

Коллектив авторов, 2005

Пинчук Н.П., Кизуб Н.И., Кулындышев В.А. (Фонд геологического наследия), Хорьков В.Я., Покутник А.С., Жуковский А.Б. (Минобороны РФ), Саксон В.М., Кузнецов С.А. (ЗАО «Полиинформ»), Абрамов В.Ю. (ООО «ФАРгео»)

## КОНЦЕПЦИЯ КОНТРОЛИРУЕМОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ\*

Главной целью концепции контролируемого экологического состояния геологической среды на территориях разрабатываемых нефтяных и газовых месторождений, магистральных и промысловых трубопроводов, складов горюче-смазочных материалов является выбор количественных критериев типизации и описания загрязнения геологической среды (подземных вод, грунтов, почв, зоны аэрации) нефтепродуктами, а также проведение мониторинга и специализированных работ по локализации и ликвидации загрязнения. Под понятием «загрязнение геологической среды нефтепродуктами» следует понимать ухудшение качества геологической среды (физических, химических, биологических свойств), приводящее к ощутимому экологическому и социально-экономическому ущербу. Общепринятое понимание термина «углеводородное загрязнение геологической среды» нуждается в дальнейшей конкретизации с точки зрения оптимального уровня очистки по следующим причинам:

1) предел очистки существенно зависит, с одной стороны, от характера использования поверхностных и подземных вод, а с другой — их естественное качество может быть настолько низким, что ее дальнейшее ухудшение уже не является принципиальным;

2) социально-экономические, а нередко экологические последствия загрязнения геологической среды трудно предсказуемы;

3) практически не разработаны принципы и методы оценки экономической эффективности мероприятий по охране поверхностных и подземных вод от загрязнения нефтепродуктами.

Следовательно, разумно дифференцировать загрязнение по *допустимому и недопустимому* снижению качества поверхностных и подземных вод. Поэтому прогнозные оценки, необходимые для категоризации процесса загрязнения, требуют соответствующей информации, а ее во многих случаях не хватает. Для отражения возникшей неопределенности вводится понятие «*потенциально опасного загрязнения геологической среды*», соотносящегося с процессом, который не может быть заранее оценен по своим последствиям, но с немалой долей вероятности способен выйти за допустимые рамки ограничений. В практике проектирования инженерных мероприятий по локализации и ликвидации очагов загрязнения геологической среды нефтепродуктами нередки ситуации, когда имеющаяся исходная информация не позволяет надежно исключить возможность недопустимого загрязнения геологической среды при выбранных технологических решениях.

**Основные идеи концепции контролируемого экологического состояния геологической среды.** Концепция не ориентируется на проведение мероприятий по устранению загрязнения водоносной системы или ликвидации его последствий, а основана на самоочищении, инженерной профилактике и мониторинге, увязанных между собой последовательно уточняемым (на основе результатов наблюдений) гидролого-гидрогеологическим прогнозом. Она оптимизирует требования к охране водной системы в соответствии с инженерной реальностью, допуская при этом контролируемое загрязнение как неизбежное зло.

Предлагаемая концепция является единственно приемлемым подходом для ситуаций с неясными экологическими и социально-экономическими последствиями, в которых определенное загрязнение геологической среды нефтепродуктами может считаться, с одной стороны, допустимым в настоящее время, а с другой стороны, с большей долей вероятности, недопустимым в будущем. Такой подход увязывается с относительно медленным развитием процессов загрязнения геологической среды нефтепродуктами, при этом оставляя время для корректировки исходных инженерных решений и проведения последующих мероприятий. Жизнеспособность концепции зависит от качества мониторинга водной системы, который должен иметь четкую целевую направленность. Это предполагает модельную ориентацию мониторинга как важнейшего элемента системы управления качеством геологической среды.

