

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОСОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОЧВ И ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

© 2024 А.В. Васильев

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 21.12.2024

В настоящей статье проведён анализ особенностей использования биосорбентов как эффективного средства для очистки почв и водных объектов от нефтяных загрязнений. Проведен обзор патентов и технических решений по использованию биосорбентов для очистки почв и водных объектов от нефтяных загрязнений, рассмотрены их достоинства и недостатки. Систематически патенты были разделены на три группы: очистка почв от нефтяных загрязнений, очистка водных объектов, комплексная очистка почв и водных объектов от нефтяных загрязнений. Разработаны комплексные биосорбенты, которые предлагается вносить в почву, загрязнённую нефтью и нефтепродуктами. При дальнейшей разработке эффективных биосорбентов особое внимание следует обратить на улучшение сорбционных свойств сорбентов (адсорбционная ёмкость, нефтеёмкость, скорость адсорбции), их комплексное использование с биодеструкторами и др. Использование результатов исследований позволит создавать более эффективные биосорбенты, позволяющие достигать значительного снижения негативного воздействия нефтяных загрязнений на человека и окружающую среду.

Ключевые слова: нефтяные загрязнения, биосорбенты, почва, водные объекты, негативное воздействие, очистка, методы, технические решения, анализ

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-6-164-174

EDN: LQBLEY

Работа выполнена при поддержке Губернского гранта Самарской области в области науки и техники

1. ВВЕДЕНИЕ

Нефть является экологически опасным веществом. При попадании нефти и её компонентов в почву и водоемы происходит изменение физических, химических и биологических свойств и характеристик природной среды обитания, нарушается ход естественных биохимических процессов. В ходе трансформации углеводородов нефти могут образоваться стойкие к микробиологическому расщеплению ещё более токсичные соединения, обладающие канцерогенными и мутагенными свойствами.

Нефть и нефтепродукты в естественных условиях разлагаются полностью в течение многих лет, нанося природе значительный ущерб. Их негативное воздействие на почвенный покров и водоемы может вызывать целый ряд последствий. В результате может быть нанесен ущерб здоровью человека, происходит гибель и деградация различных организмов, растений и пр. [1-4, 7, 8, 14]. При этом, несмотря на принимаемые меры борьбы с загрязнением окружающей среды, количество техногенных катастроф при транспортировке нефти в России практически не снижается.

*Васильев Андрей Витальевич, доктор технических наук, профессор, директор Поволжского ресурсного центра инженерной экологии и химической технологии Самарского государственного технического университета.
E-mail: vasilyev.av@samgtu.ru*

При аварийных разливах нефти происходит быстрое и устойчивое загрязнение больших площадей водных акваторий, в том числе и придонной зоны, а также грунтовых вод и водосточных пластов [1-6, 9-12, 15, 16]. Аварийный разлив нефти тяжелее всего воздействует на ихтиофауну, обитающую в прибрежной зоне, особенно на дне или на поверхности водоема. Особенно страдают водные организмы от образующейся на водной поверхности нефтяной пленки. Таким образом, защита окружающей среды от разливов нефти и нефтепродуктов становится одной из важнейших экологических проблем.

Очистка почв и водных объектов от нефтепродуктов, устранение последствий сбросов или аварийных разливов нефти, а также ликвидация последствий загрязнений - это комплексная научно-техническая задача, имеющая многоплановый характер [1, 3-10, 12, 13]. Для того, чтобы полностью восстановить жизнеспособность загрязненного нефтью участка или водоема, необходимо максимально полно очистить почву и воду от нефтяного загрязнения.

Одним из методов качественной очистки почвы и воды от нефтяных загрязнений является использование биосорбентов и биопрепаратов.

Настоящая статья посвящена анализу использования биосорбентов для очистки почв и водных объектов от нефтяных загрязнений.

2. ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОСОРБЕНТОВ КАК ЭФФЕКТИВНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОЧВ И ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Очистка почв и водоёмов от нефтяных загрязнений представляют собой сложную задачу и требует высоких затрат. Любой из современных способов сбора пролитых нефти и нефтепродуктов (выжигание, механический сбор, химические и физико-химические методы) не может обойтись без стадии биологической очистки. Тонкие пленки нефти, оставшиеся после применения физико-химических приемов, возможно удалить лишь с применением биологических объектов. Биоразложение углеводов - ведущий фактор трансформации загрязняющих экосистему веществ.

Сорбенты (лат. *sorbens* - поглощающий) – это твердые тела или жидкости, избирательно поглощающие (сорбирующие) из окружающей среды газы, пары или растворённые вещества. В зависимости от характера сорбции различают адсорбенты - тела, образующие с поглощённым веществом твёрдый или жидкий раствор, адсорбенты - тела, поглощающие (сгущающие) вещество на своей поверхности, и химические поглотители, которые связывают поглощаемое вещество, вступая с ним в химическое взаимодействие. Отдельную группу составляют ионообменные сорбенты (иониты), поглощающие из растворов ионы одного типа с выделением в раствор эквивалентного количества ионов другого типа.

Биосорбенты (*biosorbents*) [греч. *bio(s)* жизнь и лат. *sorbens* – поглощающий] - микроорганизмы, которые или сами, или в контакте с подложкой (напр., с гранулами из инертного материала) осуществляют экстракцию (напр., из руды) и/или концентрацию металлов или органических компонентов с помощью селективного удержания этих веществ.

Биосорбенты в последнее время получили широкое применение для очистки различных видов загрязнений гидросферы, атмосферы и литосферы [1, 2, 9-14]. Одним из возможных применений биосорбентов является очистка почв и водных объектов от нефтяных загрязнений. Использование биосорбентов позволяет:

- локализовать нефтяные загрязнения;
- активизировать микробиологическое разложение;
- обогатить почву минеральными компонентами, способствовать структурированию и аэрированию почв;
- активизировать естественные процессы самоочищения;
- повысить биodeградацию загрязнений почвенными микроорганизмами.

В настоящее время в мире производится или используется для ликвидации разливов нефти более трехсот различных сорбентов, которые подразделяют на неорганические, природные органические и органоминеральные, а также синтетические. Качество сорбентов определяется, главным образом, их емкостью по отношению к нефти, степенью гидрофобности, плавучестью после сорбции нефти, возможностью десорбции нефти, регенерации или утилизации сорбента. Перспективным видом сорбентов являются органоминеральные и природные органические сорбенты.

