

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПОЛНОТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ
ЛИКВИДАЦИОННЫХ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА
ОБЪЕКТЕ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ
ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS AND COMPLETENESS OF THE
LIQUIDATION AND RESTORATION WORK AT THE OIL SPILL SITE**



Тудвачев Алексей Викторович, генеральный директор, ООО «Водный центр СПбГУ», Санкт-Петербург, E-mail: 225258@mail.ru

Виноград Наталия Анатольевна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), Санкт-Петербург, E-mail: nv.70@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-6730-5453

Tudvachev Aleksey Viktorovich, General Director, St. Petersburg State University Water Center LLC, Saint-Petersburg, E-mail: 225258@mail.ru

Vinograd Nataliya Anatol'evna, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Russian State Hydrometeorological University (RSMU), Saint-Petersburg, E-mail: nv.70@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-6730-5453

Аннотация. Аварийные разливы нефтепродуктов относятся к числу наиболее опасных источников загрязнения окружающей среды, поскольку затрагивают почвы, поверхностные и подземные воды, а также создают

долгосрочные экологические риски. Особую актуальность проблема приобретает в условиях недостаточной изученности геолого-гидрогеологических условий загрязненной территории, что затрудняет выбор эффективных мер локализации и ликвидации последствий аварий. Целью исследования явилась оценка полноты и эффективности выполненных работ по ликвидации последствий разлива моторного масла на территории складского комплекса в Санкт-Петербурге и разработка рекомендаций по завершению восстановительных мероприятий. В работе использованы методы анализа проектных и технологических решений, рекогносцировочного обследования территории, визуальной фиксации признаков остаточного загрязнения, отбора проб грунтов и воды в контрольных точках, а также лабораторного определения содержания нефтепродуктов. Особое внимание уделено оценке влияния геологических, гидрологических и гидрогеологических условий на миграцию загрязнения и результативность примененных технологий. Установлено, что, несмотря на значительный объем проведенных ликвидационных работ, на объекте сохраняется существенное остаточное загрязнение грунтов, донных отложений, канав и подземных вод. Выявлены превышения нормативных значений содержания нефтепродуктов в большинстве исследованных проб. Показано, что проектные решения были реализованы без достаточного учета строения разреза, фильтрационных свойств пород, структуры потока грунтовых вод и глубины проникновения загрязнения. Примененные дренажные и биоремедиационные мероприятия имели преимущественно локальный эффект и не обеспечили полного перехвата и удаления нефтепродуктов. Сделан вывод о необходимости расширенного геоэкологического изучения участка, организации долгосрочного мониторинга и разработки гидродинамической модели для обоснования дальнейших природоохранных мероприятий.

Abstract. Accidental oil product spills are among the most dangerous sources of environmental pollution, as they affect soils, surface and groundwater, as well as create long-term environmental risks. The problem becomes particularly relevant in conditions of insufficient knowledge of the geological and hydrogeological conditions of the contaminated area, which makes it difficult to choose effective measures to localize and eliminate the consequences of accidents. The purpose of the study was to assess the completeness and effectiveness of the work carried out to eliminate the consequences of the engine oil spill on the territory of the warehouse complex in St. Petersburg and to develop recommendations for the completion of restoration activities. The work uses methods of analysis of design and technological solutions, reconnaissance survey of the territory, visual fixation of signs of residual pollution, sampling of soils and water at control points, as well as laboratory determination of the content of petroleum products. Special attention is paid to assessing the impact of geological, hydrological and hydrogeological conditions on pollution migration and the effectiveness of applied technologies. It has been established that, despite the significant amount of liquidation work carried out, significant residual contamination of soils, sediments, ditches and groundwater remains at the facility. The excess of the standard values of the content of petroleum products in the majority of the studied samples was revealed. It is shown that the design solutions were implemented without sufficient consideration of the section structure, filtration properties of rocks, groundwater flow structure and depth of contamination penetration. The applied drainage and bioremediation measures had a predominantly local effect and did not ensure the complete interception and removal of petroleum products. The conclusion is made about the need for an expanded geoecological study of the site, the organization of long-term monitoring and the development of a hydrodynamic model to justify further environmental protection measures.

