

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ПОЧВ, ПОДВЕРГШИХСЯ ЗАГРЯЗНЕНИЮ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

### MODERN METHODS OF RECOVERY OF CONTAMINATED SOILS

**S. Germanova**  
**T. Dremova**  
**P. Petrovskaya**  
**M. Kocheva**  
**N. Petukhov**

*Summary.* This article deals with the rehabilitation of soils contaminated by petroleum products as a result of anthropogenic activities.

Since at the present stage of technological development human civilization continues to use oil and oil transfer products to meet both energy and technological needs, the need to minimize the negative impact of oil and petroleum products on the environment in the process of their production, transportation, processing and use remains relevant.

There are no clear prospects for non-use of oil in the foreseeable future of technological development. If the search for alternative oil sources of energy is quite successful, the possibility of full replacement of oil as hydrocarbon raw materials in any other way in the near future is almost completely absent, and therefore the importance of technologies of regeneration of soils contaminated with oil and oil products in the following decades will not lose its relevance.

*Keywords:* Oil, petroleum products, soil pollution, rehabilitation technologies, soil restoration, soil regeneration.

**Германова Светлана Евгеньевна**

Старший преподаватель, Российский университет  
дружбы народов  
germanova-se@rudn.ru

**Дрёмова Татьяна Валерьевна**

Ассистент, Российский университет дружбы  
народов  
sambros-nb@rudn.ru

**Петровская Полина Александровна**

Старший преподаватель, Российский университет  
дружбы народов  
petrovskaya-pa@rudn.ru

**Кочнева Маргарита Васильевна**

К.т.н., доцент, Российский университет дружбы  
народов  
kochneva-mv@rudn.ru

**Петухов Николай Владимирович**

К.с.-х.н., доцент, Российский университет дружбы  
народов  
petukhov-nv@rudn.ru

*Аннотация.* Настоящая статья посвящена рассмотрению вопросов восстановления почв, подвергшихся загрязнению нефтепродуктами в результате антропогенной деятельности.

Поскольку на современном этапе технологического развития человеческая цивилизация продолжает использовать нефть и продукты нефтяного перегонки для удовлетворения как энергетических, так и технологических потребностей, необходимость минимизации отрицательного влияния нефти и нефтепродуктов на окружающую среду в процессе их добычи, транспортировки, переработки и использования, по-прежнему остается актуальной.

Ясных перспектив отказа от использования нефти в обозримой перспективе технологического развития в настоящее время не просматривается. Если поиск альтернативных нефти источников энергии довольно успешно осуществляется, то возможность полноценной замены нефти как углеводородного сырья чем-либо иным в ближайшем будущем практически полностью отсутствует, а следовательно значимость технологий регенерации почв, подвергшихся загрязнению нефтью и нефтепродуктами в последующие десятилетия, не утратит своей актуальности.

*Ключевые слова:* нефть, нефтепродукты, загрязнение почв, технологии восстановления, восстановление почв, регенерация почвенного покрова.

**А**ктивное применение нефти в широко распространенных сегодня технологических процессах, а также использование нефти и нефтепродуктов в качестве энергоносителей обуславливает неотвратимость случаев локального загрязнения ими почвенного покрова.

Взаимодействие нефти с почвой носит сложный и многогранный характер, поэтому при рассмотрении эволюции нефтяного загрязнения необходимо проводить анализ большого числа биохимических процессов в почве [1].

Несмотря на то, что сама по себе нефть является естественной природной субстанцией органического происхождения, она представляет собой один из наиболее серьезных факторов экологической опасности, в случае ее воздействия на биосистемы. В частности, ее воздействие на почвенный покров имеет крайне отрицательные последствия, поскольку изменяет или полностью блокирует протекание химико-биологических процессов живых организмов. По этой же причине нефть представляет собой одно из самых трудноразлагаемых в природной среде органических веществ, в связи с чем самостоятельное восстановление почв, подвергшихся загрязнению нефтью и нефтепродуктами представляет собой процесс крайне длительный.

