

СПЕЦИФИКА МИГРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ ВСЛЕДСТВИЕ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ ПРИ РАЗЛИВЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ

THE SPECIFICS OF THE MIGRATION OF POLLUTANTS IN VEGETATION DUE TO AN EMERGENCY SITUATION DURING A SPILL OF PETROLEUM PRODUCTS

R. Saifiev
E. Gayevaya
Yu. Sivkov

Summary. The objective reasons for the growth of oil production and the production of petroleum products around the world have created an acute problem of the toxicity of hydrocarbon pollutants facing environmentalists. Possible accidental oil spills are a widespread problem in achieving ecosystem sustainability. Pollution of natural ecosystems with petroleum products is of serious concern, since it destroys the structure of the soil, reducing its ability to biodegrade, and has a toxic effect on biota and human health.

To predict the degree of impact of possible accidental oil product spills on the components of the natural environment, it is necessary to know the mechanisms of filtration and migration of oil pollutants.

The work shows the stages of migration of the pollutant in plant communities and discusses measures to enhance phytoremediation of hydrocarbon spills. As phytoremediation measures, it is proposed to use a microbial complex of hydrocarbon-oxidizing and nitrogen-fixing microorganisms, planting genetically modified plants at the site of an emergency spill.

Keywords: petroleum products, migration, phytoremediation, plant communities, accidental hydrocarbon spills.

Сайфиев Руслан Ринатович

Кандидат биологических наук, доцент,
Тюменский Индустриальный Университет
sajfievrr@tyuiu.ru

Гаевая Елена Викторовна

Кандидат биологических наук, доцент,
Тюменский Индустриальный Университет

Сивков Юрий Викторович

Кандидат биологических наук, доцент,
Тюменский Индустриальный Университет

Аннотация. Объективные причины роста добычи нефти и производства нефтепродуктов по всему миру создали остро стоящую перед экологами проблему токсичности углеводородных загрязнений. Возможные аварийные разливы нефтепродуктов являются широко распространенной проблемой в достижении устойчивости экосистем. Загрязнение природных экосистем нефтепродуктами вызывает серьезную озабоченность, поскольку оно разрушает структуру почвы, снижая ее способность к биологическому разложению, оказывает токсичное влияние на биоту и здоровье человека.

Для прогнозирования степени воздействия возможных аварийных разливов нефтепродуктов на компоненты природной среды, необходимо знать механизмы фильтрации и миграции нефтяных загрязнителей.

В работе показаны стадии миграции загрязнителя в растительных сообществах, обсуждены меры активизации фиторемидации разливов углеводородов. В качестве мер фиторемидации предложено использования микробного комплекса углеводородокисляющих и азотфиксирующих микроорганизмов, высаживание генномодифицированных растений на месте аварийного разлива.

Ключевые слова: нефтепродукты, миграция, фиторемидация, растительные сообщества, аварийные разливы углеводородов.

Введение

Рост урбанизации, увеличение населения планеты, рост экономик требует увеличения энергетических ресурсов, расширения добычи и переработки нефти, что сопряжено с вопросами ее транспортировки и производства широкого спектра нефтепродуктов, которые в свою очередь имеют риски аварийных ситуаций, разлива сырой нефти и нефтепродуктов, являющихся источником существенного загрязнения окружающей среды [1].

Аварийные разливы нефтепродуктов на сухопутные территории являются относительно обычным явлением вследствие человеческого фактора, износа эксплуата-

ционных скважин, прорывов трубопроводов и автоцистерн, транспортными авариями, а также природными катаклизмами, обуславливающими эти поломки. Эксперты оценивают средний объем безвозвратных потерь нефти и нефтепродуктов до 7 % от всего количества добытого ресурса вследствие аварийных разливов, что не только наносит вред природной среде, но и приводит к материальным потерям [2].

Нефтепродукты признаны одними из самых распространенных и опасных техногенных загрязнителей. Последствия загрязнения природных экосистем (почвенных и водных) нефтепродуктами имеют негативные последствия для биоты. Это объясняется способностью углеводородов образовывать токсичные соединения

в почвах, поверхностных и подземных водах, вызывать непосредственную деградацию почвенного покрова на участках аварийного разлива, перемещаться по звеньям трофических цепей, в результате чего нефтепродукты и их метаболиты зачастую обнаруживаются в различных объектах биосферы [3]. Влияние загрязнений нефтепродуктами на окружающую среду очень велико и носит комплексный характер [4]. При непринятии своевременных мер к устранению аварийного загрязнения оно может распространиться в глубокие слои почвы, оседать на дне водоемов, что может нарушить газовый обмен животного и растительного мира [5].