Поглощение нефти при локализации и ликвидации разливов на поверхности воды и суши гидрофобными порошковыми материалами сводится не только к процессу поверхностной адсорбции. Этот процесс доминирует только в случае очистки поверхности воды от тонких мономолекулярных плёнок нефти и нефтепродуктов. В случае применения порошковых адсорбентов для очистки сильнозагрязнённой нефтью поверхности воды, наряду с процессом адсорбции, происходит сгущение нефти. При контакте олеофильных частиц с нефтью образуются мицеллы, образующие своеобразную сетчатую структуру, увеличивающую вязкость суспензии.

Впитывание нефти в адсорбент протекает в два этапа: начальная быстропотекающая адсорбционная стадия, при которой нефть смачивает поверхность адсорбента; стадия медленного проникновения нефти в поры адсорбента и заполнения пустот под действием капиллярных сил.

В технологии очистки водной поверхности от нефтяных загрязнений перспективно использовать пористые сорбенты. Эти сорбенты содержат различные по размерам и форме поры, существенно влияющих на результаты сорбционных процессов.

Количество поглощаемой сорбентом нефти, прежде всего, зависит от свободной площади сорбента и свойств поверхности. Увеличение площади сорбента может быть достигнуто за счёт измельчения материала и увеличения пористости. Однако, предел измельчения частиц с целью увеличения их поглотительной способности по отношению к нефти и нефтепродуктам не бесконечен. С уменьшением размера частиц снижается сила воздействия частицы на поверхность адсорбируемой жидкости, и при некотором очень малом размере частица не смачивается жидкостью и, соответственно, не происходит процесса адсорбции. Реальный предел измельчения в технологии производства адсорбентов составляет не менее 0,1 мкм.

Для производства нефтяных сорбентов используется большое число материалов. Их классификация может быть осуществлена:

- по исходному сырью: неорганические сорбенты (цеолиты, дисперсные кремнезёмы, ке-рамзит, силикагель и другие.); органические сорбенты (уголь, опилки, сапропель, полиуретан и другие);

- по пористой структуре: крупнопористые с размером пор более 200 нм; среднепористые - 1,5-200 нм; мелкопористые - менее 1,5 нм;

- по характеру смачивания водой;

- по плавучести: высокой - более 72 часов; ограниченной - 3-72 часа;

- по поглотительной способности и др.

К недостаткам известных сорбционных способов очистки можно отнести высокую стоимость; необходимость равномерного распределения сорбента по поверхности и его последующего сбора; необходимость утилизации сорбента (как правило, однократно или многократно использованный сорбент уничтожается сжиганием в высокотемпературных печах); необходимость наличия специальных приспособлений и механизмов для рассеивания сорбентов, их сбора с территории акватории; затрудненность сбора сорбентов с заболоченных участков и с участков, поросших растительностью и др.

Результатом многочисленных исследований стали различные разработки по биоремедиации нефти, в том числе активные штаммы-нефтедеструкторы и их консорциумы, на основе которых в России и за рубежом производятся коммерческие биопрепараты для ликвидации углеводородных загрязнений, например, «Путидойл», «Деворойл», «Бамил», «Петро Трит», «Сойлекс», «Фаерзайн» и др. Помимо жизнеспособных клеток микробов они содержат различные добавки во всевозможных сочетаниях (навоз+опилки, сорбент+ферменты+минеральные добавки и т.д.).

Получило широкое распространение создание многокомпонентных композиций, включающих микроорганизмы, иммобилизованные на сорбенте и многочисленные биодобавки. Ведется постоянный поиск новых микроорганизмов-нефтедеструкторов и их ассоциаций и изучение их свойств с целью повышения эффективности очистки нефтезагрязненных территорий.

Существуют препараты на основе микроорганизмов-нефтедеструкторов, в которых наиболее часто используют штаммы бактерий родов *Rhodococcus*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Microbacterium*; грибы видов *Pichia*, *Candida*. Указанные препараты способны эффективно разлагать широкий спектр углеводородов нефти, однако основным недостатком большинства из них является невозможность локализации загрязнений нефтью и нефтепродуктами.

Эффективность работ с биосорбентами зависит от следующих факторов:

1. Количество вылившихся нефтепродуктов, площадь, глубина и степень загрязнения почв и вод;

2. Возраст загрязнения и, соответственно, текущий состав нефтепродуктов;

3. Распределение УВ по компонентам почвы и гидросферы, их биодоступность;

4. Продолжительность вегетационного периода (с круглосуточно положительными значениями температуры воздуха и поверхности почвы);

5. Тип, влагосодержание, кислотность и другие физико-химические параметры загрязнённой почвы или нефтешлама, их целевое назначение, а также особенности местного микробиоценоза, растительности;

6. Возможность принудительной аэрации загрязнённого объекта;

7. Нормативы предельно допустимого содержания нефти и нефтепродуктов в грунте.

3. ОБЗОР ПАТЕНТОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ БИОСОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОЧВ И ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Рассмотрим некоторые наиболее эффективные патенты и технические решения по снижению негативного воздействия нефти и нефтепродуктов на почву и водные объекты.

3.1 Очистка почв от нефтяных загрязнений

Рассмотрим патенты, посвященные очистке почвы от нефти и нефтепродуктов.

Ряд изобретений основан на введении в загрязненный объект чужеродных микроорганизмов - деструкторов. Такие решения являются эффективными, но дорогостоящими из-за дополнительных затрат на наращивание, хранение и подготовку микроорганизмов перед внесением в грунт.

Способ биоэлектрической очистки грунта от органических загрязнений, заключается во введении в зону очистки раствора нефтеокисляющих микроорганизмов и размещении электродов - анода и катода. Через электроды пропускают постоянный электрический ток и собирают раствор, накапливающийся у катода, с повторным введением его в зону очистки. Постоянный электрический ток периодически включают и выключают и поддерживают при этом температуру грунта вблизи поверхности анода в пределах 10-40°C. При этом осуществляют предварительное нагревание грунта до температуры в пределах 10-20°C. В зону очистки периодически подают воздух, а откачивают пары нефти и нефтепродуктов (патент РФ на изобретение РФ №2177379). Данный способ направлен на обеспечение оптимальных для

жизнедеятельности микроорганизмов температурных условий и значений pH грунта. Недостатком этого метода является сложность осуществления процесса очистки при аварийных разливах в объектах окружающей среды, удаленных от коммуникаций и источника тока. Кроме того, процесс очистки сопряжен с высокими энергозатратами.