Вместе с тем не следует забывать, что загрязнение нефтепродуктами имеет кумулятивный накопительный эффект, а значит любое загрязнение почв нефтепродуктами, как систематическое, так и ставшее следствием разовых аварийных ситуаций, должно быть ликвидировано, а его последствия нейтрализованы.

Почва является загрязненной нефтепродуктами, если последние достигают достаточной концентрации для оказания видимого воздействия на ключевые показатели состояния грунтов, а именно:

1. Начинается заметная деградация растительности;
2. Нарушается экологическое равновесие, в короткие сроки исчезают ранее обитавшие виды флоры и фауны;
3. Меняются структура и водопроницаемость почв;
4. Увеличивается процент содержания в почве нефтяных углеводородов в органическом (не карбонатном) углероде почв;
5. Снижается продуктивность участков сельхозназначения;
6. Начинается инфильтрация скопившихся в почве нефтепродуктов в грунтовые и поверхностные воды.

Разлившись на поверхности почвенного покрова нефть, под воздействием силы гравитации, способна

проникать в ее внутренние слои и распространяться вширь по естественным капиллярам и трещинам. Процесс останавливается лишь встретив препятствие в виде грунтовых вод, горных или плотных глинистых нефте непроницаемых пород. Но и в этом случае миграция нефтяного загрязнения продолжается по поверхности данных пород, или по поверхности таких вод в сторону уклона или в направлении течения.

В свою очередь почвы являются неотъемлемым, если не ключевым компонентом естественных экосистем — в прямом и в переносном смысле — их основой. Это относится и к условиям дикой природы и к искусственным экосистемам, создаваемым человеком для удовлетворения своих потребностей в обеспечении продуктов питания и формирования комфортной среды проживания. Более того, большинство случаев техногенного загрязнения почв происходит именно в местах пребывания самого человека, — населенные пункты, промышленные зоны, сельскохозяйственные угодья.

Таким образом наличие технологий, позволяющих быстро, эффективно и с минимальными затратами устранить последствия загрязнения почвенного покрова нефтью и нефтепродуктами является насущной необходимостью.

На сегодняшний день разработано множество технологических и биологических методов очистки и регенерации подвергшихся загрязнению нефтью и нефтепродуктами почв. Условно данные методы можно разделить на пассивные и активные [2].

### Пассивные методы

Пассивные методы восстановления загрязненных нефтепродуктами грунтов основаны на процессах естественного самоочищения почв, за счет способности минерализовать нефтяные органические вещества, превращая их в безвредные для экосистем органические и минеральные формы, пригодные для участия природных био-химических процессах. По сути, практически все пассивные процессы очистки почв от нефтепродуктов следует отнести к биологическим (пассивным) методам очистки, когда направленное на загрязненную территорию воздействие с целью регенерации незначительно.

Большинство таких методов заключается в стимулировании упомянутых процессов естественного самоочищения, которое происходит в два этапа:

1. Стадия распада и разложения загрязняющих органических веществ, распад их макромолекул на более простые компоненты, под воздействием внешних факторов и почвенной микрофлоры;

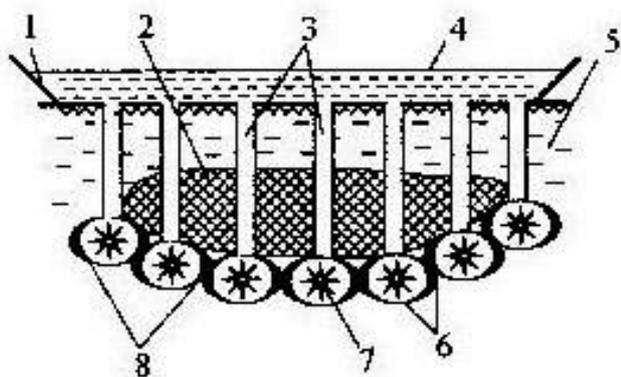


Рис. 1. Локализация линзы с помощью взрывов: 1 — шурфы; 2 — уплотнительные пробки; 3 — поверхность почвы; 4 — полости с оплавленными стенками; 5 — заряды; 6 — уплотненный грунт