Дальнейшее перемещение нефтяных загрязняющих компонентов связана с солюбилизацией, биодеградацией, адсорбцией/десорбцией отложений и взвешенных частиц, разбавлением в водоемах, накоплением в клетках организмов и трансформацией [6].

Организмы проявляют выраженную способность накапливать в своих клетках и тканях загрязняющие вещества и продукты их трансформации [7], которые могут оказать как прямое ингибирующее влияние на метаболические особенности организма, так и не прямое, обусловив формирование патогенных мутаций [8]. Мутационный эффект нефтезагрязнений доказан и продемонстрирован на примере биотестирования с использованием прокариотических и эукариотических организмов [9].

Большую роль в миграционных процессах загрязняющих веществ играет растительное сообщество, имеющее тесные взаимосвязи с почвой и с микроорганизмами почвы, ризосферы и микоризы [9].

Взаимодействие растений и микроорганизмов имеет решающее значение для борьбы с нефтяным загрязнением в природных экосистемах. В составе данного сотрудничества происходит преобразование и восстановление экосистемы, пострадавшей от нефтяного загрязнения. Растения и микроорганизмы совместно разлагают углеводороды благодаря уникальным ферментативным способностям, чем способствуют естественному очищению экосистем и устойчивости их развития даже в условиях аварийного загрязнения. Данное партнёрство может повышать эффективность проводимых мероприятий по фиторемедиации [11]. С другой стороны, в условиях тотального загрязнения природных экосистем, высокой интенсивности и масштабы химического и нефтяного загрязнения на территориях, подвергнутых разливам нефтепродуктов и деградации, возникает необходимость исследования процессов биогеохимической миграции загрязняющих веществ в системе «почва — растение» [12, 13]. Для прогнозирования степени воздействия возможных аварийных разливов нефтепродуктов на компоненты природной среды, необходимо знать механизмы фильтрации и миграции не-

фтяных поллютантов. Результаты таких исследований дают возможность выявить и спрогнозировать негативные изменения в природных экосистемах, разработать научно обоснованные рекомендации для оптимизации состояния растений и почвенного покрова при разливах нефтепродуктов.

Материалы и методы

Объектом исследования были выбраны работы зарубежных и отечественных авторов посвященные вопросам миграции нефтяных поллютантов в растительных организмах и сообществах.

В ходе исследования применялись методы систематизации и сравнительного анализа. На основе анализа литературных данных выделены специфические особенности миграции поллютантов в растительном покрове вследствие возникновения аварийных ситуаций при разливе нефтепродуктов и предложены меры по локализации загрязнений нефтепродуктами и фиторемедиации поврежденных растительных сообществ.

Результаты и обсуждение

Естественное разложение нефтезагрязнений, полициклических углеводородов, стойких высокомолекулярных соединений в почвах длится много лет. Другов Ю. С. В своей работе показал, что скорость самоочищения почв доходить до 10 лет [14]. Выделяют три стадии процесса самоочищения почвы: первая стадия — это выщелачивание, выветривание и распределение нефтяных углеводородов по почвенному профилю; вторая стадия сводится к биологической трансформации метанонафталина и ароматических углеводородов; третья стадия — разложение полициклических ароматических соединений. На основании натурных исследований, проводимых исследователями экспериментов и опубликованных результатов, были систематизированы сведения о механизмах миграции нефтезагрязнений.

Загрязнение почвы неизбежно приводит к загрязнению прилегающих сред. После аварийного разлива нефтепродуктов авторы визуально отмечают угнетение растительности, возникновение стойкого характерного масляного запаха, изменение цвета почвы. Эти изменения сохраняются в течение нескольких дней, при этом происходит интенсивное испарение легкой фракции углеводородов.

Спустя неделю, на месте разлива наблюдается полное разрушение всех почвенных микроорганизмов и животных; ингибирование роста, депрессия надземной и корневой воздушно-сухой биомассы растений; ощущается характерный запах нефтепродуктов; остается четкое маслянистое пятно глубиной до 0,40 м. Для этого периода ха-

рактально значительное остаточное содержание нефтепродуктов в почве, которая фиксируется лабораторными исследованиями. При этом авторы экспериментальных исследований утверждают, что остаточное содержание нефтепродуктов в почвах двух участков с различающимся разливом нефти по объему в два раза, на этом периоде была одинаковой [15]. Эти результаты объясняются процессами сорбции нефтепродуктов частицами почвы и растительными объектами. Растения способствуют сорбции загрязнений, выделяя химические вещества, иммобилизующие загрязнения в области корня [16].

