



УДК 504.064:543

## ВЛИЯНИЕ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ПОЧВУ И СПОСОБЫ ЕЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

### INFLUENCE OF OIL POLLUTION ON SOILS AND METHODS OF THEIR REMEDIATION

**Кочетова Жанна Юрьевна**

кандидат химических наук, доцент,  
доцент кафедры физики и химии,  
ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия  
им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

**Кравченко Андрей Альбертович**

кандидат технических наук, доцент,  
начальник кафедры эксплуатации и ремонта средств  
аэродромно-технического обеспечения полетов,  
ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия  
им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

**Верхов Сергей Владимирович**

курсант,  
ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия  
им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»  
zk\_vva@mail.ru

**Аннотация.** В связи с серьезными проблемами нефтяного загрязнения почв, возникающего при геологоразведочных и опытно-конструкторских работах, в статье рассмотрены составы и свойства нефтяных загрязнений, исследованы некоторые методы восстановления нефтезагрязненных почв, сопоставлены и проанализированы преимущества и недостатки различных технологий. В соответствии с данными предыдущих исследований и существующими проблемами, сделан прогноз развития методов физико-химической реабилитации почв, их комплексного применения с методами био- и фиторемедиации.

**Ключевые слова:** нефтяное загрязнение, почва, загрязнения, рекультивационные технологии.

**Kochetova Zhanna Jurievna**

PhD, Associate Professor  
of physics and chemistry,  
Military educational  
and scientific center air force  
«N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin  
Air Force Academy»

**Kravchenko Andrey Albertovich**

PhD, Head of the Department  
of operation and repair of airfield  
and technical support of flights,  
Military educational  
and scientific center air force  
«N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin  
Air Force Academy»

**Verhov Sergey Vladimirovich**

Cadet,  
Military educational  
and scientific center air force  
«N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin  
Air Force Academy»  
zk\_vva@mail.ru

**Annotation.** In connection with the serious problems of oil pollution of soils arising from exploration and development work, the article discusses the composition and properties of oil pollution, investigated some methods of recovery of oil-contaminated soils, compared and analyzed the advantages and disadvantages of various technologies. In accordance with the data of previous studies and existing problems, the forecast of development of methods of physical and chemical rehabilitation of soils, their complex application with the methods of bio- and phytoremediation.

**Keywords:** oil pollution, soil, pollution, remediation technologies.

По прогнозам, с повышением уровня индустриализации и урбанизации во всем мире спрос на нефтепродукты будет непрерывно расти [1]. В Российской Федерации сложилось шесть нефтегазоносных районов: Западно-Сибирский, Тимано-Печорский, Волго-Уральский, Северо-Кавказский, Восточно-Сибирский, Тихоокеанский. Разведанный запас нефти в России составляет 14 млрд тонн. Если учитывать сланцевую нефть и углеводороды из битуминозного песка, то запас российской нефти достигает 100 млрд тонн, что составляет 31 % от мировых [2].

В процессе разведки, разработки, сбора, переработки, хранения и реализации нефти неправильная эксплуатация и техническое обслуживание оборудования приводят к разливам и выбросам нефтеуглеводородов (НУВ) [3]. По оценке экс-министра природных ресурсов и экологии С.Е. Донского, для модернизации промышленной сети нефтепроводов нефтяным компаниям необходимо вложить около 25 % от своей чистой прибыли [4]. Можно выделить две основные причины, вследствие которых ситуация с нефтяными разливами не меняется: 1) законодательство имеет ряд пробелов, которые часто позволяют или способствуют уходу нефтяных компаний от ответственности; 2) частая неэффективность или бездействие государственных контрольно-надзорных органов.