Способ очистки почв, почвогрунтов, пресных и минерализованных вод от нефти и нефтепродуктов основан на введении биопрепарата «Родер», приготовленного на основе R-диссоциантов штаммов *Rhodococcus ruber* ВКМ Ас-1513Д и *Rhodococcus erythropolis* ВКМ Ас-1514Д, выращиваемых на средах с высоким содержанием морской соли. Отсеleccionированные микроорганизмы, входящие в состав препарата, способны размножаться и деградировать углеводороды нефти в широком диапазоне солености (0,05-10%) и температур (8-35°C) (патент на изобретение РФ №2174496). Недостатком данного способа является узкий видовой диапазон используемых микроорганизмов и низкая конкурентоспособность по отношению к аборигенным микроорганизмам вследствие низких скоростей роста этой группы бактерий. Кроме того, использование биопрепарата является более дорогим способом по сравнению со стимуляцией.

Известен ряд публикаций, касающихся разработки методов стимуляции природной биодеградации путем улучшения аэрации загрязненной почвы, водного режима, соотношения питательных компонентов: углерода, азота и фосфора, внесения эмульгаторов, органических материалов и т.д.

Известно, что внесение удобрения Osmocote с замедленным высвобождением питательных веществ (азота, фосфора и калия) и Inipol EAP-2, содержащего органический азот и фосфор, оказывало значительный положительный эффект на активность микроорганизмов и убыль алифатических углеводородов в грунте прибрежной морской зоны [10].

Однако использование перечисленных выше удобрений для очистки грунтов от нефтезагрязнений в промышленных масштабах является дорогостоящим. Кроме того, данная технология является недостаточно эффективной, т.к. отмечается существенная убыль только алифатических соединений нефти в отличие от других фракций, которые представляют наибольшую опасность для окружающей среды.

Известно использование химически чистой D-глюкозы в концентрации до 1 мг/г почвы для стимуляции развития популяции углеводородокисляющих бактерий в почве, загрязненной дизельным топливом, что в три раза ускоряло его разложение [9].

Однако использование чистых реактивов для очистки реальных объектов нецелесообразно из-за их высокой стоимости.

Известен способ очистки почв от нефтезагрязнений с использованием активного ила биохимкомбината для восстановления их биологической активности. Через три месяца отмечалось положительное влияние на биологическую активность почвы, содержание нефтепродуктов при исходной концентрации 6% снижалось примерно в три раза [10].

Однако активный ил сохраняет активность в течение очень короткого времени, что затрудняет его использование на реальных площадках, удаленных от очистных сооружений предприятий, активный ил которых адаптирован к соответствующим загрязнителям.

Известно использование для очистки грунтов от нефтезагрязнений биологически продуцируемых поверхностно-активных веществ (биоПАВ), которые являются экологически безопасными [13]. Однако производство биоПАВ является дорогостоящим, что ограничивает их применение для биоремедиации загрязненных объектов.

Способ очистки отвалов отработанной отбеливающей земли, загрязненной нефтепродуктами, который может использоваться и при рекультивации почв, описан в работе [11]. Он основан на внесении биотрина - кормовой добавки, содержащей протеины, микро- и макроэлементы, аминокислоты и витамины - и мелассы - отхода производства сахара, содержащей до 40% сахаров - до концентрации 1 г/кг почвы по сахарам. Кроме того, для ускорения деградации вносились высокоокисленные неорганические вещества: суперфосфат, калийная селитра, железо сернокислое и перекись водорода. Для улучшения характеристик обрабатываемый грунт разбавляли плодородной почвой или активным илом в соотношении 1:1. При внесении мелассы в лабораторном эксперименте убыль нефтепродуктов за месяц составляла 20%. При полномасштабной обработке загрязненную землю смешивали с плодородной почвой и активным илом, для стимуляции вносили смесь мелассы, биотрина и суперфосфата, что позволило снизить содержание остаточных нефтепродуктов с 29 до 11%.

Однако этот метод предполагает внесение большого объема почвы или активного ила, что при больших объемах может оказаться неприемлемым, кроме того, большой объем плодородной почвы оказывается загрязненным и не может использоваться, значительно увеличивается площадь, требуемая для обработки грунта.

В патенте RU 2 301 258 С2 «Способ очистки почвы от нефтяных загрязнений», опубл. 20.06.2007 г., представлен способ, включающий

внесение в почву мелассы до конечной концентрации сахаров 3-10 г/кг почвы и ПАВ в диапазоне концентраций 10-40 мг/кг почвы. Дополнительно вносят калий, и/или азот, и/или фосфор, взятые в количестве по 0,112 г/кг почвы. После внесения добавки осуществляют поддержание температурного и водного режимов грунта для обеспечения жизненной функции микроорганизмов в течение не менее 2 месяцев до остаточного содержания углеводородной фракции 30-40%. Изобретение позволяет осуществить эффективную очистку почв со свежим загрязнением нефтью и нефтепродуктами и сократить время очистки. Достигнуто упрощение способа и снижение затрат на биоремедиацию, ускорение процесса очистки почв и грунтов со свежим загрязнением нефтепродуктами при улучшении качества за счет стимуляции популяции УОМ путем внесения мелассы - дополнительного легкодоступного источника углерода и биологически активных веществ и ПАВ - эмульгатора гидрофобного субстрата.