Ключевые слова: нефтепродукты, аварийный разлив, ликвидация последствий, геолого-гидрогеологические условия, загрязнение грунтов, подземные воды, дренажные сооружения, экологический мониторинг

Keywords: petroleum products, emergency spill, elimination of consequences, geological and hydrogeological conditions, soil pollution, groundwater, drainage facilities, environmental monitoring

Вступление

Аварийные разливы нефтепродуктов представляют собой одну из наиболее серьезных экологических угроз, приводящую к комплексному загрязнению компонентов окружающей среды — почв, грунтовых и поверхностных вод. Последствия таких аварий трудно учитывать, так как нефть накапливается в биомассе и усиливает отравляющий эффект, особенно вблизи населённых пунктов [1]. Эффективность ликвидации последствий подобных чрезвычайных ситуаций напрямую зависит от оперативности реагирования, адекватности выбранных технологических решений и полноты их реализации в соответствии с проектными данными и требованиями природоохранного законодательства. Требования законодательства включают обязательное разработку и согласование планов по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов для организаций, эксплуатирующих опасные производственные объекты [6]. Технологические решения включают установку систем обнаружения разливов, аварийной сигнализации, резервного оборудования и средств индивидуальной защиты, а также проведение инженерно-технических мероприятий для предотвращения аварий [2].

Целью данной работы является объективная оценка полноты и эффективности выполнения комплекса работ по ликвидации последствий разлива моторного масла на территории складского комплекса в г. Санкт-Петербург и выработка научно обоснованных рекомендаций для завершения восстановительных мероприятий.

Описание объекта и аварии, оценка объемов разлива и выполненных работ

Авария произошла на территории складского комплекса (площадь здания - 12 000 м², земельного участка - 8 000 м²), входящего в состав комплекса общей площадью 57 000 м² (рис. 1). В результате обрушения стеллажей произошел разлив моторного масла. Общий объем хранимых товаров составлял 9 518 139,76 литров.



Рисунок 1. Обзорная схема района работ. Масштаб 1:20000. Красным цветом выделен склад, в части которого произошла авария

Расчетное итоговое количество жидких нефтепродуктов, попавших в грунты, составило около 484 тонн. Работы по оперативной ликвидации (сбор, разбор завалов, боновые заграждения, отмывка) и очистке локальных очистных сооружений (ЛОС) были выполнены качественно и значительно снизили степень первоначального загрязнения.

Методы

Методология исследования включала анализ технологических решений, разработанных и реализованных в ходе ликвидации аварии;

рекогносцировочное обследование территории с визуальной фиксацией признаков остаточного загрязнения; отбор проб грунтов и воды из контрольных точек (ИТН) для лабораторных анализов; лабораторные исследования проб на содержание нефтепродуктов, выполненные ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Ленинградской области».

Результаты

Анализ технологических решений

В целях оценки эффективности выполнения комплекса работ по ликвидации загрязнения были проанализированы технологические решения, разработанные и реализованные в ходе ликвидации аварии. В результате был выявлен ряд критических недостатков:

- недостаточность исходных данных. Отсутствуют оценки влияния места на скорость распространения загрязнения в акватории, а также полноценные геологические и гидрогеологические изыскания на площадке;
- отсутствие прогнозирования. Не были выполнены прогнозные оценки масштабов разлива и его влияния на окружающую среду с учетом гидрометеорологических факторов.

Были проанализированы технологические и технические решения по очистке водной поверхности и откосов каналов от загрязнения нефтепродуктами.