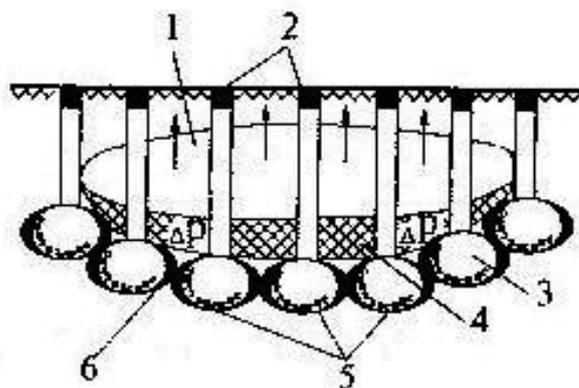


Рис. 2. Вытеснение линзы с помощью взрыва: 1 — линза; 2 — уплотнительные пробки; 3 — заряды большей мощности; 4 — зона уплотнения; 5 — оплавленные и непроницаемые внутренние стенки полости; 6 — уплотненный грунт

2. Стадия синтеза новых органических веществ (гумуса) — усвоение образовавшихся веществ растительностью, включение их в биологический круговорот.

Очевидно, что такие методы приемлемы лишь в тех случаях, когда объем и скорость инфильтрации загрязняющих нефтепродуктов в почве ниже скорости естественной деградации самой загрязняющей органики. Т.е. в случае незначительных объёмов загрязнения, либо в случае, когда структура загрязненных почв исключает риск внутрисочвенного накопления загрязняющих веществ и их распространения поверхностными и грунтовыми водами.

### Активные методы

Активные методы очистки и регенерации загрязненных нефтепродуктами почв подразумевают интенсивное технологическое или биологическое воздействие на подвергшуюся заражению местность в целях минимизации негативных последствий и могут быть подразделены на 4 основные класса.

1. Механическая очистка, включающая обваловку загрязнений, сбор и откачку разливов;
2. Физико-химическая очистка, основанная на обработке поверхности почв различного типа подогретыми водными растворами в присутствии поверхностно-активных веществ или иных реагентов с последующей экстракцией. Это довольно трудоемкая группа технологий с неоднозначными последствиями для экологии;
3. Биологическая (активная) очистка, основанная на обработке почвы биоактивными субстанциями и проведении сельхозобработок — наиболее щадящий окружающую среду вид технологий;

4. Электрохимическая обработка, при которой в грунт погружают электроды с постоянным электротоком, под воздействием которого растворившиеся в грунтовых водах загрязнения мигрируют в направлении электродов и осаждаются на них. Преимущество данной технологии заключается в ее применимости для глинистых и малопроницаемых почв.

Рассмотрим подробнее наиболее перспективные на наш взгляд инновационные методики ликвидации последствий загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами, позволяющие минимизировать антропогенное воздействие на подвергшийся заражению почвенный покров и (или) ликвидировать наиболее проблемные случаи нефтяных загрязнений.

### Механическая методика

В ряде случаев разлитая на поверхности почвы нефть способна проникать на достаточно большую глубину, где образует так называемую «нефтяную линзу» — источник длительного заражения прилегающих почвенных слоев.

Если ликвидировать нефтяное загрязнение образовавшееся на поверхности, или в верхних слоях почвы относительно легко, хотя в ряде случаев это и требует колоссальных усилий, то ликвидировать нефтяную линзу, сформировавшуюся под почвенным покровом довольно трудно. В частности, здесь практически не применимы пассивные методы и методы, основанные на естественном биоразложении нефтяного загрязнения.

Инновационным методом, позволяющим локализовать, а затем и ликвидировать нефтяную линзу является

технология ее блокировки и вытеснения под воздействием направленных взрывов, после чего уже возможно применение других способов регенерации и оздоровления почвенного покрова. Упомянутая методика предполагает достаточно сильное воздействие на рельеф, предпочтительна для случаев масштабных разливов и реализуется в два этапа.