Концепцию применительно к условиям загрязнения геологической среды нефтепродуктами на территориях разрабатываемых нефтяных и газовых месторождений, магистральных и промысловых трубопроводах, складах горюче-смазочных материалов обеспечивает:

1) *непрерывное наращивание новой информации* в процессе наблюдения за загрязнением для реализации защитных мер в соответствии с общими принципами адаптации и обратной связи; предпочтение должно отдаваться тем водоохранным мерам, которые обеспечивают наиболее эффективное накопление информации, необходимой для проектного обоснования;

2) *адаптивное проектирование*, т.е. гибкое реагирование системы защитных мер и конечных показателей борьбы с загрязнением на вновь получаемую информацию; особое внимание обращается на загрязнение грунтов зоны аэрации для определения предельных концентраций загрязняющих компонентов, при которых они не будут являться источником недопустимого загрязнения поверхностных и подземных вод;

3) *многовариантный подход к контролю конечных показателей загрязняющих компонентов путем управления защитной системой* в рамках основных инженерных параметров (например, локализация загрязнений, очистка воды и грунтов, ликвидация источника загрязнения, ограничения на водопользование и т.д.); важную роль играет контролирование путей и времени миграции загрязнений, что позволяет с максимальной эффективностью использовать естественные защитные механизмы геологической среды;

4) *поэтапное ориентирование мониторинга на систему защитных мер*, а также на изменяющиеся информационные запросы и контрольные показатели; особое внимание уделяется наблюдениям за опробованием качества воды;

5) *экономически рациональное распределение финансовых средств*, увязанное со стадиями исследования процессов за-

\* Статья является логическим продолжением работы В.А. Рябкова и др. «Современные методы очистки и локализации очагов нефтяного загрязнения геологической среды» // Разведка и охрана недр. — 2002. — № 12. — С.42 — 46.

грязнения и стадиями проектирования водоохранных мероприятий, что позволяет соблюсти оптимальное взаимоотношение между затратами идущими непосредственно на мероприятия по борьбе с загрязнением и затратами на их информационное обеспечение;

б) перевод проблемы оптимизации водозащитных мероприятий в социально-экономическую плоскость, так как главное требование, касающееся защиты населения должно выполняться при любых вариантах, а выбор рационального экономического варианта должен определяться стоимостью защитных мер и компенсационными отчислениями за экологический ущерб.

Концепция не предназначена для повсеместного сохранения или восстановления высокого качества поверхностных и подземных вод, но она гарантирует предотвращение опасного воздействия загрязнения на население и среду его обитания. Такое воздействие оценивается как конечный результат реабилитации, что особенно важно при работе со средствами массовой информации. Одновременно создаются необходимые и достаточные предпосылки для конкретизации ущерба от загрязнения, поиска виновников загрязнения и оценки меры их ответственности.

Главным достоинством концепции является то, что она позволяет избежать тупиковых ситуаций, т.е. защита потребителя от недопустимого загрязнения может быть достигнута в рамках технико-экономических решений. Образно говоря, концепция позволяет последовательно (по мере возникающей необходимости) выстраивать и вводить в действие ряд «рубежей обороны».

Методологические основы концепции контролируемого экологического состояния геологической среды были разработаны В.А. Мироненко и В.Г. Румыниным [1], а принципиальная схема контролируемого загрязнения подземных вод приведена на рис. 1.

**Необходимые и достаточные условия для оптимизации процесса локализации и ликвидации нефтяного загрязнения геологической среды** на территориях разрабатываемых нефтяных и газовых месторождений, магистральных и промысловых трубопроводов, складов горюче-смазочных материалов следующие:

1) создание «концепции-программы» и утверждение ее МПР и Минтопэнерго РФ; в этом случае она приобретает статус руководящего документа министерского уровня;

2) разработка и утверждение МПР и Минтопэнерго РФ необходимых нормативно-методических документов по очистке геологической среды от нефтепродуктов в районах разрабатываемых нефтяных и газовых месторождений, магистральных и промысловых трубопроводов, складов горюче-смазочных материалов, т. е. будем иметь отраслевой стандарт, обязательный для всех предприятий и организаций России;

3) разработка и утверждение технических параметров допустимой очистки геологической среды от нефтепродуктов; в этом случае мы получаем что-то типа ПДК, т.е. отраслевой стандарт;

4) осуществление контрольных функций за всеми предприятиями и организациями, которые по хозяйственным договорам осуществляют очистку геологической среды на территории РФ.

**Современные технологии ликвидации нефтезагрязнений.** Основное загрязнение геологической среды происходит как в процессе добычи нефти, так и при ее транспортировке, хранении и переработке. Кроме того, существуют неучтенные источники нефтезагрязнений (бензоколонки, гаражи, отдельные предприятия, военные полигоны и т.д.), не включаемые в статистические показатели.