Изученность геологического строения и гидрогеологических условий В проектной документации приводятся значения глубины проникновения нефтяного загрязнения в грунты откосов канав на 1-2 см. По результатам рекогносцировочного обследования установлено, что грунты по бортам канав представлены различными горными породами: суглинками, супесями, глинами, техногенными отложениями (строительный мусор), переслаиванием перечисленных разностей, а иногда и торфами и перегнившими растительными остатками. Так как борта канавы представлены различными отложениями, проницаемость и, соответственно,

степень пропитки нефтепродуктами у них различны. На протяжении двух лет после аварии, и до настоящего времени, наблюдаются высачивания нефтепродуктов по бортам канав, потемнения по бортам (связанные с загрязнением нефтепродуктами), причем как у очага аварии, так и на прилегающих к складу канавах. При вбрасывании в канаву частиц грунта из борта канавы наблюдается интенсивное распространение пленок нефтепродуктов. Можно заключить, что проникновение нефтепродуктов в горные породы по бортам канав в отдельных местах значительно глубже, чем 1-2 см. Еще необходимо отметить, что донные отложения в канавах должны подвергаться значительному загрязнению, однако степень проникновения нефтепродуктов (особенно тяжелых фракций) в донные отложения не оценивалась.

При разработке технологических и технических решений не учитывались геологические, гидрологические и гидрогеологические условия на объекте работ. Не производилось изучение вещественного состава горных пород, режим и состав поверхностных и подземных вод, фильтрационные свойства пород, не производились оценки подземного и поверхностного стока.

В проектной документации указано, что «литологический разрез до гл. 12,0-14,0 м однородный и сложен четвертичными моренными суглинками тугопластичной и полутвердой консистенции». При этом места расположения инженерно-геологических скважин на карте и их геологические колонки не представляются. Фиксируется вскрытие грунтовых вод на глубине ~2 м, что не соответствует водоупорным свойствам суглинков, а факты проведения откачек нефтепродуктов из временных дренажных сооружений свидетельствуют о том, что породы в разрезе на территории складского комплекса представлены не только суглинками, но и более проницаемыми разностями, следовательно, на площадке распространен (как минимум один) водоносный горизонт. Геолого-гидрогеологические параметры и фильтрационные свойства этого горизонта не определялись.

Дренажная система

Результаты рекогносцировочного обследования дренажных сооружений свидетельствуют о наличии горизонта грунтовых вод на площадке, о чем говорят установившиеся уровни воды в колодцах дренажных сооружений, а также высачивания воды и нефтепродуктов из-под склада, увлажненные борта канав (наблюдаемые процессы разгрузки подземных вод в канаву). Грунтовые воды залегают на глубинах порядка 1-1,5 метра от поверхности земли. Горизонт грунтовых вод, скорее всего, приурочен к техногенным отложениям (отсыпке территории и фундамента склада), а также прослоям и линзам песков и супесей в четвертичных отложениях, зонами разгрузки являются дренажные канавы и система мелиорации.

Ввиду того, что четвертичные ледниковые отложения крайне изменчивы по составу и фильтрационным свойствам, возможно наличие на площадке более глубоких водоносных горизонтов, по которым происходит миграция загрязнения на сопредельные территории.

Выбор мест сооружения дренажных колодцев на участках ливневой канализации видится обоснованным как локальная мера. Гравийная обсыпка колодцев является более проницаемой средой, и водомасляная смесь может интенсивнее накапливаться в таких колодцах. Откачки из таких колодцев, как и всех дренажных сооружений, без проектных расчетов, могут иметь негативные последствия по причине перехвата более подвижной водной фазы (по сравнению с нефтяной фазой, которая представлена более тяжелыми фракциями), и формирования «водных конусов» вокруг фильтров дренажных сооружений за счет снижения фазовой проницаемости нефтяной фазы.

