

UOT 628.357

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСТЕНИЙ ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В ФИТОРЕМЕДИАЦИИ

ШИРИНОВА ДУРДАНА БАКИР КЫЗЫ

Доцент кафедры нефтехимических технологий и промышленной экологии
Азербайджанского государственного нефтегазового университета, Баку, Азербайджан.

ИБРАГИМОВА ЛАЛА ВУГАР КЫЗЫ

Магистр кафедры нефтехимических технологий и промышленной экологии,
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Баку,
Азербайджан

Аннотация: В статье рассматривается использование водных и прибрежных растений для очистки вод, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, а также факторы, влияющие на процесс очистки.

Установлено, что очистку водоемов от нефти, нефтепродуктов, тяжелых металлов и других загрязняющих веществ можно осуществлять как с помощью растений, произрастающих в водоемах, так и с помощью других растений.

Установлено, что при создании искусственных водно-болотных угодий для очистки, помимо выбора видов растений, Тип и количество растений следует определять в соответствии с механизмом действия и количеством каждого загрязняющего вещества.

Растения сравнивались по их очищающему эффекту.

Анализы показывают, что *E. Crassipes* способен удалять до 60–95% нефтепродуктов и до 70–95% тяжелых металлов при очистке сточных вод. В ходе эксперимента ХПК снизилось в среднем на 80%, а БПК — примерно на 70%. Также были обнаружены PO_4^{3-} , NO_3^- и NO_2^- ионы на 27,4%, 62,5% и 60% соответственно. *Phragmites australis* снижает содержание нефтепродуктов на 70-95%, свинца на 80-95%. Согласно данным компании *Vetiver*, это средство способно удалять 70–90% меди, цинка и кадмия, 90–95% нефтепродуктов и 70–80% тяжелых металлов.

Ключевые слова: Фиторемедиация, нефтепродукты, искусственные водно-болотные угодья, тростник австралийский (*Phragmites australis*), эхинацея (*E. Crassipes*).

COMPARATIVE ANALYSIS OF PLANTS USED IN PHYTOREMEDIATION

SHIRINOVA DURDANA BAKIR KIZI

Associate Professor, Department of Petrochemical Technologies and Industrial Ecology,
Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan

IBRAHIMOVA LALA VUGAR KIZI

Master of Science, Department of Petrochemical Technologies and Industrial Ecology,
Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan

Abstract: This article examines the use of aquatic and coastal plants for the treatment of water contaminated with oil and petroleum products, as well as the factors influencing the treatment process.

It has been established that the removal of oil, petroleum products, heavy metals, and other pollutants from water bodies can be accomplished using both native and non-aquatic plants. It has been established that when creating artificial wetlands for purification, in addition to selecting plant species, the type and quantity of plants should be determined based on the mechanism of action and the amount of each pollutant.

Plants were compared for their purification effects.

Analysis shows that E. crassipes is capable of removing up to 60-95% of oil products and up to 70-95% of heavy metals during wastewater treatment. During the experiment, COD decreased by an average of 80%, and BOD by approximately 70%. PO_4^{3-} , NO_3^- , and NO_2^- ions were also detected by 27.4%, 62.5%, and 60%, respectively. Phragmites australis reduces oil product levels by 70-95% and lead by 80-95%. According to Vetiver, this product is capable of removing 70–90% of copper, zinc, and cadmium, 90–95% of petroleum products, and 70–80% of heavy metals.

Keywords: Phytoremediation, petroleum products, artificial wetlands, Australian reed (*Phragmites australis*), echinacea (*E. crassipes*).

Сырая нефть и нефтепродукты оказывают негативное воздействие как на водные, так и на наземные экосистемы. Разливы нефти могут угрожать водным ресурсам. Изучены фатальные и сублетальные последствия воздействия углеводородов нефти на рыб. Примерами нежелательных последствий являются аномальное развитие нейронов, генетические повреждения, физические деформации, а также изменения биологических функций, таких как питание, размножение и миграция. Морские птицы являются очевидными жертвами разливов углеводородов. Даже 10 мл нефтяного пятна могут повлиять на микроструктуру перьев птиц и снизить терморегуляцию до летального исхода. Нефтяное загрязнение оказывает негативное воздействие на черепах и некоторые виды водных позвоночных, такие как морские утки и выдры. [1].