На первом — осуществляется локализация образовавшейся нефтяной линзы. Данный подготовительный этап необходим, чтобы заблокировать дальнейшее опасное распространение нефтяного загрязнения внутри почвы. Для начала, используя газоанализаторы, либо иные доступные технологии, необходимо выявить контрольные границы нефтяной линзы, после чего выбуриваются шурфы по ее контурам для установки зарядов из расчета массы и мощности, необходимых для локализации линзы (Рисунок 1).

При подготовке взрыва необходимо четко понимать конечную цель операции — либо требуется лишь локализация нефтяной линзы, либо необходимо добиться в итоге еще и вытеснения нефтяного скопления к поверхности (рисунок 2).

Для вытеснения линзы из почвы необходимо избыточное давление, поэтому в ранее пробуренные шурфы устанавливаются заряды, позволяющие провести серию направленных взрывов большой мощности. При этом верхние части шурфов плотно блокируются в целях обеспечения концентрации энергии и усилия ударной волны. В этом случае зона уплотнения в большей степени входит в зону линзы, в результате чего, линза вытесняется из слоя почвы.

### Биологические технологии

В последнее время при выборе средств ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов и их последствий все большее предпочтение отдается биоадсорбентам, способным как поглощать нефть и нефтепродукты, так и биоразлагать их [3].

Территории нефтеносных месторождений представляют собой среду естественного обитания аборигенных микроорганизмов, сумевших за миллионы лет эволюции научиться разлагать нефть, используя ее в качестве источника питания. Иными словами, биodeградация углеводородов микроорганизмами является одним из основных естественных природных механизмов самоочищения окружающей среды. Биологическая ликвидация нефтяных загрязнений может осуществляться за счет:

- ◆ стимуляции уже обитающих на загрязненной территории микроорганизмов;
- ◆ улучшения природного ценоза посредством внесения значительного количества предваритель-

но отобраных и размноженных в виде биологического препарата специализированных микроорганизмов, изначально не характерных для данной территории.

Наибольшую эффективность в биологическом удалении последствий нефтяных загрязнений показали следующие микроорганизмы, способные редуцировать нефть и нефтепродукты для целей собственной жизнедеятельности [4]:

- ◆ Литотрофные микроорганизмы, способные развиваться за счёт окисления неорганических соединений, в т.ч. водородные, метанооксиляющие, нитрифицирующие, серобактерии и метанобразующие бактерии;
- ◆ Тионовые бактерии, среди которых преобладают серооксиляющие и железоксиляющие бактерии;
- ◆ Окисляющие углеводороды бактерии.

Окислять углеводороды способны многие бактерии, к числу которых относятся организмы порядков Pseudomonadales, Eubacteriales, Actinomycetales класса шизомицетов, среди которых распространены представители Pseudomonadaceae, Achromobacteriaceae, Brevibacteriaceae, Corybacteriaceae, Bacillaceae, Mycobacteriaceae, Actinomycetaceae и др.

Необходимо отметить, что отличным катализатором всех почвенных процессов являются гуминовые кислоты, обладающие активностью в отношении почвенных микроорганизмов и растений, стимулируя тем самым процесс разложения нефтепродуктов, что также можно использовать как основу создания природных сорбентов с возможностью интенсификации разложения нефтепродуктов.

Количество биологически активных препаратов, способных в буквальном смысле слова поедать нефтяные загрязнения в настоящее время разработано довольно много, а их состав усложняется из года в год, что помогает достигнуть более полного и быстрого удаления нефтяных загрязнений на почвах.

Очевидно, что инновационные технологии биологических методов очистки почв от загрязнений нефтепродуктами должны быть основаны на поиске и селекции новых биологических организмов, способных разлагать, либо эффективно адсорбировать загрязняющие нефтепродукты, а также — на разработке технологий внесения очищающих восстанавливающих биоагентов, способных повысить эффективность применения последних.

Примером успешной технологии внесения биоагентов на зараженную территорию можно считать сорбенты

на основе сфагнома — торфяного мха, который, будучи широко распространённым в природе, обладает высокой способностью поглощать нефтепродукты, за счет того, что его клетки, изначально предназначенные подобно губке поглощать и накапливать воду, с не меньшей эффективностью способны поглощать и длительное время удерживать органические соединения. Таким образом, являясь хорошим абсорбентом углеводов, мох исключает процессы их десорбции, а следовательно, и вероятность вторичных загрязнений. Кроме того, сфагнум содержит в своих клетках и гумусовую кислоту, действующую как природный катализатор процесса активизации биоценоза.