Можно провести расчет для оценки радиуса влияния такой откачки R , если принять значение коэффициента уровнепроводности песков мелкозернистых отсыпки здания равным $a = 500 \text{ м}^2/\text{сут}$, а время откачки за одну смену – 0,33 сут (что скорее всего является завышенным значением),

принимая самый оптимистичный сценарий с понижением уровня в колодце не более чем на 20 % и пренебрегая граничным условием в виде прискладской дренажной канавы. Тогда значение R составит не более 20 м для 1,5-метрового слоя отсыпки из проницаемых отложений, при этом влияние откачки на отдачу масла из плохопроницаемых отложений будет незначительным. При небольших радиусах влияния откачек полностью перехватить нефтяное загрязнение, которое визуальнo фиксируется по бортам канавы, прилегающей к складу, невозможно.

Горизонтальный дренаж сооружен в виде перфорированной трубы диаметром 110 мм. Такая конструкция несовершенна, так как перфорированная труба охватывает разрез не на всю глубину. Также загрязнение может мигрировать с подземными водами в западной и север-западной части территории складского комплекса, разгружаясь в канаву. Однако данный участок территории не изучался, даже неглубоким бурением.

При отсутствии геолого-гидрогеологической информации при проектировании такого дренажа могут иметь место следующие негативные процессы:

- при откачке жидкости на границе разнопроницаемых сред, вода будет быстрее, чем масло подтягиваться из плохопроницаемых пород к гравийной обсыпке;
- большие значения фазовых проницаемостей по воде по сравнению с углеводородной фазой;
- подтягивание воды из самой дренажной канавы, при наличии гидравлической связи;
- диаметр труб горизонтального дренажа 110 мм не обеспечивает совершенство вскрытия разреза;
- наличие загрязнения и его миграция на глубинах ниже глубины заложения дренажа.

Интенсивность, методика, продолжительность откачки из дренажных сооружений, а также прогнозные оценки, как и конструкция самой дренажной системы, должны быть обоснованы соответствующими расчетами. В основе таких расчетов должны лежать сведения о водоносных горизонтах, гидрогеологические параметры, сведения о поверхностных водах, данные о режимных наблюдениях за поверхностными и подземными водами, сведения о загрязнении геологической среды и подземных вод (глубина и контуры распространения загрязнения). В проектной документации такие расчеты отсутствуют, как и исходные данные для их проведения.

Таким образом, в проектных и технологических решениях, касающихся дренажных работ, можно отметить следующие недостатки:

- при проектировании дренажных сооружений отсутствуют данные о глубине проникновения загрязнения (изучение ограничивается 2,5 метровыми скважинами);
- геологическое строение территории практически не изучено, в том числе в местах заложения дренажа;
- гидрогеологические и гидрологические исследования не проводились, а соответственно не определена структура потока подземных вод, не определены фильтрационные параметры водоносных горизонтов, нет сведений о режиме подземных и поверхностных вод, необходимых для обоснования эффективности строительства систем дренажа и прогноза эффективности эксплуатации;
- предложенные мероприятия по сооружению дренажа могут иметь только локальный эффект и не дают гарантий полного очищения грунтов и подземных вод от нефтепродуктов, а также не гарантируют возможность исключения попадания нефтепродуктов в сопредельные среды.

Следует отметить и положительные проектные решения: перекрытие магистрального канала металлическим затвором с сифонными переливами,

которое способствует снижению масштабов вторичного загрязнения канавы; сбор нефтепродуктов с водной поверхности и использование торфяных сорбентов.

Замывка и гидравлическое фрезерование моющими средствами с применением бактериальных препаратов

Для ликвидации загрязнения предлагалась замывка и гидравлическое фрезерование загрязненных участков грунтов (бортов канав) моющими средствами с применением бактериальных препаратов.