Еще одним негативным аспектом разливов нефти является воздействие на здоровье человека. Исследования показали, что водные организмы могут накапливать в своих тканях высокие уровни углеводородных фракций. В результате биоаккумуляции загрязняющих веществ и последующего их распространения по пищевой цепи эти загрязнители могут представлять угрозу для источников пищи и здоровья человека. В то же время нефтяное загрязнение может нанести химический и физический вред водным и наземным растениям. Загрязнение листьев растений может снизить фотосинтез и терморегуляцию, а покрытие корней может нарушить структуру корней и поглощение воды и питательных веществ. [2]. Кроме того, после загрязнения нефтью наблюдалось подавление прорастания семян, уменьшение биомассы растений и увеличение смертности растений [3].

Очистка сточных вод имеет огромное значение в мире, и на ее внедрение в разных странах тратятся значительные средства. Поэтому очень важно использовать методы и технологии, соответствующие климатическим и социальным условиям региона, а также его экономическим особенностям. В основном сточные воды делятся на две категории: городские и промышленные. Количество и качество промышленных сточных вод варьируются в зависимости от производственного процесса, доступности и стоимости водоснабжения и водоотведения, типа сырья и производимой продукции, уровня контроля за деятельностью промышленного предприятия, размера зеленой зоны, санитарно-бытовых условий, наличия системы рециркуляции и степени повторного использования [4].

Помимо известных классических методов очистки загрязненных вод, актуальной проблемой является разработка новых экологически и экономически эффективных методов, особенно методов с использованием водных растений. В водных экосистемах, таких как озера, реки и болота, встречаются макрофиты — различные виды растений, которые растут вблизи воды или в воде, вырастают, тонут или плавают в воде. Их потенциально можно использовать для фиторемедиации нефти и нефтепродуктов. Одной из характеристик, делающих их важными для фиторемедиации, является их способность к быстрому росту. Они широко распространены и быстро размножаются [5-6].

Таким образом, после повреждений, вызванных нефтяным загрязнением, они могут быстро заменяться новыми побегами. Волокнистые корни некоторых водных растений могут обеспечить большую площадь поверхности и плотную ризосферу для колонизации микроорганизмами. Автор сообщает, что волокнистые корневые системы кувшинок (

Eichhornia crassipes) могут значительно очищать плавающие нефтяные углеводороды в поверхностных водах. В качестве потенциального материала для фиторемедиации нефти и нефтепродуктов также упоминается паспаллум *влагалищный* (*Paspalum vaginatum* Sw.). Было показано, что его корневые системы выживают и растут в песках, загрязненных дизельным топливом (до 30 г кг^{-1}). Растения, произрастающие в речных водах, которые преобладают в прибрежных болотах, обладают высокой жизнеспособностью и большими корневыми системами, что полезно для восстановления загрязненных нефтью болот. В частности, перенос кислорода к корням растений ускоряет развитие там аэробных бактерий, что повышает скорость и эффективность очистки, регулируя кислородный баланс водоема.

Четыре вида пресноводных болотных растений, в том числе *аллигаторова трава* (*Alternanthera philoxeroides*), используются в некоторых местах в качестве пищевой культуры и в народной медицине. Это растение снижает уровень азота и фосфора в воде. Однако его инвазивные свойства и потенциальный вред для экосистем требуют тщательного контроля за использованием *Alternanthera philoxeroides*. Это растение, особенно в водных средах, быстро распространяется и оказывает негативное воздействие на местные экосистемы, затрудняя выживание других растений и водных организмов. Тем не менее, это растение используется для удаления углеводородов из воды под технологическим контролем.

Паникум гемитомон (*Panicum hemitomon*) — это влаголюбивое болотное многолетнее растение. Хотя его родина — Северная Америка, он также встречается вдоль юго-восточного побережья от Нью-Джерси до Техаса и в Южной Америке. Сеть корневищ помогает стабилизировать почву и предотвращать эрозию. Вода переносит такие элементы, как азот, фосфор, калий и магний, а также тяжелые металлы. (свинец, кадмий, цинк), пестициды, нефть и нефтепродукты.

Тростник обыкновенный (*Phragmites australis*) и ряска ланцетолистная (*Sagittaria lancifolia*) — «водный лук» или «стрелолист». называется. Он удаляет из воды азот и фосфор, а также тяжелые металлы (свинец, кадмий, цинк), нефть и нефтепродукты. Он эффективно применяет фиторемедиацию в мезоэкосмах (искусственных прудах), загрязненных сырой нефтью.