Нефть – сложная смесь углеводородов (насыщенных и ароматических) и неуглеводородных соединений. Насыщенные УВ имеют низкую химическую активность из-за прочных одинарных С-Н и С-С связей. Температуры кипения насыщенных УВ относительно низки, поэтому они постепенно исчезают из почвы путем фотосинтеза и испарения. Молекулярные структуры ароматических УВ сложны, их более высокие температуры кипения затрудняют удаление ароматических соединений из почвы. Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – типичные стойкие органические соединения, которые широко распространены в различных экологических системах. Из них 16 были включены Управлением по охране окружающей среды США и ЕС в список приоритетных загрязняющих веществ, наносящих значительный вред природной среде.

К неуглеводородной группе относят соединения: кислородсодержащие (насыщенные, ненасыщенные, ароматические кислоты, эфиры и др.); серосодержащие (меркаптаны, сероводород, моно- и диоксиды серы, производные тиофена и др.); азотсодержащие (азотистые основания и нейтральные азотистые соединения); смолы и асфальтены (полициклические или нафтеновые ароматические ядра); металлоорганические. Неуглеводородные соединения нефти нерастворимы в воде, температуры их плавления и кипения высоки, поэтому они трудно извлекаются из почвы, что приводит к ее загрязнению и изменению свойств. Остаточный состав нефтезагрязнителей почвы главным образом представлен полициклическими ароматическими УВ и неуглеводородными соединениями. В состав неуглеводородных соединений включено небольшое количество (на уровне ppb) тяжелых металлов, таких как ванадий и никель. Сырая нефть, пластовые и сточные промышленные воды содержат также  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{MgCl}_2$  и  $\text{NaCl}$  (в сточных водах до  $10^3\text{--}14 \times 10^4$  мг/дм<sup>3</sup>), что вызывает засоление почвы. По мнению Н.П. Солнцева, воздействие минерализованных вод на почвы более сильно, чем влияние нефти и нефтепродуктов [5].

Нефть из-за малой плотности, высокой вязкости и низкой эмульгирующей способности легко впитывается в почву, снижая ее проницаемость и пористость. Из-за высокого содержания в нефти углерода и незначительного – азота, изменяется состав и структура органического вещества почвы, С-Н- и С-Р-баланс, солесодержание, кислотность, потенциал и электропроводность. В чистой почве микроорганизмы, способные противостоять нефтяному загрязнению, не развиваются, но при разливах нефти для адаптации к среде они вырабатывают определенную ферментную систему и постепенно формировать доминирующую популяцию с симбиотическим или синергетическим эффектом. Ряд исследований показал, что УВ-загрязнение изменяет микробную популяцию, состав, структуру сообщества и ферментную систему в почве [3].

Нефтезагрязнение почвы препятствует нормальному росту сельскохозяйственных культур, снижает скорость прорастания семян, устойчивость растений к вредителям и болезням. Полициклические ароматические УВ оказывают канцерогенное, мутагенное, тератогенное и другие токсические эффекты. Они попадают в тела людей и животных через органы дыхания, кожу и пищу, нарушая в большей степени нормальную функцию печени и почек. Наконец, нефтяные загрязнители в почве влияют не только на педосферу, но и на воздушную и водную среды [3].

В последние годы проводятся многочисленные исследования по восстановлению нефтезагрязненных почв. К методам ликвидации последствий нефтяных загрязнений относятся: механические, физико-химические, биологические. Механические способы – откачка нефти в емкости, удаление и замена почвы – малоэффективны, так как не обеспечивают требуемую степень очистки почв при просачивании нефтезагрязнений, поэтому их применяют только для свежих разливов [6]. Традиционные физико-химические методы, включающие сжигание, промывку с поверхностно-активными веществами или растворителями, термическую десорбцию, химическое окисление, направлены на изменение свойств почвы с последующим контролем уровня загрязняющих веществ. Эти методы более эффективны, чем механические, однако являются не безопасными для окружающей среды вследствие вторичного загрязнения почв [7]. Для их осуществления требуются химические реагенты, специальное оборудование, они являются дорогостоящими и не приемлемы для ликвидации загрязнений на обширных территориях. Чаще применяют сорбционные методы, основанные на поглощении загрязняющего вещества пористой структурой сорбента (торф, сапропели, отходы переработки сельскохозяйственных культур и др.). Отработавший сорбент затем либо извлекается для дальнейшей утилизации, либо остается в почве, нарушая ее экосистему.

