

Применение минеральных сорбентов в очистке загрязнений нефтью (обзор)

Канивец А. В. 

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, kvi407@mail.ru

Аннотация. Актуальность темы очистки территорий, особенно арктических, от нефтезагрязнений, вызвана интенсификацией процессов разведки и добычи нефти, при которых возможны аварийные разливы. Сорбционные методы очистки являются экологически безопасными, экономически выгодными, возможно повторное использование, а также могут быть совмещены с другими методами очистки, в том числе, биологическими. Данное направление исследований является перспективным, проводится много исследований и экспериментов для поиска наиболее эффективных методов применения сорбентов. В статье дан обзор литературных источников использования различных видов минеральных сорбентов органической и неорганической природы для очистки почв и акваторий от загрязнений нефтью и нефтепродуктами. Приведены описания и свойства минеральных сорбентов, описаны исследования и патенты по сорбционной и сорбционно-биологической очистке загрязненных сред.

Ключевые слова: сорбенты, нефть, ремедиация, загрязнение, аварии, разливы.

The use of mineral sorbents in the purification of oil pollution (review)

Kanivets A. V. 

Institute of North Industrial Ecology Problems Kola SC RAS, Apatity, kvi407@mail.ru

Abstract. The relevance of the topic of cleaning up territories, especially Arctic ones, from oil pollution is caused by the intensification of oil exploration and production processes, in which emergency spills are possible. Sorption purification methods are environmentally safe, economically profitable, can be reused, and can also be combined with other purification methods, including biological ones. This area of research is promising, a lot of research and experiments are being conducted to find the most effective methods of using sorbents. The article provides an overview of the literature sources of the use of various types of mineral sorbents of organic and inorganic nature for cleaning soils and water areas from oil and petroleum products pollution. Descriptions and properties of mineral sorbents are given, research and patents on sorption and sorption-biological purification of contaminated media are described.

Keywords: sorbents, oil, remediation, pollution, accidents, spills.

Введение

Для районов добычи, транспортировки и переработки нефти самая актуальная экологическая проблема – загрязнение окружающей среды. Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов по ущербу, наносимому экосистемам приравниваются к техногенным катастрофам. Примеры таких катастроф: авария на нефтепроводе АО «Коминнефть» в 1994 г., в результате которой утечка нефти составила 100 тыс. тонн и авария, произошедшая 29 мая 2020 г. в Норильске, где в результате разгерметизации емкости разлилось более 21 тыс. тонн дизельного топлива. Однако, разливы нефти и нефтепродуктов такого масштаба на сухопутных территориях или на морских акваториях, из-за аварий танкеров или буровых платформ, явления достаточно редкие. Чаше возникают локальные утечки из трубопроводов, скважин, разливы топлива на нефтебазах, автомобильных заправочных станциях, промышленных предприятиях, при этом нефть и нефтепродукты пропитывают почву, попадают в реки и озера (Трофимов, 2016; Самойлов, 2023).

Для Арктики потенциальную опасность представляет освоение нефтегазовых месторождений континентального шельфа, сопровождающееся интенсивным развитием транспортной инфраструктуры, системы перегрузки нефтепродуктов в портах (Сулименко и др., 2017; Иванов и др., 2019). Кроме того, актуальной остается проблема ликвидации накопленного экологического ущерба прошлой хозяйственной деятельности. В Мурманской области, на островах Северного Ледовитого оке-

ана на территориях ликвидированных военных баз, опустевших поселков имеется брошенная техника, ржавеющая тара из-под горюче-смазочных материалов, участки, загрязненные маслами, дизельным топливом (Мязин и др., 2020).

По этим причинам разработка методов очистки загрязненных территорий, способов ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов и накопленного экологического ущерба является актуальной и приоритетной. Выбор методов очистки должен учитывать климатические условия, так, в районах Российской Арктики в условиях длительной зимы и короткого лета, низких температур, почвы и воды имеют очень маленькую скорость самоочищения. Кроме того, важную роль играет экономическая целесообразность выбора конкретного метода (Сулименко и др., 2017). Среди разнообразных методов очистки природной среды: механических, химических, физико-химических, биологических и прочих, имеющих свои достоинства и недостатки, одним из наиболее эффективных считается сорбционный, позволяющий удалять различные загрязнения до минимальных остаточных концентраций, не дающий, в оптимальных условиях, вторичных загрязнений очищаемой среды. Сорбционный метод возможно сочетать с биологическим, что еще более повышает его эффективность (Трофимов, 2016; Вазыхов и др., 2017; Иванов и др., 2019). Так, при биоремедиации почв сорбенты повышают эффективность разложения нефти аборигенными или интродуцированными микроорганизмами, ускоряют рост растений, снижают гидрофобность, повышают влагоемкость и пористость почв (Созина и др., 2023).