Водяной тростник (*Phragmites australis*) может быть очень эффективен для очистки воды, загрязненной нефтью и нефтепродуктами. В процессе фиторемедиации с использованием этого растения нефтепродукты (нефть, бензин, дизельное топливо и т. д.) удаляются на 70–95%, свинец — на 80–95%, медь, цинк, кадмий — на 70–90%. может уменьшить. Степень очистки зависит от конкретных факторов — уровня загрязнения, плотности водных тростников, времени года, температуры, продолжительности удержания воды и т. д. Микроорганизмы, накапливающиеся в плотной зоне (ризосфере), расщепляют масляные соединения[7].

Температура, pH, кислородный баланс водоема, тип и концентрация загрязняющего вещества - из важнейших вопросов для исследований в области фиторемедиации, особенно при использовании искусственных водно-болотных угодий. Различные виды болотных растений обладают разной способностью к поглощению и накоплению питательных веществ, а также оказывают различное влияние на активность и структуру бактериальных сообществ, участвующих в удалении загрязняющих веществ в водно-болотных угодьях. Также необходимо учитывать факторы, влияющие на естественное распространение выбранных растений как на местном, так и на региональном уровне, поскольку они оказывают большое влияние на успешное применение растений, выбранных для целей фиторемедиации. С учетом всех этих и других факторов, ниже приведены критерии отбора подходящих болотных растений для исследований в области фиторемедиации.

- Наличие/пригодность необходимых видов для предлагаемой территории;
- Потенциальная инвазивность растений как внутри, так и за пределами данной территории;
- Предпочитаемый растениями субстрат для роста (песок, глина, ил и торф);

- Аэробные и анаэробные условия искусственного водно-болотного угодья;
- Подходящая глубина воды для роста растений (мелководье или глубоководье);
- Устойчивость растений к засухе;
- Местный климат;
- Загрязняющие вещества в сточных водах водно-болотных угодий;
- Возможное взаимодействие с животными и вероятность уничтожения ими растений.

Известно, что очистка воды с помощью растений осуществляется методами фитостабилизации, ризодеградации, фитоэкстракции/фитоаккумуляции, фитотрансформации/фитодеградации, фитоволатилизации (ФВ), эвапотранспирации и ризофилтрации, и с помощью этих растений возможно удаление из сточных вод красителей, неорганических элементов, нефти и других углеводородов.

Salvinia molesta- « Гигантская сальвиния » или « трава Карива » (*Kariba Weed*) Это широко распространённое водное растение, обитающее в тропических водах. Этот метод обладает способностью удалять токсичные красители и в настоящее время является перспективным подходом, используемым в различных отраслях промышленности. Известен также метод удаления распространенных текстильных красителей из аминированных и неаминированных оболочек семян подсолнечника обыкновенного.

листья *Cucurbita moschata* (тыквы) и стебли *Beta vulgaris* (свеклы), обладают большим потенциалом для производства тетразинового красителя и бордоского красного красителя[8].

Растение *ветивер* (*Chrysopogon zizanioides*), особенно в качестве метода фиторемедиации, очень эффективно для очистки загрязненных нефтью вод. Исследования показали, что корни *ветивера* поглощают производные нефти (бензол, толуол, ксилол, полиароматические углеводороды и тяжелые металлы) и нейтрализуют их. Эксперименты показали, что 90-95% нефтяного загрязнения удаляется в течение определенного периода времени. Помимо нефти, он также эффективен на 60-80% в очистке от тяжелых металлов (медь, свинец, цинк) *ветивера* составляет 70-95% для вод с умеренным и низким уровнем загрязнения нефтью. Однако для успешного применения необходимо учитывать тип загрязнения, климатические условия и период роста растения. В сочетании с традиционными технологиями это может быть устойчивым и экономически выгодным решением.

Папирус, или папирус (*Cyperus papyrus*, использовавшийся в Древнем Египте в качестве материала для письма), — это болотное растение, которое можно использовать для очистки от различных видов загрязняющих веществ, включая нефтепродукты. Согласно известным научным источникам, Возможно сократить потребление нефти и нефтепродуктов на 50–90%, но это оптимальный показатель в лабораторных или опытно-промышленных условиях. В естественных условиях этот показатель может быть ниже[9–10].

Eichhornia crassipes Эффективность метода оказалась превосходной при удалении цветных красителей при обработке метиловым оранжевым красителем в концентрации 50 мг/л в течение 20 дней подряд при температуре 30°C.

Растение *Opuntia ficus-indica* обладает максимальной сорбционной способностью при удалении неорганических элементов.

