

КРЫГА Т.А., аспирант гр. НА-2 (ЯГТУ)
КУЛИКОВ С.Ф., студент гр. ХТОО-22м (ЯГТУ)
Научный руководитель НИКИТИНА Е.Л., к.т.н., доцент (ЯГТУ)
г. Ярославль

РОЛЬ ПЕРЕСЫПОЧНЫХ СУБСТРАТОВ В УПРАВЛЕНИИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИМИ ОТХОДАМИ

XXI век стал эпохой доминирования энергетического сектора и технологического прогресса, где ключевой задачей остается обеспечение растущего спроса на энергоресурсы. Основой мировой энергетики выступает нефть и её производные, что провоцирует глобальную конкуренцию за контроль над месторождениями углеводородов. Однако эта гонка за ресурсами напрямую связана с усилением антропогенной нагрузки на экосистемы: чем выше потребление ископаемого топлива, тем масштабнее его негативное влияние на окружающую среду. Нефтедобывающая промышленность – одна из самых землеёмких и загрязняющих отраслей. Нефть является комплексным загрязнителем, воздействие которого на почвы и другие компоненты ландшафта определяется количеством, составом и свойствами как органических, так и неорганических соединений [1]. Нефтяная плёнка блокирует доступ кислорода и воды к корням, вызывая гибель растительности. Углеводороды и тяжёлые металлы в составе нефти подавляют рост растений, повреждают корневую систему и нарушают фотосинтез. Чувствительные виды растений вымирают, что нарушает пищевые цепочки и снижает биоразнообразие. Токсины накапливаются в травоядных животных и хищниках и, проходя дальше по пищевой цепочке, попадают в организм человека с мясом, молоком или овощами, а полихлорированные ароматические углеводороды в нефти провоцируют онкологические заболевания.

Нарастающая антропогенная нагрузка и изменение фундаментальных геологических и биогеохимических параметров планеты привели к острому кризису в сфере утилизации нефтеотходов. В настоящее время существует большое количество методов, с помощью которых снижают и ликвидируют загрязнения нефтью и нефтепродуктами. Все применяемые методы можно разделить на четыре основные категории: физические, физико-химические, химические и биологические [2]. Биологические методы демонстрируют значительные преимущества перед другими способами переработки нефтеотходов, поскольку они основаны на естественных процессах биодеградации, осуществляемых специализированными микроорганизмами. Данные подходы, такие как биоремедиация и биокомпостирование, позволяют преобразовать углеводороды в безопасные соединения – воду, углекислый газ и биомассу. Ключевым достоинством биологических методов является их высокая экологичность: они не приводят к вторичному загрязнению окружающей среды, характерному для химических способов, и способствуют восстановлению природных экосистем. Несмотря на то, что

процесс биодеградации может требовать больше времени по сравнению с физико-химическими методами, а его эффективность зависит от внешних факторов, именно биологические технологии рассматриваются как наиболее перспективное и устойчивое решение для ликвидации нефтезагрязнений в долгосрочной перспективе. Суть биоремедиации заключается в очистке и восстановлении нефтезагрязненных почв при помощи биологического разложения загрязнений микроорганизмами в результате различных биохимических реакций и физико-химических процессов, осуществляемых с участием почвенной микробиоты [3].

Для снижения токсичности нефтеотходов используются различные субстраты, которые можно классифицировать по их происхождению и основному механизму действия. Во-первых, это природные сорбенты, такие как торф, опилки, солома, глинистые минералы (бентонит, диатомит), цеолиты, вермикулит, природные перлиты. Во-вторых, это биогенные субстраты: активный ил очистных сооружений, компосты на основе органических отходов, специализированные биоферменты, микробные препараты. В-третьих, это органоминеральные композиции, например, комбинации торфа с глинистыми материалами, смеси опилок с цеолитами, композиции на основе сапропеля с минеральными добавками. В данной работе рассматриваются механизмы действия различных субстратов, их оптимальные соотношения, эффективность применения и недостатки.