В экспериментах выращивания кукурузы (однодольное растение с мочковатой корневой системой) и эспарцета (двудольное растение со стержневой корневой системой) в период от 18 до 100 дней после разлива был обнаружен эффект фиторемедиации. Уровень углеводов в пробах почвы снижался на 55–95 %, при этом более активно подвергалась утилизации смесь углеводов в сравнении с керосином. Установлено, что одним из основных механизмов фиторемедиации является стимуляция микробиологической активности почвы [17].

Испарение легких фракций, обладающих наибольшим токсическим эффектом и оказывающими максимальный ингибирующий эффект на биоту, приводит к повышению численности углеводородокисляющих микроорганизмов. В зависимости от почвенно-климатических условий и состава нефти этот период варьирует от нескольких месяцев до 1,5 лет [18]. В этот период рост растений после разлива нефтезагрязнений подавлен, присутствует стойкий запах углеводородов, почва имеет четкие границы залегания нефтепродуктов [14].

В основе фиторемедиации лежат процессы жизнедеятельности растений, которые ведут к деградации загрязнителя, его удалению (через аккумуляцию или испарении) или иммобилизации. В основе фитоаккумуляции лежит захват нефтезагрязнений корнями растения и его последующие перенос и накопление в побегах растения и его листьях (фитоэкстракция) [16]. Некоторые растения проявляют особую способность к сорбции нефтепродуктов, активации углеводородокисляющих микроорганизмов и, как следствие, высокой эффективности фиторемедиации загрязненных почв. К таким растениям относятся тополь дельтовидный, морковь обыкновенная, соя, просо прутьевидное, колосняк канадский, соргаструм поникающий, овсяница красная и другие растения [19]. Хорошие результаты в экспериментальной фиторемедиации показала галега восточная, которая совместно с бактериями *Rhizobium galegae* и бактериями, стимулирующими рост растений путем азотфиксации, способна восстанавливать почвы, загрязненные нефтепродуктами [20].

Подобно фитоэкстракции растения развивают корневые системы, потребляющие загрязнений, обеспечи-

вая ризофильтрацию загрязненной почвы. Окончательным этапом фиторемедиации является фитодеструкция метаболитов нефтяных ксенобиотиков внутри побегов растений благодаря активному синтезу ферментов, усиливающих окислительное разложение углеводов.

В целом, следует отметить, что загрязнение нефтепродуктами почвенных экосистем снижает для растений доступность воды и питательных веществ, уплотняет почву, напрямую влияя на рост и развитие растений. Могут наблюдаться различные аспекты фитотоксичности, которые варьируются в зависимости от характеристик почвы и обитающих в данном месте растений. Загрязненная почва также оказывает негативное воздействие на биомассу растения, изменяя дыхание листьев и корней. Исследование влияния загрязнения углеводородами на рост и развитие растений может помочь в сохранении видов растений и в совершенствовании таких методов, как фиторемедиация и биомониторинг.

В качестве мер интенсификации фиторемедиационной способности растительных сообществ могут применяться препараты бактерий, актинобактерий и грибов, обладающих выраженной способностью ферментировать углеводороды, защищающих корневую систему растений от токсичного эффекта нефтезагрязнений и усиливающих питание и дыхание корневых систем за счет азотфиксации. Кроме того, на территориях, подвергнутых значительным объемам загрязнений вследствие разливов нефтепродуктов, для фиторемедиации могут быть высеяны семена генномодифицированных растений, способных выживать при высоких концентрациях углеводородов.

Заключение

Токсичность и мутагенность нефтяных загрязнений для живых организмов не вызывает у исследователей сомнений. Однако, исследования ремедиационной способности растений требует проведения дополнительных изысканий и постановки экспериментов. Миграция нефтяных загрязнений в растительном покрове вследствие возникновения аварийных ситуаций при разливе нефтепродуктов происходит по нескольким векторам: от корней к листьям растений, от поверхности корня в ризосферу. От ризосферы растения метаболиты углеводов диффундируют в почву, активируя сообщество углеводородокисляющих микроорганизмов, совместные синтетические и энзиматические усилия которых с растениями способствуют снижению негативного эффекта, разрушению и окислению углеводов.