Водяной гиацинт (*E. crassipes*) и другие растения обладают большим потенциалом для удаления органических и неорганических загрязнителей. Такие растения, как *Phragmites australis*, с определенными штаммами бактерий, изучались на предмет их способности удалять неорганические элементы из нефтяных месторождений и сточных вод. Некоторые водные растения обладают более крупными адсорбентами для удаления токсичных неорганических элементов; смешанная биомасса *S. molesta* и *Pistia stratiotes* широко используется в крупномасштабной промышленности благодаря своей эффективности. Для удаления углеводородов разработана процедура для горизонтальных подземных водно-болотных угодий, предназначенных для удаления сточных вод, содержащих высокие концентрации ПАУ (фенантрен, пирен и бензол[а]пирен). *Ветивер* и *Pistia stratiotes*, широко используемые в парфюмерии, также применяются для этой цели. Обработка загрязненной

нефтью и металлами воды биомассой водяного гиацинта или водяной лилии (*Eichhornia crassipes*) является одним из наиболее распространенных способов применения[12].

Плотные, жесткие стебли и листья водяного гиацинта замедляют течение воды, что способствует осаждению частиц масла и жира в воде (в виде эмульсий) или их улавливанию на поверхности растения. Разветвленная и густая корневая система (ризомы) колоса физически и химически улавливает на своей поверхности нефтяные фракции в воде, тяжелые металлы и даже некоторые растворенные токсичные органические соединения (например, полиароматические углеводороды — ПАУ). Очистка воды может быть достигнута путем медленного сброса загрязненной воды (например, сточных вод нефтяных месторождений, сточных вод нефтеперерабатывающих заводов) через неглубокие водоемы или каналы, закрытые шипами. Это создает среду обитания для микроорганизмов, способных расщеплять некоторые сложные соединения. Микроорганизмы (бактерии, грибы), которые размножаются в корнях и вокруг них, расщепляют углеводороды нефти на менее токсичные или более легко разлагаемые вещества. Корни растений стимулируют этот процесс, выделяя кислород и органические вещества. Листья и стебли растения способны поглощать или метаболизировать часть вредных летучих органических соединений (ЛОС), испаряющихся с поверхности воды.

Недостатком является то, что эйхорния может очень быстро размножаться и покрывать весь водоем. Это может привести к остановке судоходства, рыболовства, истощению водохранилищ и нарушению экологического баланса. Требуется строгий контроль и управление.

Было установлено, что айхорнии способны поглощать от 60% до 95% нефтепродуктов и от 70% до 95% некоторых специфических токсинов и тяжелых металлов (связанных с нефтью).



Рис. 1. Подготовка образцов растений. *E. crassipes* (a), *P. Stratiotes* (b)

E. crassipes — свободно плавающее многолетнее водное растение, произрастающее в тропических и субтропических регионах Южной Америки. *P. stratiotes* также является водным растением и произрастает в тропических и субтропических зонах всех континентов.



Рис. 2. Очистка сточных вод методом фиторемедиации.

В настоящее время растет интерес к прямому использованию *E. crassipes* для очистки воды или к использованию углеродсодержащих материалов, полученных из этого растения.

Эти материалы обладают отличным потенциалом для эффективного удаления значительных количеств органических загрязнителей из воды. В ходе эксперимента ХПК снизилось в среднем на 80%, а БПК — примерно на 70%. Также были обнаружены PO_4^{3-} , NO_3^- и NO_2^- . Количество ионов NO_3^- уменьшается на 27,4%, 62,5% и 60% соответственно [12].

В другом исследовании с использованием *P. Stratiotes* (Zainuddin et al. 2022) количество ионов PO_4^{3-} , NO_3^- и NO_2^- уменьшилось до 34%, 38% и 28 % соответственно.

E. crassipes способствует поглощению углерода, аккумулируя углекислый газ из атмосферы и накапливая его в биомассе, что помогает смягчить последствия изменения климата.

Однако *E. crassipes* Также может иметь неблагоприятные последствия. Значительные проблемы возникают из-за его неконтролируемого роста в водоемах, таких как ирригационные системы или открытые пруды.

E. crassipes является источником сырья для ряда промышленных секторов, помимо очистки сточных вод. Благодаря обилию питательных веществ, включая N, P, Mg, Ca и K, *E. crassipes* является богатым источником для производства удобрений [13,14].