Применение данных технологий по биологической очистке откосов канав не проходило опробований на опытном участке, на объекте работ. Необходимость проведения работ по биологической очистке на опытном участке обосновывается отсутствием на сегодняшний день биологических технологий по полному удалению нефтепродуктов из горных пород без их выемки и нарушения естественного залегания, позволяющих гарантированно удалять или локализовать нефтяное загрязнение. Вместе с тем, воздействие бактериями на горные породы (грунты) в условиях склада и прилегающих территорий осложняется неблагоприятными климатическими условиями, неоднородностью по вещественному составу почв и горных пород, отсутствием сведений о физико-химическом состоянии среды (состав грунтов, поверхностных и грунтовых вод, pH, и т.д., динамика изменения параметров во времени). Таким образом, при наличии многих неопределенных факторов спрогнозировать поведение бактерий и степень их воздействия на нефтяное загрязнение весьма затруднительно, и поэтому необходимо проводить как лабораторные эксперименты, моделирующие различные условия, так и опробования на опытном участке.

Использование диспергента HydroBrekPlus

Технологическими решениями предложено использование диспергента HydroBrekPlus в качестве моющего средства, в сочетании с диспергентом бактериального препарата «Руден» на основе бактерий *Rhodococcus*.

Замыв диспергентом HydroBrekPlus осуществлялся под высокими давлениями от 120 (в подготовительный период) до 400 бар. Работа такими высокими давлениями приводит к вымыванию (и разрушению) только первых сантиметров породы, а также к нагнетанию масла в породу вглубь бортов канавы. Под действием давления на породы происходят деформации, связанные с уменьшением объема порового пространства породы, приводящие к уменьшению ее проницаемости. Наблюдаемые по сей день высачивания нефтепродуктов могут являться следствием «запечатывания» их при работе высоким давлением. Также авторами не указана температура подаваемой жидкости при замывке грунтов.

Воздействие бактериальным препаратом «Руден»

Бактериальное воздействие на нефтяное загрязнение широко применяется на практике при ликвидации аварийных разливов на нефтепромыслах. По опыту использования бактерий на аварийных разливах нефтепродуктов на нефтепромыслах Западной Сибири, из существенных недостатков метода можно выделить: неглубокое проникновение в породу (первые сантиметры - десятки сантиметров), ограничения применения по температурным условиям. Отмечается, что в условиях суглинистых и глинистых грунтов Западной Сибири активная зона микробиологической деструкции углеводородов ограничивается первыми 10–20 сантиметрами. Проникновение бактериальных клеток и их метаболитов в более глубокие горизонты затруднено низкой проницаемостью пород и дефицитом кислорода [4]. В почвах, загрязнённых нефтью и характеризующихся низкими коэффициентами фильтрации, микробные клетки и питательные вещества обычно сосредоточены в верхнем слое толщиной 5–30 см. Это существенно ограничивает применимость биоремедиации *in situ* для очистки глубоко залегающих загрязнённых горизонтов [11].

Практика применения биопрепаратов на нефтепромыслах Западной Сибири показала, что при температуре почвы ниже +5 °С скорость

деградации нефти снижается в 5–10 раз. В зимний период биоремедиация практически неэффективна, что требует комбинирования с физико-химическими методами [5]. Оптимальная температура для мезофильных бактерий, разлагающих углеводороды, составляет 20–35 °С. При температурах ниже 10°C скорость разложения резко снижается, а при 0–5°C процесс практически останавливается [10]. Даже в лабораторных условиях при температурах менее 3°C роста бактерий и биодеструкции нефтепродуктов не происходит [9] (рис. 2).

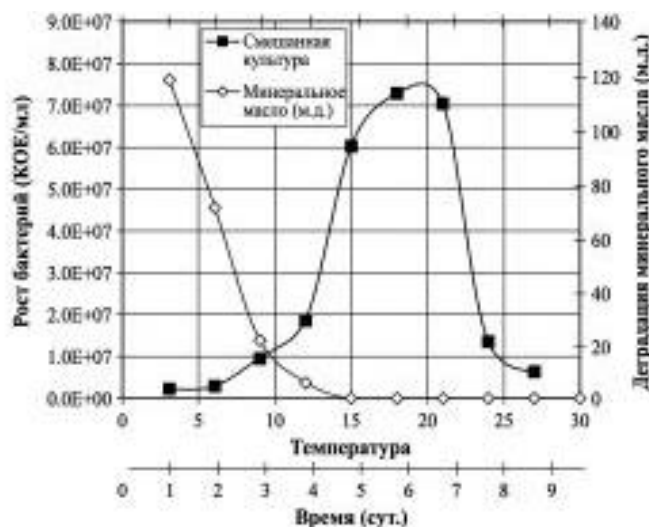


Рисунок 2. Зависимость биодеструкции минерального масла при внесении смешанной культуры (включая бактерии *Rhodococcus*) от температуры [9]