Известен «Способ очистки почвы от нефти и нефтепродуктов», заключающийся в обработке почвы жидкой формой биопрепарата, включающего аэробные нефтеокисляющие бактерии. Перед обработкой почвы упомянутым биопрепаратом непосредственно в почву вносят азот-фосфорно-калийное минеральное удобрение и дополнительно - рыбную муку. Наилучший результат достигается при использовании препарата «Нафтокс» с бактериальной культурой *Mycobacterium* sp. 5 KB. В качестве минерального удобрения в загрязненную почву рекомендуется вносить азотосодержащее в количестве 50-100 г/м², рыбную муку в количестве 150-300 г/м². Способ позволяет повысить эффективность очистки почвы от загрязнений нефтепродуктами при использовании жидкой формы биопрепарата посредством стимуляции роста числа бактерий, вносимых в загрязненную почву (патент РФ на изобретение 2429089, МПК В09С 1/10; С12N 1/26, публикация 20.09.2011 г.). Задачей, на решение которой направлен данный патент, является повышение эффективности очистки почвы от загрязнений нефтепродуктами при использовании жидкой формы биопрепарата. Технический результат выражается в обеспечении стимуляции роста числа бактерий, вносимых в почву. Недостатком данного решения является узкий видовой диапазон используемых микроорганизмов; сложность осуществления процесса очистки на объектах окружающей среды, удаленных от коммуникаций и источника тока. Кроме того, процесс очистки сопряжен с повышенными энергетическими затратами на последовательное внесение нескольких компонентов в почву.

«Способ очистки почвы от нефтяных загрязнений» (патент РФ на изобретение 2301258, МПК

С12N 1/26; В09С 1/10, публикация 20.06.2007 г.) включает в себя внесение в почву мелассы до конечной концентрации сахаров 3-10 г/кг почвы и ПАВ в диапазоне концентраций 10-40 мг/кг почвы. Дополнительно вносят калий, и/или азот, и/или фосфор, взятые в количестве по 0,112 г/кг почвы. После внесения добавки осуществляют поддержание температурного и водного режимов грунта для обеспечения жизненной функции микроорганизмов в течение не менее 2 месяцев до остаточного содержания углеводородной фракции 30-40%). Задачей, на решение которой направлен данный патент, является упрощение способа и снижение затрат на биоремедиацию, ускорение процесса очистки почв и грунтов со свежим загрязнением нефтепродуктами при улучшении качества за счет стимуляции популяции углеводородоокисляющих микроорганизмов путем внесения мелассы - дополнительного легкодоступного источника углерода и биологически активных веществ и ПАВ - эмульгатора гидрофобного субстрата. Поставленная задача решается тем, что в способе очистки почвы, заключающемся во внесении в почву питательной добавки, включающей мелассу, стимулирующей рост содержащихся в почве нефтеокисляющих микроорганизмов, согласно предлагаемому решению добавка дополнительно содержит ПАВ в диапазоне концентраций 10-40 мг/кг почвы, а мелассу вносят до конечной концентрации сахаров 3-10 г/кг почвы. Недостатком данного решения является сложность осуществления процесса очистки на объектах окружающей среды, удаленных от коммуникаций и источника тока. Кроме того, процесс очистки при помощи питательной добавки, содержащей мелассу, имеет затянутые по сравнению с описанным способом временные рамки - от 2 до 3 мес.

Перспективным является использование метода биоремедиации - биостимуляция *in situ* (в месте загрязнения). Этот подход основан на стимулировании роста нативных природных микроорганизмов, естественно содержащихся в загрязненной почве и потенциально способных утилизировать загрязнитель, но не способных делать это эффективно из-за отсутствия полного набора пищевых компонентов (соединений азота, фосфора, калия и пр.). По этому принципу в ходе предварительных лабораторных испытаний образцов загрязненной почвы устанавливают концентрацию препаратов, включая нативные почвенные микроорганизмы, чтобы в дальнейшем стимулировать рост вносимых микроорганизмов, способных утилизировать загрязнитель.

Способом, где используется метод биоремедиации - биостимуляция *in situ*, является «Технология очистки различных сред и поверхностей, загрязненных углеводородами», ВРД

39-1.13-056-2002, разработанная ОАО «Газпром», ООО «ВНИИГАЗ», ЗАО «Биотек-Япония» (Москва - 2002 г.). В данной технологии для очистки объектов окружающей среды от углеводородсодержащих соединений используются биопрепараты, созданные на основе бактерий, выделенных из нефтезагрязненных природных сред. Для таких микроорганизмов нефтепродукты являются источником питания, и они естественным путем адаптированы к их потреблению, разлагая входящие в состав нефтепродуктов высокомолекулярные углеводородные соединения, в том числе ароматического ряда, до углекислого газа и воды. Наиболее эффективными биопрепаратами, широко применяемыми для ликвидации нефтяных загрязнений по данной технологии, являются бактериальные препараты серии «Биодеструктор» («Валентис», «Лидер», «Аллегро», «Торнадо», «Гера», «Маг» и др.). Представленная технология биоочистки заключается в нанесении биопрепарата на загрязненную поверхность или его смешивании с загрязненными нефтепродуктами субстратами в присутствии биогенных элементов (азота, фосфора, калия и др.) в виде обычных минеральных удобрений при интенсивной аэрации. При очистке почв, извлеченных грунтов производят рыхление, а при очистке воды, цистерн и других емкостей аэрацию создают барботажем воздуха. Внесение биопрепаратов на большие по площади территории и акватории производят с помощью разбрызгивающих и распылительных устройств, которыми оборудуют поливальные и пожарные машины, вертолеты или же речные и морские суда. Сутью технологии выступает внесение биопрепарата в загрязненную почву и стимулирование роста бактерий, содержащихся в препарате, при помощи минеральных удобрений. Такая технология является достаточно дорогостоящей за счет использования биопрепарата, кроме того, к недостаткам данной технологии можно отнести и конкретно-определенный состав активных бактерий, которые могут оказаться малоэффективными в различных условиях внешней среды и составе загрязненной поверхности (почвы).

В патенте RU 2 596 684 «Способ очистки нефтяных шламов и грунтов от загрязнений нефтяными продуктами», опублик. 10.09.2016 г., предлагается полностью отказаться от каких бы то ни было специальных биологических препаратов и использовать нативные природные микроорганизмы, естественного происхождения, а также значительно сократить объем воды, необходимой для поддержания требуемого уровня влажности в обработанном грунте, путем ее удержания шунгитовым порошком. Предлагается последовательное внесение в грунт компонента, который состоит из трех частей:

шунгитового порошка, солей гуминовых кислот и нативных почвенных бактерий. Последовательность внесения разделена на три этапа: на первом этапе в грунт вносят 100% всей массы шунгитового порошка, поливают и вспахивают обработанный участок, а соли гуминовых кислот и нативные почвенные бактерии делят на три части. Первую часть вносят в день внесения шунгитового порошка или на следующий день, а оставшиеся две части вносят с интервалом от пяти до десяти дней, поливая и вспахивая обработанный участок каждые два дня. После первого внесения солей гуминовых кислот и нативных почвенных бактерий обработанный участок повторно поливают и вспахивают. Способ позволяет значительно удешевить процесс переработки нефтяных шламов и грунтов, загрязненных нефтепродуктами, вывести его на качественно новый уровень.