Фракция гемицеллюлозы лигноцеллюлозной биомассы широко признана как весьма перспективное сырье для производства топливного этанола. *E. crassipes* является подходящим источником гемицеллюлозы для процессов биоконверсии благодаря относительно значительному содержанию гемицеллюлозы (30–55% от сухого веса) [15,16].

Это также источник сырья для производства водорода (H_2), поскольку авторы оценили производство H_2 , используя комбинацию сточных вод пищевой промышленности и *E. crassipes*. Их результаты показали важность соотношения углерода и азота (C/N) для оптимизации производства газа.

Растение *E. crassipes* обладает благоприятными свойствами для производства биогаза, включая высокое содержание влаги, мягкое органическое вещество и соотношение C/N от 20:1 до 30:1. Эти характеристики делают его подходящим субстратом для производства биогаза, при этом метан составляет приблизительно 58% газа, а углекислый газ — оставшиеся 42%.

Среди других полезных свойств — противовоспалительные, противогрибковые и антибактериальные функции, а также лечебные свойства с потенциалом противоракового действия. Одновременно исследователи обнаружили, что экстракты этого растения, приготовленные с использованием этилацетата, значительно подавляют повреждение ДНК, что позволяет предположить, что *E. crassipes* может обладать омолаживающим действием на уровне кожи. Эта активность связана с наличием антиоксидантов, включая глутатион и аскорбиновую кислоту.

Кроме того, биомасса *E. crassipes* может использоваться для различных целей, таких как производство бумаги, мебели и изделий ручной работы. В настоящее время повышается экологичность этих материалов [17-19].



Некоторые растения, удаляющие загрязняющие вещества из воды.

1- Аллигаторная трава (*Alternanthera philoxeroides*), 2- Девичий клещ (*Panicum hemitomon*), 3- Тростник обыкновенный (*Phragmites australis*), 4- «*Sagittaria lancifolia*», 5- «Трава карибская» - *Salvinia molesta*, 6- Листья тыквы (*Cucurbita moschata*), 7- Свекла (*Beta vulgaris*), 8- Эйхорния (*Eichhornia crassipes*), 9-Кактус (*Opuntia ficus-indica*), 10- Салат водяной (*Pistia stratiote*), 11- Ветивер, 12- «Папирусное растение» (*Cyperus papyrus*).

Проведенные анализы показывают, что процесс очистки сточных вод с помощью растений занимает много времени (недели, месяцы) по сравнению с классическими методами очистки. Эффективность очистки может быть ограничена, если сточные воды содержат высокую концентрацию тяжелых нефтяных фракций и нефтепродуктов. Сбор и безопасная утилизация растительной массы, насыщенной нефтяными загрязнителями, является проблематичным вопросом. Обычно эту массу сжигают или перерабатывают на специальных установках. Процесс фиторемедиации требует очень тщательного подхода, должен применяться преимущественно на ограниченных территориях и находиться под постоянным мониторингом.

Это естественный и к тому же более дешевый метод. Высокая адаптивность и быстрый рост растений усиливают их очищающий эффект. Их корни могут очищать не только нефть, но и другие загрязняющие вещества. При таком методе, создавая болото, можно поддерживать биоразнообразие в экосистеме.

Таким образом, стало ясно, что многие растения, включенные и не включенные в списки охраняемых видов, играют важную роль в загрязнении окружающей среды, и были проанализированы преимущества *E. crassipes* как источника сырья для многих видов продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гавронский, SW (2023). Растения для спасения окружающей среды-Фиторемедиация. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 92, 1к-1к.
2. Хан, А.У., Хан, А.Н., Варис, А., Илья, М., и Замель, Д. (2022). Фиторемедиация загрязняющих веществ из сточных вод: краткий обзор. *Open Life Sciences*, 17(1), 488-496.
3. Ислам, М.М., Саксена, Н., и Шарма, Д. (2024). Фиторемедиация как экологически чистый и устойчивый перспективный метод борьбы с загрязнением тяжелыми металлами: обзор. *RSC Sustainability*, 2(5), 1269-1288.
4. Хаджипур, С., Алиния-Ахандани, Э., Бехназ, С.Б., Захра, А.Т., Селамоглу, З., и Акрам, М. (2023). Обзор потенциала фиторемедиации и ее методов. *Исследования в области биоинженерии*, 4(1), 1-8.
5. Морейра, И.Т., Оливейра, О.М., Тригис, Х.А., душ Сантуш, А.М., Кейруш, А.Ф., Мартинс, СМ, ... и Хесус, Р.С. (2011). Фиторемедиация с использованием *Rizophora mangle* L. в мангровых отложениях, загрязненных стойкими общими нефтяными углеводородами (ТРН). *Микрохимический журнал*, 99(2), 376-382.
6. Гехо, Э.М., Д. Кэмпбелл и П.А. Кедди. 2007. Количественная оценка экологических фильтров: относительное влияние травоядных животных, соседних растений и наносов на олигогалинное болото. *Oikos* 116: 1006-1016.
7. Сакакибара, М. (2016, июнь). Фиторемедиация загрязненных токсичными элементами вод и почв с помощью водного макрофита *Eleocharis acicularis*. В сборнике трудов конференции AIP (том 1744, № 1, стр. 020038). AIP Publishing LLC.
8. Лин, К., и Мендельсон, И.А. (2009). Потенциал восстановления и фиторемедиации с использованием *Juncus roemerianus* для загрязненных дизельным топливом прибрежных водно-болотных угодий. *Экологическая инженерия*, 35(1), 85-91.