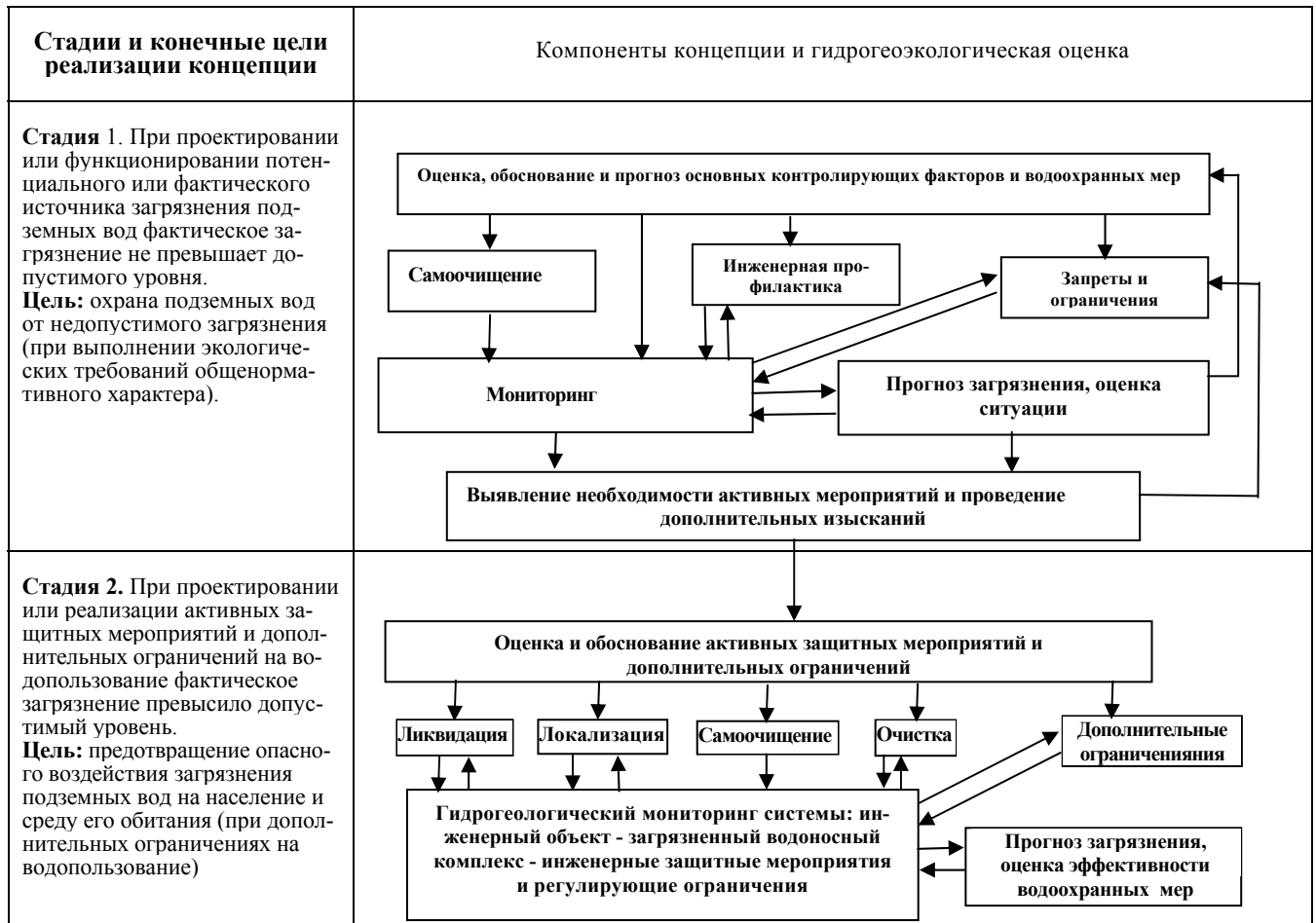


Рис. 1. Основы концепции контролируемого загрязнения подземных вод (“Рубежи обороны”)

На территории РФ эксплуатируется более 200 тыс. км магистральных и 350 тыс. км промысловых трубопроводов. Физический износ оборудования, отсутствие надлежащего контроля за его состоянием приводит к росту числа аварийных разливов нефти. За последние 5—6 лет доля аварий, произошедших из-за физического износа и коррозии металла, увеличилась на 60—70%, а в ряде случаев является единственной их причиной. Так, только в нефтяной компании АО «Юганскнефтегаз» в последнее время произошло более 400 аварийных прорывов промысловых трубопроводов, а более 1000 км промысловых трубопроводов нуждается в срочной замене (рис. 2, вкладка).