В патенте RU 2 410 170 С2 «Способ очистки загрязненного грунта», опублик. 27.01.2011 г., предлагается внесение в грунт сорбента, активных по отношению к имеющемуся в грунте органическому загрязнителю микроорганизмов и азотного минерального удобрения с последующим увлажнением. Причем в качестве сорбента используют термически обработанную при температуре 200-300°C глауконитовую породу с содержанием глауконита 40-90%, а в качестве микроорганизмов используют бактериальный препарат в виде лиофильно высушенного сухого порошка с активностью, равной численности углеводородокисляющих клеток 1-100 млрд в 1 г препарата, при этом сорбент и бактериальный препарат перемешивают при соотношении 500-1000 г бактериального препарата на 1 т сорбента. Способ позволяет сократить время очистки загрязненного грунта при одновременном снижении расхода сорбента.

3.2 Очистка водной поверхности от нефтяных загрязнений

Для очистки водной поверхности от нефти и нефтепродуктов известен целый ряд патентов, рассмотрим ниже некоторые из них.

Препарат для очистки водной поверхности от нефти и нефтепродуктов (патент РФ №2299181; опублик. 20.05.2007) содержит гидрофобный сорбент нефти на основе торфа и биомассу штаммов микромицета *Fusarium lateritium* или *Gliocadim deliquescens* или консорциум этих штаммов, иммобилизованных в гидрофобный торфяной сорбент посредством обрастания сорбента грибами.

Препарат для очистки водоемов от нефтепродуктов на основе штаммов бактерий и дрожжевых грибов (патент РФ №2318736; опублик. 10.03.2008), содержащий иммобилизованные

на гидрофобном торфяном сорбенте клетки дрожжевых грибов *Candida lipolitica*, *Candida guilliermondii*, *Pichia guilliermondii* и культур бактерий *Rhodococcus erythropolis*, *Arthrobacter* sp. посредством обрастания мицелием грибов сорбента с последующей сушкой на воздухе. Недостатком этого препарата является то, что продолжительность процесса приготовления этих биосорбентов определяется временем обрастания сорбента грибами, которое составляет от 2...9 до 25...30 суток и требует создания определенных условий культивирования по температуре и влажности.

Биосорбент (патент РФ №2420579; опубл. 20.05.2007) состоит из гидрофобного торфоминаерального сорбента - 99% и водно-масляной эмульсии, содержащей микроорганизмы-нефтедеструкторы - 1%. В качестве штаммов, обеспечивающих разрушение нефтепродуктов, используется ассоциация штаммов микробных клеток *Zoogloea* sp. 144, *Arthrobacter* sp. 13H, *Arthrobacter* sp. 15H, *Bacillus* sp. 124. Недостатком данного препарата является отсутствие в составе эмульсии сбалансированной минеральной добавки азота, калия и фосфора, обеспечивающих пролонгированное снабжение ими микроорганизмов-нефтедеструкторов, как необходимым фактором развития биопопуляции. Также после приготовления водно-масляной эмульсии наблюдается быстрое ее расслоение, что затрудняет процесс равномерного нанесения на сорбент при аэрозольном способе иммобилизации микроорганизмов-нефтедеструкторов и ухудшает его биодеградационную активность.

В патенте «Материал-носитель биомассы для фильтрации нефтезагрязненных сточных вод» RU 2 628 692 С2, выданном 20.11.2014 г., предложен материал-носитель биомассы для фильтрации нефтезагрязненных сточных вод. Носитель содержит фильтрующий материал с иммобилизованными клетками нефтеокисляющего микроорганизма *Rhodotorula* sp. ВКМ Y-2993D с титром клеток - 10^6 КОЕ/см³. В качестве фильтрующего материала использовано предварительно модифицированное катионовым крахмалом - оксиамиллом ОПВ-1 базальтовое волокно БСТВст. Предложенный материал-носитель обладает высокой удерживающей способностью взвешенных частиц и нефтепродуктов и предназначен для заполнения фильтров для очистки нефтезагрязненных сточных вод.

В патенте «Биогеосорбент для очистки нефтезагрязненных водных объектов» RU 2 715 036 С1, выданном 21.02.2020 г., предложен биогеосорбент, состоящий из носителя – глауконитсодержащей породы и иммобилизованной на нем смеси штаммов бактерий *Pseudomonas yamanorum* ВКМ В-3033D, дрожжей *Rhodotorula glutinis* ВКМ Y-2998D и микроводорослей

Chlorella vulgaris f. *Globosa* IPPAS С-2024 в заданном соотношении.

3.3. Комплексная очистка почв и водных объектов от нефтяных загрязнений

Ряд патентов и технических решений носит комплексный характер, позволяя обеспечивать одновременную очистку почвы и водной поверхности, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Рассмотрим некоторые из них.

В патенте «Биосорбент для очистки почвы и воды от нефти и нефтепродуктов» RU 2 628 692 С2, выдан 21.08.2017 г., предложен биосорбент, обладающий как адсорбционной способностью за счет гидрофобного торфоминаерального сорбента, так и нефтедеструктивной активностью за счет микроорганизмов, иммобилизованных на сорбенте. Биосорбент состоит из гидрофобного сорбента на основе верхового торфа и ассоциации штаммов *Rhodococcus erythropolis* ВКПМ АС-1660 и *Rhodococcus* sp. ВКПМ АС-1260 в соотношении 1:1 по объему. Штаммы иммобилизованы на сорбент аэрозольным путем в составе биоэмульсии, которая содержит ассоциацию штаммов, вазелиновое масло, эмульгатор и минеральную добавку. Особенности биосорбента являются: аэрозольный способ нанесения биоэмульсии на сорбент; пролонгированное действие; обеспечение биодеградации сорбированных нефти и нефтепродуктов при температуре от плюс 2°С до плюс 32°С; низкая десорбция сорбированных нефти и нефтепродуктов, отсутствие необходимости в проведении дополнительных мероприятий по утилизации сорбированной нефти.