На рис. 3 показан ход среднемесячных дневных и ночных температур в Санкт-Петербурге за 2023 – 2026 год и нижний предел рабочего диапазона препарата «Руден». Очевидно, что препарат имеет смысл применять только с середины апреля по конец октября. Воздействие бактериальным препаратом производилось с сентября по декабрь, когда темп роста бактерий невысокий (либо вовсе отсутствует, или происходит гибель бактерий).



Рисунок 3. Среднемесячные температуры воздуха в Санкт-Петербурге за 2013 – 2026 гг. и нижний предел рабочего диапазона препарата «Руден»

Результаты лабораторных исследований и полевого обследования

Обследование, проведенное через 2 года после аварии, подтвердило наличие значительного остаточного загрязнения.

Результаты лабораторных анализов проб грунта. В Санкт-Петербурге официально не утверждён норматив допустимого остаточного содержания нефти и продуктов её трансформации в почве (ДОСНП). Вместо норматива ДОСНП в Санкт-Петербурге применяются отдельные допустимые уровни содержания нефтепродуктов для разных типов территорий, так, для почв селитебных зон применяется ориентировочно допустимая концентрация (ОДК) 0,18 г/кг [8].

Концентрация нефтепродуктов в большинстве контрольных точек (ИТН) (рис. 4) многократно превышала региональный норматив. Максимальные значения были зафиксированы в точках ИТН2-2 (3600 мг/кг) и ИТН9 (3400 мг/кг) (табл. 1).



Рисунок 4. Точки отбора проб грунта

Таблица 1. Концентрация нефтепродуктов в точках отбора проб грунта

<i>Точка отбора</i>	<i>Концентрация нефтепродуктов, мг/кг</i>	<i>Коэффициент концентрации по ОДК</i>
ИТН2-2	3600	20
ИТН9	3400	18,9
ИТН3-2	1300	7,2
ИТН3-1	950	5,3
ИТН8	790	4,4
ИТН10	340	1,9
ИТН3-3	360	2
ИТН2-3	550	3,1
ИТН1	340	1,9
ИТН2	57	0,32
ОДК для почв СПб	180	

Рассчитаны коэффициенты концентрации относительно ОДК (ПДК), характеризующие превышение содержания элемента в почвах и грунтах над его ОДК (ПДК).

Коэффициент концентрации относительно ОДК (ПДК) равен отношению содержания элемента в исследуемом объекте к его ОДК(ПДК) [3]:

$$K_{\text{ОДК(ПДК)}} = C_i / \text{ОДК(ПДК)},$$

$$K_{\text{ci}} = C_i / C_{\text{фи}},$$

где C_i — фактическое содержание i -го химического элемента в почвах и грунтах, мг/кг;

$C_{\text{фи}}$ — ОДК i -го химического элемента в почвах и грунтах, мг/кг.

Необходимо отметить, что при отборе проб шел дождь, и приведенные в таблице 1 результаты можно считать заниженными по причине разбавления водой. Тем не менее, коэффициент концентрации по ОДК не превысил 1 только в одной точке.

Результаты анализов проб воды. Концентрация нефтепродуктов в воде из канавы (ИТН3, ИТН2-2, ИТН2-3) (рис. 4, табл. 2) составила 0,066, 0,11 и 0,069 мг/дм³, соответственно, что превышает ПДК в воде водных объектов рыбохозяйственного значения (0,05 мг/дм³) [7] до 2,2 раза. Однако в водах дренажного колодца концентрация достигла 7,5 мг/дм³ (ИТН16), что свидетельствует о значительном поступлении загрязнителей в подземные воды.