Значительное количество нефтяных разливов происходит при транспортировке и хранении нефти. Ежегодно из 300 млн. т нефти, добываемой в России, в процессе транспортировки и хранения теряется 1,5—10 % от общего объема добытой нефти, т.е. по самым минимальным оценкам около 4,5 млн. т нефти в год, а по максимальным оценкам — около 30 млн. т нефти в год.

Приведенная ситуация обуславливает интенсивный интерес к работам, связанным с ликвидацией последствий разливов нефти и нефтепродуктов. Для реализации таких мероприятий нефтяными компаниями, отдельными предприятиями, администрациями субъектов РФ и т.д. резервируются значительные финансовые средства. Кроме того, возникает большая потребность восстановления экологического статуса районов дислокации воинских подразделений, железных дорог, объектов топливно-энергетического комплекса и др.

В настоящее время разработан целый ряд эффективных технологий, позволяющих ликвидировать последствия загрязнения нефтью и нефтепродуктами объектов окружающей среды. Наиболее эффективными технологиями считаются: сжигание, захоронение и биовосстановление. Наиболее перспективным следует считать метод биовосстановления. Он обладает следующими преимуществами перед способами сжигания и захоронения нефтезагрязненных грунтов и отходов: а) экономически более выгоден; б) не требует захоронения остатков; в) отсутствуют газовоздушные выбросы; г) получаемый в результате очистки продукт улучшает структуру почвы и естественно вписывается в природные циклы.

Опубликованные исследования, выполненные в США, Германии, России, свидетельствуют об экономической эффективности методов биовосстановления. Так, стоимость очистки 1 т нефтезагрязненных отходов в долл. США составляет: а) при сжигании — от 200 до 400; б) при захоронении — от 150 до 250; в) при биовосстановлении — от 30 до 150.

Фирма «Полиинформ» (Санкт-Петербург) разработала биотехнологию «Сойлекс», в основе которой лежит использование биопрепаратов, имеющих высокую деструктивную активность в отношении нефтезагрязнений, в том числе и для тяжелых фракций нефти при pH 4,5—8,2 и температуре 3—40°C. Она имеет следующие преимущества перед существующими методами биологической очистки (рис 3, 4, вкладка):

1. Полный экологический мониторинг, включающий количественный и качественный анализ содержания углеводородов, позволяет подобрать ассоциацию штаммов-деструкторов, оптимальную для данного типа загрязнения;

2. Технология выращивания «микробов-деструкторов» обеспечивает сохранение жизнеспособности и высокой нефтеокисляющей активности штаммов-деструкторов в течение длительного времени (не менее 1,5 лет);

3. Совместное использование данного биопрепарата с биопрепаратами другого назначения (микробиологическими удобрениями, биопрепаратами для защиты растений)

позволяет не только очистить среду обитания, но и восстановить разрушенные экологические связи в биоценозе.

В последнее время фирмой «Полиинформ» разработана технология утилизации нефтешламовых и нефтяных амбаров с последующей рекультивацией самого амбара, которая делится на следующие этапы: а) утилизация нефтешламов с выделением товарной нефти или нефтепродуктов; б) размещение и биологическая очистка на площадке рекультивации механических и других примесей, оставшихся после переработки нефтешламов; в) биологическая очистка днища и бортов амбаров.

**Обоснование величины конечного уровня нефтезагрязнения после проведения рекультивационных мероприятий.** В России до настоящего времени отсутствуют государственные нормативы на нефтепродукты, находящиеся в почве. Исключение составляют отраслевые нормативы содержания нефтепродуктов в почвах [2]: концентрация (в г/кг): допустимая — до 1; низкая — до 2; средняя — до 3; высокая — до 5 и очень высокая — свыше 5. Показатели определены с позиции расчета размеров ущерба, нанесенного аварийными разливами нефти или нефтепродуктов, которые содержат наиболее токсичные ароматические фракции, без учета рекультивационных мероприятий, снижающих основной токсический эффект, нанесенный загрязнителем. На наш взгляд, эти нормативы утратили свою актуальность, так как при проведении рекультивационных мероприятий в техногенных зонах (на автозаправочных станциях, нефтебазах, в хранилищах горюче-смазочных материалов, железнодорожных депо, свалках и т.п.) необходимо учитывать конечный уровень нефтезагрязнений, устанавливаемых природоохранными органами.