Перечисленные свойства сфагнома позволяют создать относительно простую и экологически безопасную технологию ликвидации нефтяных загрязнений почвы с минимальным механическим воздействием на ее поверхность. Достаточно модифицировать сфагновый мох, насытив его совместимыми биологически активными препаратами — т.е. культурами штаммов нефтередуцирующих микроорганизмов, в результате чего сфагнум становится прекрасным абсорбентом, который, высасывая углеводороды из загрязненной почвы, стимулирует процессы его разложения привнесенными микроорганизмами.

При этом площадь поверхности, на которой происходят процессы переработки нефтяных загрязнений микроорганизмами за счет живой поверхности сфагнома значительно выше, чем в случае распыления биоактивных нефтеудалителей по поверхности почвы, а значит и скорость биоразложения нефтяных загрязнений выше.

Правильно подготовленный биоактивный сорбент на основе сфагнома достаточно рассыпать на заражен-

ной поверхности и оставить его либо на определенное время, либо насовсем, если степень биоразложения загрязняющих нефти и нефтепродуктов будет достаточно высокой для ликвидации последствий техногенного воздействия на окружающую среду. В целях повышения эффективности биоразложения в отдельных случаях (все зависит от концентрации и характера загрязнений) сфагновый сорбент, насытившийся нефтепродуктом, можно смешать с почвой с тем, чтобы создать оптимальные условия для процессов дальнейшего биоразложения, однако глубокое перемешивание в этом случае все-таки нежелательно.

Плюсом данной технологии абсорбции и последующего биоразложения нефтяных загрязнений почвы, безусловно является возможность оставлять отработанный материал на месте, что особенно важно, поскольку аварийные разливы нефти и нефтепродуктов происходят как правило на неровном естественном ландшафте, который может включать балки, овраги кустарник, заросли, плотно растущие деревья и другие объекты, затрудняющие сбор отработанного сорбента. При этом сам отработанный сфагновый сорбент, как и любой другой при необходимости можно собирать, после чего либо сжечь, либо компостировать.

Таким образом, разработанные на сегодняшний день и продолжающие активно развиваться технологии восстановления почвенного покрова после загрязнения нефтепродуктами позволяют провести максимально возможную очистку пострадавших грунтов не зависимо от степени загрязнения. Очевидно, что предпочтительными являются наименее травмирующие почвенный покров способы, основанные на естественных биохимических процессах натуральной утилизации нефтяных загрязнений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гуславский, А. И. Перспективные технологии очистки воды и почвы от нефти и нефтепродуктов / А. И. Гуславский, З. А. Канарская // Вестник Казанского технологического университета. — 2011. — Вып. 20. — С. 191–199.
2. Королева И. Е., Рязанцева Л. Т., Федянин В. И. Современные технологии очистки и восстановления земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. — 2011. — № 1 (2). — С. 65–67.
3. Чухарева Н. В., Булгакова О. Л., Рожкова Д. С., Хадкевич И. А. Технологическое оборудование при ликвидации аварийных разливов нефти сорбентами // Актуальные вопросы трубопроводного транспорта углеводородов. — 2013. № 11. — С. 56–61.
4. Шубенко Д. Ю. Опыт и перспективы использования биопрепаратов для ремедиации нефтезагрязнённых почв // Неразрушающий контроль: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность». В 3 т. Т. 3 /Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. — 482 с. — С 390–393.

© Германова Светлана Евгеньевна ( germanova-se@rudn.ru ), Дрёмова Татьяна Валерьевна ( sambros-nb@rudn.ru ),  
Петровская Полина Александровна ( petrovskaya-pa@rudn.ru ), Кочнева Маргарита Васильевна ( kochneva-mv@rudn.ru ),  
Петухов Николай Владимирович ( petukhov-nv@rudn.ru ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»