К универсальным можно также отнести препараты для биодеградации нефтепродуктов с использованием бактерий и микроорганизмов, так как они позволяют очищать от нефтезагрязнений и почву, и водные объекты.

В патенте «Препарат для биодеградации нефтепродуктов «Биоионит» и способ его получения» RU 2 571 219 С2, выданном 20.12.2015 г., предложены препарат для биодеградации нефтепродуктов и способ его получения. Препарат включает ассоциацию бактерий *Bacillus megaterium* ВКМ В-396, *Bacillus subtilis* ВКПМ В-5328, *Pseudomonas putida* ВКМ В-1301, *Pseudomonas putida* ВКПМ В-5624, *Rhodococcus erythropolis* ВКПМ АС-1269, иммобилизованную на глауконитсодержащем носителе в количестве 10^8 - 10^{10} клеток/г. Способ получения препарата предусматривает раздельное культивирование вышеуказанных штаммов до содержания 10^{11} - 10^{12} мкл/мл. Готовят микробную ассоциацию смешиванием в одной емкости культуральных жидкостей штаммов при соотношении *Bacillus megaterium* ВКМ В-396 - 15%, *Bacillus subtilis*

ВКПМ В-5328 - 15%, *Pseudomonas putida* ВКМ В-1301 - 20%, *Pseudomonas putida* ВКПМ В-5624 - 20%, *Rhodococcus erythropolis* ВКПМ АС-1269 - 30% до содержания бактерий 10^{12} мкл/мл. Осуществляют напыление ассоциации в виде аэрозоля на глауконитсодержащий сорбент. Содержание глауконита в сорбенте составляет не менее 60%. Дальнейшее обезвоживание смеси проводят путем подачи подогретого до 40°C воздуха со скоростью 3-5 м/с до достижения влажности в конечном биопрепарате 5% и содержания клеток 10^9 мкл/мл препарата. Изобретение обеспечивает высокую степень очистки от нефтепродуктов и уменьшение времени культивирования при получении препарата.

В патенте «Биологически активная композиция для очистки поверхностных вод, почв и грунтов от нефтяных загрязнений» RU 2 270 808 С2, опубликован 27.02.2015 г., предложена композиция, включающая ассоциацию нефтеокисляющих бактериальных культур, торф и комплексное минеральное удобрение, стимулирующее рост и развитие нефтеокисляющих бактериальных культур. В качестве ассоциации нефтеокисляющих бактериальных культур содержит *Pseudoamycolata halophobica* ВСБ-753, *Kibdelosporangium aridum* ВСБ-754, *Acinetobacter oleovorans* ВСБ-712, *Rhodococcus erythropolis* НХ7 в объемном соотношении между собой 1:1:1:1, при следующем соотношении компонентов, мас. %: ассоциация нефтеокисляющих бактериальных культур - 1-3; комплексное минеральное удобрение, стимулирующее рост и развитие нефтеокисляющей бактериальной культуры, - 7-9; торф - остальное. Изобретение позволяет очистить почвы и воды от нефти в условиях низких положительных температур с высокой эффективностью.

4. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНЫХ БИОСОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОЧВЫ ОТ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Разработаны комплексные биосорбенты, которые предлагается вносить в почву, загрязненную нефтью и нефтепродуктами. Локальное внесение такого комплекса приводит к активизации процесса биодegradации токсикантов аборигенными микроорганизмами почвы и стимулирует способность почвы к самоочищению и самовосстановлению. Достоинством новых сорбционных комплексов является их эффективность, экологичность, доступность материалов, комплексность использования и экономичность. Смеси в удобной упаковке можно успешно применять для решения проблем локального загрязнения почв.

Главная цель применения комплексных биосорбентов – создать почвенному микросообществу

необходимые условия для восстановления и активного самоочищения почвы. Многокомпонентная смесь вносится в место загрязнения почвы и способствует стимуляции процесса биодеструкции загрязняющих веществ почвенными микроорганизмами и эффективному очищению и самовосстановлению почв.

Окисление нефти начинается сразу после ее попадания в почву. Общими чертами этого процесса является быстрое разрушение метановофтеновых фракций, снижение содержания полициклических углеводородов, относительное увеличение доли смолистых веществ в нефти, переход части нефтяных компонентов в нерастворимые в органических растворителях формы. Скорость изменения отдельных углеводородов и групповых фракций зависит от природно-климатических зон и состава исходной нефти. Важно проводить аэрирование почв, в частности, путем внесения рыхлых материалов, например, туффита, торфа, соломы, а также искусственных структурообразователей.

Сорбционные комплексы вносятся в место загрязнения почвы и способствуют стимуляции процесса биодеструкции загрязняющих веществ почвенными микроорганизмами и эффективному очищению и самовосстановлению почв.

Проводимый автором анализ возможных путей повышения эффективности биодеструкции позволил выявить основные факторы интенсификации этого процесса в зависимости от задач и места их применения. Например, большое значение для интенсификации процесса биологической очистки имеет введение минеральных добавок и различных биодеструкторов на сорбционных носителях.

Для изучения эффективности очистки почвы от нефтепродуктов на основе применения разработанных сорбционных комплексов были проведены экспериментальные исследования.

На данном этапе исследований было смоделировано пять сорбционных комплексов:

- 1) Опилки, вермикулит;
- 2) Опилки, вермикулит + раствор препарата ЭМ;
- 3) Опилки, вермикулит + раствор препарата ЭМ;
- 4) Опилки, вермикулит + раствор биопрепарата + ускоритель компоста;
- 5) Контрольная проба.

В качестве сравнительных опытных моделей планируется исследовать различные компоненты и составы сорбционных комплексов (смесей) для очистки почв от нефти и нефтепродуктов.

Количество нефти в почвенных образцах после закладки опытов и моделирования загрязнения почв нефтью планируется проводить гравиметрическим методом, основанным на определении нефти и нефтепродуктов в почве в результате их экстракции из почвы экстрагентом с последующей очисткой элюата на окиси

алюминия в колонке от полярных соединений и последующем взвешивании выделяемых нефтепродуктов, а также на основе количественного химического анализа.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведён анализ особенностей использования биосорбентов как эффективного средства для очистки почв и водных объектов от нефтяных загрязнений, рассмотрены литературные источники по данной проблеме.