На территории Санкт-Петербурга действует региональный санитарный норматив, по которому ориентировочно-допустимые концентрации для нефтебаз и складов горюче-смазочных материалов устанавливаются 2 г/кг. Реальное содержание нефтепродуктов в почвах города достигает десятков г/кг, что обусловлено наличием примесей асфальта, попадающего в почву при дорожно-строительных работах, а также при истирании асфальтобетонного дорожного покрытия колесами автотранспорта.

Достижение вышеупомянутых нормативов при очистке почв биологическими методами возможно только при ликвидации свежего разлива нефтепродуктов. В техногенных зонах присутствуют, как правило, тяжелые металлы или токсичные органические вещества, что делает практически невозможным достижение допустимой нормы концентрации — 1 г/кг.

Проблема конечной концентрации нефтезагрязнений в почвах или грунтах после их очистки обсуждалась на международной конференции, проходившей 17—20 марта 1998 г. в Санкт-Петербурге [3]. По материалам форума, очистку нефтезагрязненных территорий целесообразнее проводить до экологически безопасного уровня, т.е. не превышающего 3 г/кг.

Почвенные микроорганизмы, испытывая на себе действие загрязнителей, могут служить индикаторами безопасного конечного уровня нефтезагрязнений. Установлено, что в процессе биологической деструкции нефтепродуктов идет постоянное накопление промежуточных продуктов окисления: смоло-, асфальтено- и битумоподобных соединений, не токсичных при низких концентрациях (не выше 3 г/кг) для большинства растений и представителей почвенного биоценоза. По мере биологической деструкции нефтепродуктов трудно окисляемые соединения постепенно накапливаются в почве. Это обстоятельство отражается на сроках проведения рекультивационных мероприятий. Например, снижение концентрации нефтепродуктов с 50 до 3 г/кг (т.е. в 17 раз) достигается за 4—5 мес. очистки, а снижение концентрации нефтезагрязнений с 3 до 1 г/кг (т.е. в 3 раза) требует такого же времени.

**Технология ликвидации нефтезагрязнений** на территориях действующих складов горюче-смазочных материалов Минобороны РФ включает следующие виды работ:

обследование состояния реабилитируемой территории (проведение инженерно-геологических изысканий, определение количественных и качественных характеристик нефтезагрязнений, оценка микробиологических и агрохимических показателей загрязненной почвы и воды и т.д.);

теоретические и экспериментальные исследования по разработке сорбционных технологий (оценка возможностей применения сорбционных методов очистки с использованием биологической деструкции нефтепродуктов; подбор сорбционных материалов и т.д.).

Было проведено обследование ряда действующих складов горюче-смазочных материалов Минобороны РФ. Причина, дающая до 90% загрязнений на территории рассматриваемых складов, — это постоянные сбросы замазученного конденсата из котельной и паропроводов. Выявленные нефтезагрязнения — это: жидкие нефтешламы, временно складированные в емкостях, ямах и котлованах слоем до 3 м; жидкие нефтешламы, свободно лежащие в пониженных участках рельефа слоем до 0,5 м; средне загрязненные грунты с концентрацией нефтепродуктов до 50 г/кг; сильно загрязненные грунты с концентрацией нефтепродуктов от 50 до 500 г/кг.

На основании результатов обследования разработан конкретный план проведения рекультивационных мероприятий (рис. 5, вкладка):

локализация нефтезагрязнений при помощи сорбционных методов;

откачка жидких нефтешламов из мест их временного хранения с последующим отделением мазутной фракции в целях повторного использования;

строительство временной площадки рекультивации, предназначенной для биологической утилизации сильно загрязненных почв и жидких нефтешламов, собранных с поверхности почвы сорбентами;

биологическая утилизация нефтезагрязнений на рекультивационной площадке;

биологическая очистка средне загрязненной почвы непосредственно на месте загрязнения, т.е. без изъятия почвы.