Таблица 2. Концентрация нефтепродуктов в точках отбора проб воды

№ п/п	Точка отбора	Наименование объекта	Результат, мг/дм ³
1	ИТН3	Вода из канавы	0,066
2	ИТН2-2	Вода из канавы	0,11
3	ИТН2-3	Вода из канавы	0,069
4	ИТН12	Вода из дренажного колодца	1,80
5	ИТН15	Вода из дренажного колодца	1,70
6	ИТН16	Вода из дренажного колодца	7,5

Визуальные наблюдения. Зафиксированы плавающие пленки нефтепродуктов в канавах по всей территории. Обнаружены высачивания нефтепродуктов из бортов канав. Грунтовые воды в дренажных колодцах сильно загрязнены. Щебеночное основание на территории склада загрязнено (до 950 мг/кг), старый загрязненный щебень не демонтирован, противofильтрационный экран не установлен.

Выводы

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

Загрязнение в отдельных местах проникло в грунты по бортам канав глубже 1-2 см, и по сегодняшний день имеют место высачивания воды с содержанием нефтепродуктов из бортов канав, обнажаются загрязненные (промасленные) участки по бортам канав. Мероприятия по биологической очистке грунтов от нефтепродуктов носили локальный характер и не привели к полному очищению грунтов от нефтепродуктов. Мероприятия проводились без предварительных лабораторных исследований и опробований технологии на опытном участке, без учета характеристик среды, на которую проводилось воздействие. Существующие геологические условия и степень проникновения загрязнения в грунты не позволяют полностью очистить от нефтепродуктов загрязненные участки реализованными способами.

Геолого-гидрогеологическая изученность территории недостаточна для адекватной оценки масштабов подземного загрязнения и обоснования способов борьбы с ним. Помимо поверхностного загрязнения, загрязнению подверглись грунты и подземные воды. Сведения о глубине и ореоле распространения загрязнения практически отсутствуют. Для принятия решений по ликвидации и локализации загрязнения, как и для проведения оценки подземного загрязнения и разработки мероприятий по борьбе с ним (в том числе и строительства систем дренажа) необходимо изучение геолого-гидрогеологических условий территории.

Перед началом работ по ликвидации подземного загрязнения необходимо прогнозировать возможность распространения нефтепродуктов в сопредельные среды, данных по результатам проведенных исследований недостаточно для выполнения таких прогнозов.

Работы по организации временного дренажа малоэффективны из-за отсутствия проектных расчетов и имеют локальный эффект. При проведении откачек из дренажных сооружений при подтягивании воды, как более подвижной фазы, значительная часть нефтепродуктов, поступающая в дренажную систему, блокируется по причине значительно меньших фазовых проницаемостей по углеводородной фазе. Установленные дренажные сооружения не обеспечивают полного перехвата нефтепродуктов и не блокируют их распространения на сопредельные территории.

Таким образом, качество работ по ликвидации аварии не обеспечило исключения поступления нефтепродуктов в сопредельные среды.

На основании проведенного анализа для завершения восстановительных работ и обеспечения экологической безопасности объекта рекомендуется провести расширенное геоэкологическое изучение участка с бурением сети скважин для детальной оценки геолого-гидрогеологических условий и точного оконтуривания ореола загрязнения; организовать систему долгосрочного мониторинга за состоянием подземных и поверхностных вод для контроля за миграцией загрязнителей; разработать численную гидродинамическую модель на основе новых данных для прогнозирования распространения загрязнения и расчета эффективности альтернативных и дополнительных очистных мероприятий.

Выполненная оценка показала, что, несмотря на значительный объем проведенных ликвидационных работ, их эффективность в части полного устранения последствий аварии и предотвращения дальнейшей миграции загрязнения оказалась недостаточной. Выявленные недостатки не позволили достичь ключевых целей санации территории. Реализация предложенных

рекомендаций является необходимым условием для окончательного восстановления экологических функций нарушенной территории и минимизации долгосрочных рисков для окружающей среды.