9. Косесакал, Т., Унлу, В., Кулен, О., Мемон, А., и Юксель. (2015). Оценка фиторемедиационной способности *Lemna minor* L. в культурах, загрязненных сырой нефтью. Турецкий журнал биологии, 39(3), 479-484
10. Сьюли, А.Л., Хасан, С.Н.М.С., Кусин, Ф.М., Юсуфф, Ф.М., и Ибрагим, З.З. (2017). Фиторемедиационный потенциал ветиверовой травы (*Vetiveria zizanioides*) для очистки воды, загрязненной металлами. Загрязнение воды, воздуха и почвы, 228(4), 158.
11. Неди, С., Эффенди, И., Танджунг, А., и Элизаль, Э. (2023). Снижение содержания углеводородных загрязнителей с помощью гиацинтовых растений (*Eichhornia crassipes*). F1000Research, 12, 728.
12. Монрой-Лихт, А., Карранса-Лопес, Л., Де ла Парра-Герра, А.С., и Асеведо-Барриос, Р. (2024). Раскрытие потенциала *Eichhornia crassipes* для очистки сточных вод: фиторемедиация водных загрязнителей, стратегия продвижения Цели устойчивого развития № 6 «Чистая вода». Environmental Science and Pollution Research, 31(31), 43561-43582.
13. Хондокер, М., Гурав, Р., и Хван, С. (2024). Использование биомассы водного гиацинта (*Eichhornia crassipes*) в качестве экологически чистого сорбента для очистки от разливов нефти. AQUA — Водная инфраструктура, экосистемы и общество, 73(2), 183-199.
14. Рехман К., Арслан М., Мюллер Дж. А., Саид М., Имран А., Амин И., ... и Афзал М. (2021).
15. Улучшенная с помощью биоусиления очистка загрязненной сырой нефтью воды в пилотном масштабе с использованием плавучей установки для очистки водно-болотные угодья. Вода, 13(20), 2882.
16. Филлипс, Л.А., Армстронг, С.А., Хедли, Дж.В., Грир, К.В., и Гермиде, Дж.Дж. (2010). Изменения в ассоциированных с корнями микробных сообществах *Typha latifolia*, растущей в условиях нефтяных кислот, и их связь со здоровьем растений. Международный журнал фиторемедиации, 12(8), 745-760.
17. Санчес-Гальван, Г., Меркадо, Ф. Дж., и Ольгин, Э. Дж. (2013). Листья и корни *Pistia stratiotes* в качестве сорбентных материалов для удаления сырой нефти из солевых растворов. Загрязнение воды, воздуха и почвы, 224(2), 1421.
18. Немати, Б., Банеши, М.М., Акбари, Х., Дехгани, Р., и Мостафаи, Г. (2024). Фиторемедиация загрязняющих веществ в загрязненных нефтью почвах с помощью *Alhagi camelorum*: оценка и моделирование. Научные отчеты, 14(1), 5502.
19. Жилкина, Т., Герасимова, И., Бабич, Т., Канапатский, Т., Соколова, Д., Кадников, В., и Камионская, А. (2024). Оценка фиторемедиационного потенциала водных растений и ассоциированных микроорганизмов для очистки водных экосистем от нефтепродуктов. Устойчивость (2071-1050), 16(21).
20. Шарма, М., Рават, С., и Раутела, А. (2024). Фиторемедиация в устойчивом управлении сточными водами: экологически чистый обзор современных методов и Перспективы на будущее. AQUA — Водная инфраструктура, экосистемы и общество, 73(9), 1946-1975.