Изучение процессов трансформации углеводов в различных условиях окружающей среды будет способствовать формированию и расширению знаний при проведении восстановительных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Xie G. Does Oil Production Increase Pollution? / G. Xie // Thesis for: International Political Economy Advisor: George Shambaugh. — 2019.
2. Сидоров Д.В. Влияние аварийных разливов нефти на почвы/ Д.В. Сидоров// Вестник науки. 2020. №12 (33). С. 161–163.
3. Никонов А.Н., Потапова С.О. Нефтяная промышленность, как один из серьезных загрязнителей окружающей среды // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. №9. С. 666–673.
4. Двадненко М.В., Маджигатов Р.В., Ракитянский Н.А. Воздействие нефти на окружающую среду // Международный журнал экспериментального образования. 2017. № 3–1. С. 89–90.
5. Marquès M. Health risks for the population living near petrochemical industrial complexes. 2. Adverse health outcomes other than cancer / M. Marquès, J.L. Domingo, M. Nadal et al // Sci. Total Environ. 2020. 730. P. 139122.
6. Валиев В.С., Иванов Д.В., Шагидуллин Р.Р. Нефтяные углеводороды в донных отложениях: состав, идентификация, механизмы трансформации (обзор) // Российский журнал прикладной экологии. 2020. №1 (21).
7. Yang Y. Sharply and simultaneously increasing pollutant accumulation in cells of organisms induced by rare earth elements in the environment of Nanjing/ Y. Yang, M. Cheng, Q. Zhou, L. Wang // Chemosphere. 2022. 311(Pt 1). P.136823
8. Исмаилов Н.М., Гасимова А.С. Самоочищающая способность почв от нефти и нефтепродуктов в зависимости от структуры углеводородов // Аридные экосистемы. 2016. №4 (69). С. 73–80.
9. Alabi O.A. Comparative chemical analysis, mutagenicity, and genotoxicity of Petroleum refinery wastewater and its contaminated river using prokaryotic and eukaryotic assays / Okunola Adenrele Alabi // Comparative Study Protoplasma. 2023. 260(1). P.89–101.
10. Прилепский А.С. Влияние антропогенной деятельности на почвенные микроорганизмы/ А.С. Прилепский // Научный журнал молодых ученых. 2023. №4 (34). С. 23–28.
11. Hassan M.H. Microbial-Plant Interactions and Their Role in Mitigating of Oil Pollution: A Review/ M.H. Hassan, A. Sarwari, A.W. Monib, P. Niyazi // European Journal of Theoretical and Applied Sciences. 2024. 2(2). P.11–22.
12. Михайлова, Т.А. Биогеохимическая миграция элементов-загрязнителей в урбэкоисистеме/ Т.А. Михайлова, О.В. Шергина // Теоретическая и прикладная экология. 2010. №3. С. 27–32.
13. Gong P. Persistent organic pollutants cycling in forests/ P. Gong, H. Xu, C.W. Wang, Y. Chen, L. Guo, X. Wang // Nature Reviews Earth & Environment. 2021. 2. P.182–197
14. Sivkov Y. Study of Oil Migration Processes in Meadow Soils /Y. Sivkov, A. Nikiforov, N. Fefilov// Journal of Ecological Engineering Received. — 2019. 20, 5. P. 23–26
15. Другов Ю.С. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов: практическое руководство / Ю.С. Другов, А.А. Родин. — 3-е изд., электрон. — Москва: Лаборатория знаний, 2020. — 273 с. — Текст: электронный.
16. Сакаева, Х.А. Комплексное воздействие растительности на улучшении почв загрязненных нефтью и нефтепродуктами / Х.А. Сакаева// Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 159–163.
17. Шаронова, Н.Л. Эффект фиторемедиации на выщелоченном черноземе, загрязненном жидкими углеводородами / Н.Л. Шаронова, И.А. Яппаров, А.М. Ежкова, Г.Ф. Рахманова // Агрохимический вестник. 2015. № 6. С. 22–25.
18. Баландина А.В., Кузнецов Д.Б., Бурдова Л.В. Самовосстановление нефтезагрязненных почв // Успехи современного естествознания. 2014. № 4. С. 85–88.
19. Юнусова Д.М., Елизарьева Е.Н. Очистка почвы от нефтяных загрязнений с помощью растений // Форум молодых ученых. 2016. №4. С. 1110–1113.
20. Kaksonen, A. Rhizosphere effect of Galega orientalis in oil-contaminated soil/ A. Kaksonen, M.M. Jussila, K. Lindström, L. Suominen // Soil Biology and Biochemistry. 2006. 38(4). P.817–827.

© Сайфиев Руслан Ринатович (sajfievr@tyuiu.ru); Гаева Елена Викторовна; Сивков Юрий Викторович
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»