Проведен обзор патентов и технических решений по использованию биосорбентов для очистки почв и водных объектов от нефтяных загрязнений, рассмотрены их достоинства и недостатки. Систематически патенты были разделены на три группы: очистка почв от нефтяных загрязнений, очистка водных объектов, комплексная очистка почв и водных объектов от нефтяных загрязнений.

Структурный анализ растительных сорбентов показал, что растительные сорбенты являются перспективными для получения новых материалов, обладающих высокой развитой сорбционной поверхностью. Кроме того, такие сорбенты могут применяться в качестве биосорбентов при иммобилизации на них микроорганизмов – нефтедеструкторов.

Перспективным способом рекультивации больших площадей загрязненных земель или значительных объемов нефтезагрязненных и замазученных грунтов при разработке нефтегазовых месторождений является биообработка почв непосредственно на месте разлива нефти аварии или на специализированном полигоне с помощью технологии почвенной биодеструкции углеводородов.

Разработаны комплексные биосорбенты, которые предлагается вносить в почву, загрязненную нефтью и нефтепродуктами.

При дальнейшей разработке эффективных биосорбентов особое внимание следует обратить на улучшение сорбционных свойств сорбентов (адсорбционная ёмкость, нефтеёмкость, скорость адсорбции), их комплексное использование с биодеструкторами и др.

Использование результатов исследований позволит создавать более эффективные биосорбенты, позволяющие достигать значительного снижения негативного воздействия нефтяных загрязнений на человека и окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андерсон, Р.К. Биотехнологические методы ликвидации загрязнений почв нефтью и нефтепродуктами / Р.К. Андерсон. – М. : ВНИИОЭНГ, 1994. – 24 с.
2. Андрианова, Л.В. Разработка комплекса «Биоак-

тиватор» для очистки и восстановления почв, загрязненных нефтепродуктами / Л.В. Андрианова, О.А. Мифтахова, В.В. Заболотских, А.В. Васильев // В сборнике: ELPIT-2013. Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов. Сборник трудов IV международного экологического конгресса (VI Международной научно-технической конференции). Научный редактор: А.В. Васильев. – 2013. – С. 3-9.

3. Васильев, А.В. Анализ и оценка загрязнения биосферы при воздействии нефтесодержащих отходов: Монография / А.В. Васильев. – Самара: Издательство СамНЦ РАН, 2022. – 106 с.
4. Васильев, А.В. Анализ источников загрязнения биосферы нефтепродуктами и особенности оценки их экологического воздействия / А.В. Васильев // Научный журнал «Академический вестник ЭЛПИТ». – 2022 – Т. 7. – № 2(20). – С.15-20.
5. Васильев, А.В. Особенности оценки рисков негативного воздействия на биосферу отходов, возникающих при разработке нефтегазовых месторождений / А.В. Васильев // Научный журнал «Академический вестник ЭЛПИТ». – 2022 – Т. 7. – № 3(21), – С.12-20.
6. Васильев, А.В. Особенности мониторинга негативного воздействия нефтесодержащих отходов на биосферу / А.В. Васильев // Известия Самарского научного центра РАН. – 2022. – Т. 24. – № 2. – С. 113-120.
7. Васильев, А.В. Подходы к определению токсичности нефтесодержащих отходов с использованием биоиндикации и биотестирования / А.В. Васильев // Известия Самарского научного центра РАН. – 2022. – Т. 24. – № 5. – С. 36-43.
8. Васильев, А.В. Методика экспериментальных исследований нефтесодержащих отходов с повышенной радиоактивностью как объекта экологического риска / А.В. Васильев, В.В. Ермаков, Д.Е. Щербаков // Известия Самарского научного центра РАН. – 2023. – Т. 25. – № 4. – С. 171-178.
9. Гузев, В.С. Регуляторное действие глюкозы на активность углеводородокисляющих микроорганизмов в почве / В.С. Гузев, Э.М. Халимов, М.И. Волде, И.С. Куличевская // Микробиология. – 1997. – Т. 66. – № 2. – С.154-159.
10. Киреева, Н.А. Биодеструкция нефти в почве культурами углеводородокисляющих микроорганизмов / Н.А. Киреева // Биотехнология. – 1996. – № 1. – С.51-54.
11. Логинов, О.Н. О биологической очистке технологических отходов от нефтепродуктов / О.Н. Логинов, Т.Ф. Бойко, В.П. Костюченко, С.И. Комаров, А.К. Подцепихин, Н.Ф. Галимзянова // Почвоведение. – 2002. – №4. – С.481-486.
12. Мурзаков, Б.Г. Экологическая биотехнология для нефтегазового комплекса / Б.Г. Мурзаков. – М.: 2005. – 200 с.
13. Oberbremer A., Muller-Hurtig R, Wagner F. Effect of the addition of microbial surfactant on hydrocarbon degradation in a soil population in a stirred reactor // Applied Microbiology and Biotechnology. - 1990. - 32. P.485-489.
14. Ran Xu, J.P. Obbard. Effect of nutrient amendments of indigenous hydrocarbon degradation in oil-contaminated beach sediments. Journal of Environmental Quality. – 2004. – V.32. – P.1234-1243.

15. Vasilyev A.V. Experience, Results and Problems of Ecological Monitoring of Oil Containing Waste. Proceedings of the 2018 IEEE International Conference "Management of Municipal Waste as an Important Factor of Sustainable Urban Development" (WASTE'2018), October, 4-6, 2018, Saint-Petersburg; edition of Saint-Petersburg State Electrical Technical University "LETI", 2018, pp. 82-85.
16. Vasilyev A.V. Classification and reduction of negative impact of waste of oil-gas industry. Proc. of the International Scientific Conference (XIV International Forum) World Heritage and Degradation. Smart Design, Planning and Technologies "Le vie dei Mercanti", June 16th – 18th 2016, Naples-Capri, Italy. – Fabbrica della Conoscenza series, Edition of La scuola di Pitagora, Naples, Italy. - pp.101-107.