Технология биоремедиации имеет много преимуществ перед выше перечисленными, в том числе она экономична, проста, экологически мало опасна, высоко эффективна при извлечении из почв некоторых поллютантов. В зависимости от типа организма, технологию биоремедиации в целом можно разделить на три типа: микробная рекультивация, фиторемедиация и растительно-микробная технология.

В настоящее время известно более 200 видов микроорганизмов, способных разлагать нефтяные загрязнители. В зависимости от источника микроорганизмов, их разделяют на аборигенные, чужеродные и генно-инженерные бактерии. Из этих трех типов аборигенные микроорганизмы наилучшим образом способны адаптироваться к загрязнению нефтью и сохранять высокую активность к де-



градации нефтезагрязнителей, поэтому они наиболее широко применяются в микробной ремедиации. Однако, количества аборигенных микроорганизмов не достаточно для удовлетворительной степени очистки почв при разливах нефти. Поэтому на практике эти виды бактерий предварительно выделяют из загрязненной почвы, проводят биостимуляцию образцов естественной микрофлоры в лабораторных или промышленных условиях, а затем «активизированную» микрофлору вносят в загрязненный объект одновременно с необходимыми добавками, повышающими эффективность утилизации загрязнителя.

Фиторемедиация – это устранение остатков нефти путем высева нефтестойких трав (клевер ползучий, щавель, осока и др.), активизирующих почвенную микрофлору. Метод основан на образовании сложной системы, включающей растения, микроорганизмы, элементы окружающей среды, и является окончательной стадией рекультивации загрязненных почв. Фиторемедиацию сравнивают с мощным «живым очистителем», состоящим из «солнечных батарей» и «водяных насосов», «реакторов» и «микробных преобразователей», «почвенных фильтров» [8]. Основные механизмы очищения почвы от нефтяного загрязнения: абсорбция НУВ корнями или адсорбция в прикорневой зоне, накопление их в растениях или в прикорневой зоне; разрушение поллютантов внутри растений или под действием корневых выделений, которые стимулируют микробную деятельность в зоне корня и усиливают биологическое преобразование. Растения способны также выкачивать из почвы НУВ вместе с водой при поддержании своего водного баланса. Эта способность может применяться для очистки почвы, но является полумерой, так как загрязняющие вещества выводятся в атмосферу в процессе транспирации.

Растения в процессе фотосинтеза аккумулирует солнечную энергию в углеводах (сахарах). До 20 % запасенной энергии тратится растением на синтез и выделение сахаров, спиртов, органических кислот в прикорневую зону, что способствует развитию микроорганизмов. Непосредственно рядом с поверхностью корней в 1 см<sup>3</sup> содержится более 100 млрд. микроорганизмов, а на расстоянии 10 см их количество уменьшается в 5–7 раз. Комбинированная система микробов и растений повышает эффективность удаления нефтяных загрязняющих веществ в почве.

Как было отмечено выше, биоремедиация имеет много преимуществ, однако при практическом применении она сильно зависима от естественных условий окружающей среды, вида нефтяного загрязнителя и типа почвы, масштабов разлива. Кроме того, микробы не могут деградировать все нефтезагрязняющие вещества в почве. Сложность состава нефти и нефтепродуктов, включающих тяжелые металлы; тугоплавкие ПАУ, коллоиды, смолы и асфальтены; нерастворимые металлические соединения, значительно усложняют рекультивацию почв.