Известно исследование с использованием биоремидианта препарата «Ремедойл», в основе которого находятся дрожжевые грибы [4]. Методика заключается в следующем: в образец почвенного субстрата вносится нефешлам в различных концентрациях, а далее в загрязненные образцы вносят «Ремедойл». За год действия препарата концентрация нефтепродуктов снизилась на 20-25%, а также увеличилась способность почвы к выращиванию растений (всходесть семян 30-40%). К основному недостатку относится длительность использования данной технологии.

Существует технология утилизации избыточного активного ила, загрязненного тяжелыми металлами [5]. Процесс заключается в смешивании активного ила с малорастворимыми солями кальция, в качестве которых используются природные материалы или промышленные отходы, с последующим разделением образовавшейся смеси на твердую и жидкую фазы методами седиментации или центрифugирования. Ионы тяжелых металлов, перешедшие в водную фазу, извлекаются с применением методов реагентного осаждения, ионообменной или адсорбционной очистки. К числу недостатков данной методики относится необходимость использования значительного количества кальциевого реагента по отношению к массе ила, а также низкая эффективность обезвоживания обработанной твердой фазы при отстаивании.

Известен способ утилизации нефесодержащих отходов методом биокомпостиования, который в качестве эксперимента проводился в лабораторных условиях в контейнерах с навеской почвы 3 кг [6]. Загрязненную нефтью и нефтепродуктами почву поместили в специальные контейнеры, засыпанные песком. Далее вносился структуриатор вермикулит с иммобилизованными микроорганизмами рода *Bacillus*, микромицетов родов *Fusarium*, *Alternaria*, *Mucor*. За 15 дней при

комнатной температуре $+20\dots+25^{\circ}\text{C}$ наблюдалось снижение содержания нефтепродуктов на $58,2\pm0,2$. При нагревании смеси до 400°C можно наблюдать снижение концентрации нефтяных отходов на $95,4\pm0,4\%$. К основным недостаткам можно отнести высокую энергозатратность этапа термообработки, где требуется нагрев смеси. Этот процесс энергетически крайне затратен, требует специального оборудования (печи) и, по сути, превращает «биологический» метод в термомеханический. Для реализации необходима стабильная комнатная температура, что не отражает реальные условия на полигонах с их сезонными и суточными колебаниями температуры, объемами отходов в тысячи тонн и неоднородностью состава.

Далее рассмотрена способность почв к самоочищению при сильном нефтяном загрязнении и влияние на данный процесс биоуглей и шунгитов [7]. Инкубирование почв, загрязненных нефтью, без добавления сорбентов при постоянной оптимальной влажности и температуре в течение 28 суток обеспечило снижение остаточного содержания нефтепродуктов лишь на 8%. Добавление биоугля и шунгита в дозе 2,5% позволило снизить содержание нефтепродуктов при постоянных условиях инкубации до 48,8% и 38% соответственно. Показано, что проведение инкубации нефтезагрязненных почв в режиме переменной влажности и температуры без добавления сорбентов позволяет снизить остаточное содержание нефтепродуктов за 28 дней эксперимента на 32%.

Известно исследование на определение фитотоксичности компонентов и субстратов с использованием отходов очистных сооружений [8]. Субстраты изготавливали на основе верхового торфа с добавкой Биогумуса «Архангельский», который представляет собой компостированный остаточный активный ил очистных сооружений. Для тестирования вытяжек из материалов использовали овес посевной и кress-салат. Добавка остаточного активного ила в верховой торф при приготовлении субстратов положительно влияет на показатели роста. Отмечается увеличение длины стебля и корня, массы подземной и надземной частей растений. Оптимальной в субстрате для выращивания овса является добавка компостиированного активного ила в количестве 10–20%. При больших долях добавки компостированных отходов активного ила (более 40%) рост овса снижается, но масса стеблей и корней увеличивается.