USE OF BIOLOGICAL SORBENTS FOR SOIL AND WATER PURIFICATION FROM OIL POLLUTION

© 2024 A.V.Vasilyev

Samara State Technical University, Russian Federation

In this paper analysis of peculiarities of using of biological sorbents as efficient mean of purification of soil and water objects from oil pollution has been carried out. Review of patents and of technical solutions on the problem of using of biological sorbents for purification of soil and water objects from oil pollution have been considered, it advantages and disadvantages have been analyzed. The patents were systematically divided into three groups: purification of soil from oil pollution, purification of water objects, complex purification of soil and water objects. Complex biological sorbents have been developed which are proposed to add into the soil contaminated with the oil and oily products. During further development of efficient biological sorbents special attention should be paid to improvement of sorption properties of sorbents (adsorption capacity, oil capacity, adsorption velocity), it complex using with biological destructors etc. Using of results of research will allow us to develop more efficient biological sorbents allowing us to reach significant reduction of it negative impact of oil pollutions to the humans and to biosphere.

Key words: oil pollutions, biological sorbents, soil, water objects, negative impact, purification, methods, technical solutions, analysis

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-6-164-174

EDN: LQBLEY

REFERENCES

1. *Anderson, R.K.* Biotekhnologicheskie metody likvidatsii zagryaznenij pochv nef'tyu i nefteproduktami / R.K. Anderson. – M. : VNIIOENG, 1994. – 24 s.
2. *Andrianova, L.V.* Razrabotka kompleksa «Bioaktivator» dlya ochistki i vosstanovleniya pochv, zagryaznennykh nefteproduktami / L.V. Andrianova, O.A. Miftahova, V.V. Zabolotskih, A.V. Vasil'ev // V sbornike: ELPIT-2013. Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti promyshlennno-transportnykh kompleksov. Sbornik trudov IV mezhdunarodnogo ekologicheskogo kongressa (VI Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii. Nauchnyj redaktor: A.V. Vasil'ev. – 2013. – S. 3-9.
3. *Vasil'ev, A.V.* Analiz i ocenka zagryazneniya biosfery pri vozdeystvii neftesoderzhashchih othodov: Monografiya / A.V. Vasil'ev. – Samara: Izdatel'stvo SamNC RAN, 2022. – 106 s.
4. *Vasil'ev, A.V.* Analiz istochnikov zagryazneniya biosfery nefteproduktami i osobennosti ocenki ih ekologicheskogo vozdeystviya / A.V. Vasil'ev // Nauchnyj zhurnal «Akademicheskij vestnik ELPIT». – 2022 – T. 7. – № 2(20). – S.15-20.
5. *Vasil'ev, A.V.* Osobennosti ocenki riskov negativnogo vozdeystviya na biosferu othodov, voznikayushchih pri razrabotke neftegazovykh mestorozhdenij / A.V. Vasil'ev // Nauchnyj zhurnal «Akademicheskij vestnik ELPIT». – 2022 – T. 7. – № 3(21), – S.12-20.
6. *Vasil'ev, A.V.* Osobennosti monitoringa negativnogo vozdeystviya neftesoderzhashchih othodov na biosferu / A.V. Vasil'ev // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. – 2022. – T. 24. – № 2. – S. 113-120.
7. *Vasil'ev, A.V.* Podhody k opredeleniyu toksichnosti neftesoderzhashchih othodov s ispol'zovaniem bioindikatsii i biotestirovaniya / A.V. Vasil'ev // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. – 2022. – T. 24. – № 5. – S. 36-43.
8. *Vasil'ev, A.V.* Metodika eksperimental'nykh issledovaniy neftesoderzhashchih othodov s povyshennoj radioaktivnost'yu kak ob'ekta ekologicheskogo riska / A.V. Vasil'ev, V.V. Ermakov, D.E. Shcherbakov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. – 2023. – T. 25. – № 4. – S. 171-178.
9. *Guzev, B.C.* Regulyatornoe dejstvie glyukozy na aktivnost' uglevodorodokislyayushchih mikroorganizmov v pochve / B.C. Guzev, E.M. Halimov, M.I. Volde, I.S. Kulichevskaya // Mikrobiologiya. – 1997. – T. 66. – № 2. – S.154-159.
10. *Kireeva, N.A.* Biodestrukciya nef'ti v pochve kul'turami uglevodorodokislyayushchih mikroorganizmov / N.A. Kireeva // Biotekhnologiya. – 1996. – № 1. – S.51-54.
11. *Loginov, O.N.* O biologicheskoy ochistke tekhnologicheskikh otvalov ot nefteproduktov / O.N. Loginov, T.F. Bojko, V.P. Kostyuchenko, S.I. Komarov, A.K. Podcepinin, N.F. Galimzyanova // Pochvovedenie. – 2002. – №4. – S.481-486.

12. *Murzakov, B.G.* Ekologicheskaya biotekhnologiya dlya neftegazovogo kompleksa / B.G. Murzakov. – M.: 2005. – 200 s.
13. *Oberbremer A., Muller-Hurtig R, Wagner F.* Effect of the addition of microbial surfactant on hydrocarbon degradation in a soil population in a stirred reactor // *Applied Microbiology and Biotechnology.* - 1990. - 32. P.485-489.
14. *Ran Xu, J.P. Obbard.* Effect of nutrient amendmends of indigenou hydrocarbon degradation in oil-contaminated beach sediments. *Journal of Environmental Quality.* - 2004. - V.32. - P.1234-1243.
15. *Vasilyev A.V.* Experience, Results and Problems of Ecological Monitoring of Oil Containing Waste. Proceedings of the 2018 IEEE International Conference \»Management of Municipal Waste as an Important Factor of Sustainable Urban Development\» (WASTE'2018), October, 4-6, 2018, Saint-Petersburg; edition of Saint-Petersburg State Electrical Technical University "LETI", 2018, pp. 82-85.
16. *Vasilyev A.V.* Classification and reduction of negative impact of waste of oil-gas industry. Proc. of the International Scientific Conference (XIV International Forum) World Heritage and Degradation. Smart Design, Planning and Technologies \»Le vie dei Mercanti\», June 16th – 18th 2016, Naples-Capri, Italy. – Fabbrica della Conoscenza series, Edition of La scuola di Pitagora, Naples, Italy. - pp.101-107.