При высокой степени загрязнения территории нефтепродуктами (более 50 г/кг), а также при невозможности очистки непосредственно на месте загрязнения (вследствие проникновения загрязнений в почву свыше 0,3 м) грунт извлекается и очищается на площадке рекультивации, в пределах которой также размещаются отработанные (нефтезагрязненные) сорбенты. Площадка рекультивации служит для проведения работ по утилизации нефтепродуктов с последующей ее ликвидацией после завершения работ. Конструкция площадки соответствует требованиям, изложенным в инструкции «Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов» (СНиП 2.0128-85) и исключает возможность вторичного загрязнения нефтепродуктами окружающей среды. Изоляция от нефтезагрязнений обеспечивается путем создания по периферии площадки обваловки высотой не менее 1 м, а также гидроизоляции основания площадки и внутренней части бортов обваловки. Гидроизоляция осуществляется глиной или суглинком (с коэффициентом фильтрации 0,001 м/сут) слоем до 0,5 м. Вокруг площадки располагаются дренажные каналы, предназначенные для отвода излишков воды. Планировка площадки предусматривает уклон в сторону дренажных каналов, в которые помещаются сорбционные фильтры. Канавы соединены с емкостью, где собирается и хранится вода, прошедшая очистку на сорбционных фильтрах, используемая в дальнейшем для полива очищаемых отходов.

Для создания благоприятного воздушного режима, а также с целью выравнивания начальной концентрации нефтепродуктов до уровня, не превышающего 50 г/кг, в очищаемые отходы вносят структураторы (песок, опилки, торф и т.п.). Необходимый объем структураторов определяется в зависимости от гранулометрического состава почвы и концентрации нефтезагрязнений.

В целях раскисления отходов до уровня  $\text{pH} > 4,5$  вносят мелиоранты: мел строительный, известковая или доломитовая мука. Мелиоранты тщательно перемешиваются с очищаемой средой. Необходимый объем мелиорантов рассчитывается на основании результатов определения гидролитической активности и предполагаемой глубины рыхления. Мощность слоя очищаемых отходов после внесения структураторов и мелиорантов не должна превышать 0,5 м. Необходимое количество вносимых удобрений определяется исходя из следующих показателей: количества углеродного загрязнения, которое надо утилизировать; содержания в удобрениях основных элементов питания (азота, фосфора и калия); оптимального для данного типа почв соотношения основных элементов питания к единице углеродного загрязнения.

Обработка нефтезагрязненных отходов биопрепаратами типа «Сойлекс» проводится через 3—5 дней после внесения удобрений. Норма расхода биопрепарата составляет 170 г/м<sup>3</sup> отходов с начальной концентрацией нефтепродуктов не более 50 т/кг. Необходимое количество удобрений и биопрепарата равномерно распределяют по всей очищаемой территории, сразу же запахивают в грунт и поливают водой. Каждый сезон расчетные дозы биопрепарата и минеральных солей вносят в 2-3 приема равными частями с интервалами 25-30 дней. Расход биогенных материалов корректируется в процессе очистки, исходя из результатов промежуточного контроля за содержанием нефтепродуктов.

Оптимальными условиями для развития нефтеокисляющих микроорганизмов являются постоянный приток кислорода и влажность на уровне 20-40 %. Поэтому с целью поддержания оптимальных параметров жизнедеятельности микроорганизмов на очищаемой территории необходимо проводить периодическую пропашку и полив очищаемых отходов. Частота полива зависит от климатических условий, норма расхода воды — не менее 2 л/м<sup>2</sup>. В засушливый период поливать следует не менее 3 раз в неделю.

Пропашка очищаемой территории проводится на всю глубину нефтезагрязненного слоя не менее 2 раз в неделю. Кроме того, пропашку и полив проводят после каждого внесения удобрений и биопрепарата в целях равномерного их распределения по всей загрязненной зоне и лучшего растворения удобрений. В процессе биологической утилизации нефтезагрязнений осуществляется постоянный химический контроль за динамикой изменения концентрации нефтепродуктов.

Как показал расчет экономической эффективности, проведение природоохранных мероприятий по разработанной технологии экономически оправдано, так как затраты на возмещение экологического ущерба в 3 раза превышают стоимость проведения работ по очистке территории.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мироненко В.А., Румыни В.Г. Проблемы гидрогеоэкологии, т.1-3. — М., 1998.
2. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. — М., 1993.
3. Экология. Нормативно-методические и правовые основы постоянно действующей службы нефтеэкологического мониторинга и принципы ее финансового обеспечения. // Докл. 2-й Международ. конф. 17-20 марта. — 1998