Список источников

1. Артюшкин В.Н. Современные средства ликвидации аварийных разливов нефти в трубопроводном транспорте – М, Вологда, 2019.
2. Безопасность и экологичность проекта – Безбородов Ю.Н., Булчаев Н.Д., Горбунова Л.Н. и др. – М., 2015.
3. ГОСТ 17.4.3.06—2020 Охрана природы. Почвы. Общие требования к классификации почв по влиянию на них химических загрязняющих веществ. М., 2020.
4. Коршунова Т.Ю., Ларина А.С. Микробиологическая деградация углеводов в условиях Севера (Екатеринбург: УрО РАН, 2017. — 180 с.)
5. Марков М.Л., Иванов А.А., и др. Биоремедиация нефтезагрязненных почв и грунтов Западной Сибири: проблемы и перспективы: Нефтяное хозяйство, 2019, № 4.
6. Правовое регулирование возмещения экологического вреда – Боголюбов С.А., Болтанова Е.С., Бринчук М.М. и др. – М., 2024.
7. Приказ Росрыболовства от 26.05.2025 № 296 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».
8. Распоряжение Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга от 24.05.2022 № 381-р «Об утверждении Методики оценки качества окружающей среды на территории Санкт-Петербурга» (в редакции от 27.03.2024).

9. Abdel-Megeed et al «Biodegradation of mineral oil by bacterial strains isolated from contaminated soils» African Journal of Microbiology Research Vol. 6(42), pp. 6994-7002, 6 November, 2012.
10. Das N., Chandran P. Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: an overview (Biotechnology Research International, 2011)
11. Ron Z., Rosenberg E. Biosurfactants and oil bioremediation (Current Opinion in Biotechnology, 2002, Vol. 13, P. 249–252)

References

1. Artyushkin V.N. Modern means of emergency oil spill response in pipeline transport – M, Vologda, 2019.
2. Safety and environmental friendliness of the project – Bezborodov YU.N., Bulchaev N.D., Gorbunova L.N. i dr. – M., 2015.
3. GOST 17.4.3.06—2020 Nature protection. Soils. General requirements for the classification of soils by the effect of chemical pollutants on them. Moscow, 2020.
4. Korshunova T.YU., Larina A.S. Microbiological degradation of hydrocarbons in the North (Ekaterinburg: UrO RAN, 2017. — 180 s.)
5. Markov M.L., Ivanov A.A., i dr. Bioremediation of oil-contaminated soils and soils of Western Siberia: problems and prospects: Neftyanoe hozyajstvo, 2019, № 4.
6. Legal regulation of environmental damage compensation – Bogolyubov S.A., Boltanova E.S., Brinchuk M.M. i dr. – M., 2024.
7. Rosrybolovstvo Order No. 296 dated 05/26/2025 «On Approval of Water Quality Standards for water bodies of fisheries Significance, including Standards for maximum Permissible concentrations of pollutants in the Waters of water bodies of fisheries significance».
8. Order of the Committee for Nature Management, Environmental Protection and Environmental Safety of St. Petersburg dated 05/24/2022 No. 381-r «On approval of the Methodology for assessing the Quality of the Environment in St. Petersburg» (as amended on 03/27/2024).

9. Abdel-Megeed et al «Biodegradation of mineral oil by bacterial strains isolated from contaminated soils» African Journal of Microbiology Research Vol. 6(42), pp. 6994-7002, 6 November, 2012.
10. Das N., Chandran P. Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: an overview (Biotechnology Research International, 2011).
11. Ron Z., Rosenberg E. Biosurfactants and oil bioremediation (Current Opinion in Biotechnology, 2002, Vol. 13, P. 249–252)

© Тудвачев А.В., Виноград Н.А., 2026. Московский экономический журнал,
2026, № 8.