Таким образом, для восстановления нефтезагрязненных почв необходим комплексный подход. В настоящее время применяют главным образом физико-химические методы регенерации почв (термическая обработка, выщелачивание) для быстрой обработки даже широкомасштабных загрязнений. Некоторые другие технологии обработки, более экономичные, экспрессные и экологичные, применяются мало вследствие недостаточной изученности процессов трансформации нефтезагрязнений в естественных условиях. Технология биоремедиации, несомненно, достигла определенных успехов. Установлено, что индигенные микроорганизмы могут обеспечить высокую эффективность разложения НУВ, но их деятельность в значительной мере зависит от условий естественной окружающей среды. Поэтому вопрос выделения и культивирования эффективных in-situ биоразлагающих микроорганизмов остается актуальным. Что касается использования фиторемедиации, то сложный состав нефтяных загрязняющих веществ, включающий в своем остатке высокомолекулярные ПАУ и неуглеводородные соединения, не исключает засоление почв и загрязнение ее тяжелыми металлами. Эффективное применение метода фиторемедиации возможно только в совокупности с физико-химическими методами и при правильном выборе видового состава растений, оптимально подходящих для устранения данного типа загрязнения и соответствующих почвенно-климатическим условиям; при разработке оптимальной схемы посадки и проведении необходимых агротехнических мероприятий.

### Литература:

1. Спрос на нефть : учебник Форекс. – URL : <http://enc.fxeuroclub.com/> (дата обращения 09.01.2019).
2. Месторождения нефти и газа в России // География. – URL : <https://geographyofrussia.com/mestorozhdeniya-nefti-i-gaza-rossii/> (дата обращения 09.01.2019).
3. Кочетова Ж.Ю. Экомониторинг нефти и нефтепродуктов в объектах окружающей среды. – Воронеж : ВУНЦ ВВС ВВА, 2016. – 204 с.
4. Доклад министра природных ресурсов и экологии РФ С.Е. Донского на заседании комиссии по вопросам стратегии развития топливно-энергетического комплекса и экологической безопасности. – 25.02.2014. – URL : <http://www.mnr.gov.ru/mnr/minister/statement/detail.php?ID=133886&print=Y> (дата обращения 09.01.2019).
5. Герасимова М.И., Строгонова М.Н. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. – М. : Изд-во Ойкумена, 2003. – 270 с.



6. Надеин А.Ф. Очистка воды и почвы от нефтезагрязнений // Экология и промышленность России. – 2001. – С. 24–26.
7. Королев В.А. Очистка грунтов от загрязнений. – М. : МАИК «Наука / Интерпериодика», 2001. – 365 с.
8. Wang J., Zhang Z.J. The rhizosphere effect in phytoremediation of the petroleum polluted soil // Journal of Petrochemical Universities. – 2008. – 21 (2). – P. 36–40.

#### References:

1. Demand for oil // Forex Tutorial. – URL : <http://enc.fxeuroclub.com/> (accessed 09.01.2019).
2. Oil and gas fields in Russia // Geography. – URL : <https://geogra-phyofrussia.com/mestorozhdeniya-nefti-i-gaza-rossii/> (accessed 09.01.2019).
3. Kochetova Zh.Yu. Environmental Monitoring of oil and petroleum products in environmental objects. – Voronezh, 2016. – 204 p.
4. Report of the Minister of natural resources and environment Of the Russian Federation S.E. Donskoy at a meeting of the Commission on the development strategy of the fuel and energy complex and environmental safety. – 25.02.2014. – URL : <http://www.mnr.gov.ru/mnr/minister/statement/detail.php?ID=133886&print=g> (accessed 09.01.2019).
5. Gerasimova M.I., Strogonova M.N. Anthropogenic soils: Genesis, geography, recultivation. – М. : Publishing house of oikumen, 2003. – 270 p.
6. Nadezhda A.F. Water and soil Purification from oil pollution // Ecology and industry of Russia. – 2001. – P. 24–26.
7. Korolev V.A. Cleaning of soil from pollution. – М. : МАИК «Наука / Interperiodica», 2001. – 365 p.
8. Wang J., Zhang Z.J. The rhizosphere effect in phytoremediation of the petroleum polluted soil // Journal of Petrochemical Universities. – 2008. – 21 (2). – P. 36–40.