в гумусовый горизонт почвенного профиля светлой серо-бурой почвы Апшеронского полуострова (по [Пиковский, 1993])

Условные обозначения: ● - нефть; x - метано-нафтеновые; ▲ - нафтено-ароматические UV; ■ - смолы; ▣ - асфальтены

При биоочистке с использованием биопрепаратов серии Нафтокс через 2 месяца после начала эксперимента характер трансформации нефтяного загрязнения аналогичен таковому при самоочистке через 9 месяцев от ее начала [Пиковский, 1993].

Несомненно, биопрепараты значительно ускоряют процесс биодеструкции нефтяного загрязнения почв.

Рассмотренная балансовая сторона процесса утилизации углеводородокисляющими микроорганизмами нефтяного загрязнения почвы показала его сложность и неоднозначность.

В первую очередь биодеструкции подвергаются наименее устойчивые фракции нефтяного загрязнения. Снижение их содержания происходит на фоне новообразования фракций смол и асфальтенов, что в значительной степени сказывается на эффективности утилизации в целом нефтяного загрязнения. Содержание и состав наименее устойчивых к биодegradации фракций, в определенной мере, обуславливают продолжительность процесса очистки. В связи с этим становится актуальным вопрос об условиях ограничения применения биопрепаратов в практике нефтеочистных работ. Обсуждению этого вопроса в последние годы уделяется значительное внимание [Диагностические признаки..., 1989; Пиковский, 1993; McGill, 1999; Проблема диагностики..., 2003; Киреева, 2005].

Выполненные исследования показали, насколько неинформативным и относительным является контроль за процессом нефтеочистных работ по изменению содержания «нефтепродуктов». При разработке концепции о проведении нефтеэкологической экспертизы загрязненной почвы перед началом биоочистных работ и последующего контроля за ходом очистки нами было предложено дополнительно в комплексе определяемых параметров ввести исследование хлороформенного битумоида [Система методического..., 1999; Комплексная нефтеэкологическая..., 1999; Рогозина, 2006; Рогозина, Шиманский, 2007].

Литература

Диагностические признаки различных уровней загрязнения почвы нефтью / Д.Г. Звягинцев, В.С. Гузев, С.В. Левин, Г.И. Селецкий, А.А. Оборин // Почвоведение, 1989, № 1. С. 72 - 78.

Киреева Н.А. Рекультивация нарушенных земель. Уфа: БашГУ, 2005.

Кодина Л.А. Геохимическая диагностика нефтяного загрязнения почвы / Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 112 - 122.

Комплексная нефтеэкологическая экспертиза – основа для выбора регламента рекреации почвенных экосистем / Е.А. Рогозина, В.К. Шиманский, А.В. Хотянович и др. //

Нефтегазовая геология на рубеже веков. Прогноз, поиски, разведка и освоение месторождений. Юбилейная конференция, т. 3. СПб.: ВНИГРИ, 1999. С. 376 - 380.

Определение валового содержания нефтепродуктов в пробах почвы методом ИКС. Методика выполнения измерений. Методические указания. РД 52.18.575-96. М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1999.

Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1993, 208 с.

Проблема диагностики и нормирования загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами / Ю.И. Пиковский, А.Н. Геннадиев, С.С. Чернявский, Г.Н. Сахаров // Почвоведение, 2003, №9. С. 1132 - 1140.

Рогозина Е.А. Актуальные вопросы проблемы очистки нефтезагрязненных почв // Нефтегазовая геология. Теория и практика (Электронный ресурс). СПб.: ВНИГРИ, 2006 (1). Режим доступа: <http://www.ngtp.ru/rub/7/02.pdf>.

Рогозина Е.А., Хотянович А.В. Биорекреация нефтезагрязненных почвенных и водных экосистем // Сб. Докл. Первой Всеросс. конф. «Поиски нефти, нефтяная индустрия и охрана окружающей среды. СПб, 17-22 апрель 1995. СПб., 1995. С. 131 - 136.

Рогозина Е.А., Шиманский В.К. Некоторые теоретические вопросы восстановления нефтезагрязненных почвенных экосистем // Нефтегазовая геология. Теория и практика (Электронный ресурс). СПб.: ВНИГРИ, 2007 (2). Режим доступа: <http://www.ngtp.ru/rub/7/012.pdf>.

Система методического и нормативного обеспечения работ в области нефтеэкологии / М.Д. Белонин, Е.А. Рогозина, А.В. Хотянович, В.К. Шиманский // Докл. Второй Международной Конференции 17-20 марта 1998 г., СПб. «Экология, нормативно-методические и правовые основы постоянно действующей службы нефтеэкологического мониторинга и принципы ее финансового обеспечения». СПб.: ВНИГРИ, 1999. С. 10 - 22.

Mc Gill W. Soil restoration following oil spills – a review // J. Canad. Petrol. Technol. V. 16. № 2. 1999. P. 60 - 67.