В ходе исследования была разработана и испытана методика обработки избыточного активного ила с применением калиево-кальциевого цеолита фракции 0,15–0,25 мм. Введение добавки в количестве от 3 до 8 кг на m^3 избыточного ила позволило в течение 3 часов добиться значительного уплотнения системы, при котором объем образующегося осадка не превышает 40% от первоначального объема обрабатываемого ила. Результаты подтверждают перспективность цеолитов в качестве эффективных коагулянтов-сорбентов.

Применение пересыпочных субстратов является перспективным направлением в комплексе мер по снижению токсичности нефтеотходов на полигонах. Наибольший эффект достигается при использовании комплексных органоминеральных составов, подобранных с учетом специфики отходов и природно-климатических условий. Разработка и внедрение стандартизованных требований к компонентам таких субстратов позволят повысить экологическую безопасность

полигонов и перейти к управляемой и контролируемой биоремедиации нефтезагрязнений. Отбор компонентов для субстрата осуществляется в соответствии с рядом обязательных параметров, а именно: отсутствием собственных токсичных примесей, доступностью компонентов, однородностью состава, безопасностью для экосистем. Кроме того, компоненты не должны быть легковоспламеняющимися, взрывоопасными, радиоактивными, субстрат должен быть стабильным и не разлагаться с выделением вредных летучих веществ.

В настоящее время эти требования формируются на основе совокупности нормативно-правовых актов, регламентирующих обращение с отходами и охрану почв. Например, Приказ Минприроды России от 08.12.2020 № 1026 «Об утверждении порядка паспортизации и типовых форм паспортов отходов I - IV классов опасности» говорит о том, что компоненты субстрата сами не должны быть отходами высокого класса опасности (I, II). Их смешивание с нефтеотходами не должно приводить к образованию новой, более опасной продукции или увеличению класса опасности итоговой смеси. В Федеральном законе от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» указано, что любая деятельность, связанная с обезвреживанием отходов, не должна приводить к превышению нормативов качества окружающей среды и оказывать негативное воздействие на земли и почвы.

Таким образом, требования к компонентам субстратов носят комплексный характер и направлены в первую очередь на обеспечение экологической и санитарно-гигиенической безопасности. Перед применением любого компонента необходимо проводить его лабораторный анализ на соответствие требованиям СанПиН и оценивать его класс опасности.

Список литературы:

1. Гольдберг В. М., Зверев В. П., Арбузов А. И. Техногенное загрязнение природных вод углеводородами и его экологические последствия. М.: Наука, 2001. 125 с.
2. Матус, Л. И. Основные промышленные методы переработки отходов производства и потребления / Л. И. Матус, Е. Э. Нефедьева. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2019. – 96 с.
3. Ахмадиев М.В., Рудакова Л.В. Анализ методов восстановления нефтезагрязнённых земель // II Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2008. Т. 1, № 6. С. 16-25.
4. . Изилиянов А. Ю., Минина Н. Н. Биоремедиация нефтезагрязненных почв // Вестник науки. 2021. №6-1 С. 200-203.
5. Патент № 2133231, РФ, МПК7 C02F11/14 Способ переработки избыточного активного ила, содержащего тяжелые металлы / Панов В.П., Зыкова И.В., Петухова Е.А. - № 98103036. – 1999.
6. Мурзина Г. А., Успабаева А. А. Разработка способа утилизации нефтесодержащих отходов методом биокомпостирования // Вестник магистратуры. 2012. №3.
7. Смирнова Е. В., Окунев Р. В., Гиниятулин К. Г. Влияние углеродных

сорбентов на потенциальную способность почв к самоочищению от нефтяного загрязнения // Георесурсы. 2022. №3. С. 210-218

8. Никитина М.В., Наквасина Е.Н., Коптев С.В. Определение фитотоксичности субстратов на основе отходов активного ила в вегетационных опытах // Вестник КрасГАУ. 2024. №6 С. 53-60