Сорбенты, применяемые в очистке загрязненных нефтью и нефтепродуктами почв и акваторий, должны отвечать определенным требованиям (Самойлов, 2023):

- 1) высокая нефтепоглощающая способность;
- 2) низкая водопоглощающая способность;
- 3) универсальность, определяющая возможность использования сорбента для нефтепродуктов с различными физико-химическими свойствами, а также для различных поверхностей, как почв, так и водных объектов;
- 4) возможность многократного использования после регенерации;
- 5) экологическая безопасность сорбента, невозможность вторичного загрязнения среды самим сорбентом;
- 6) простота утилизации после использования;
- 7) доступность и низкая стоимость;
- 8) технологичность применения.

Классифицируют сорбенты по различным критериям:

1. По принципу действия:

а) адсорбенты – материалы, характеризующиеся способностью поглощать нефть в процессе физической поверхностной адсорбции. Поглощающая способность этих материалов зависит от свойств и площади поверхности. Увеличение свободной площади поверхности достигается измельчением, увеличением пористости, грануляцией;

б) абсорбенты – материалы, характеризующиеся способностью диффузионного поглощения нефти всем объемом, при этом вначале происходит смачивание поверхности абсорбента, а затем заполнение пустот нефтью. Абсорбенты подразделяют на волокнистые и объемно-пористые.

2. По исходному сырью:

- а) неорганические: естественные минералы (дисперсные кремнеземы, цеолиты, слоистые силикаты), искусственные минералы (перлит, керамзит, силикагель);
- б) органические: горючие ископаемые (уголь, торф), органоминеральные (сланцы, диатомит, сапропель), природное сырье растительного и животного происхождения (опилки, мох, шелуха зерновых, шерсть и др.);
- в) синтетические (тефлон, полипропилен, полиуретан).

3. По агрегатному состоянию:

- а) жидкие;
- б) твердые.

4. По форме:

- а) рассыпной – несвязанный, в виде отдельных частиц;
- б) заключенный в сетчатый материал рассыпной несвязанный сорбент;
- с) в виде разрыхленных волокон.

Сорбенты классифицируются также по пористости, дисперсности, плавучести и другим специфическим свойствам. К минеральным сорбентам относятся вещества, имеющие как неорганическую, так и органическую природу (Каменщиков и др., 2005; Трофимов, 2016).

Минеральные неорганические сорбенты

Неорганические сорбенты широко распространены в природе. Однако, такие вещества как песок, глина, несмотря на доступность и низкую цену, использовать в качестве нефтесорбентов нецелесообразно. Они имеют низкую нефтеемкость, не способны поглощать керосин, бензин, дизельное топливо, при использовании в водной среде тонут вместе с нефтью, не решая проблемы очистки (Созина и др., 2023).

Для очистки окружающей среды от загрязнений нефтью и нефтепродуктами чаще всего используют цеолиты, глаукониты, вермикулит – природные минеральные сорбенты с кристаллической структурой. Однако в природном виде они обладают низкой емкостью по отношению к нефти и гидрофильностью, поэтому перед использованием их подвергают модификации и активации различными способами. Цеолиты – водные алюмосиликаты щелочных и щелочноземельных металлов, содержащие катионы K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cr^{2+} , Ba^{2+} и другие элементы I и II групп. Это эффузивно-осадочные кристаллические породы светлого окраса, в природе встречаются в виде гидротермических или осадочных геологических образований. Для цеолитов характерно наличие в структуре пустот, заполненных постоянно движущимися молекулами воды и ионами, что дает возможность протекать процессам ионного обмена и обратимой дегидратации. Эти свойства цеолитов позволяют использовать их в качестве нефтесорбента после предварительной подготовки – обезвоживания при нагревании. Кроме того, термическая обработка (до $700^\circ C$) увеличивает удельную поверхность, повышая сорбционные свойства. Для использования в качестве сорбентов цеолитов высокой прочности и водостойкости термическую обработку проводят при $1000^\circ C$, добавляя химические реактивы: хлорид и карбонат натрия (Мэжри, 2021).

Существуют различные методы ремедиации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, с использованием композиций сорбентов на основе природного цеолита. Так, предлагается использовать смесь цеолита и гуминового препарата, изготовленного из бурого угля. Способ очистки, предусматривающий последовательное внесение в почву цеолита, с содержанием 65–70 % клиноптилолита, размером фракций 1–3 мм и дозой внесения 150 г/кг почвы, затем порошка гуминового препарата, содержащего от 73 до 82 % гуминовых кислот и дозой внесения 15 г/м² почвы, позволяет через 6 месяцев снизить концентрацию почвенных нефтезагрязнений с 50 г/кг до 0.562 г/кг (Овчинников и др., 2021). Известен способ, в котором природный цеолит предварительно обрабатывается 30–35 % раствором гуминовой кислоты, а затем вносится в почву дозой 100–150 г/кг. Через 5 месяцев в почвах с исходным загрязнением нефтепродуктами до 40 г/кг почвы остаточное загрязнение отсутствует, при исходном содержании нефтепродуктов до 70 г/кг почвы среднее остаточное загрязнение составляет 0.99 г/кг почвы. Содержание нефтезагрязнений менее 1 г/кг позволяет в дальнейшем использовать почвы в сельском хозяйстве (Мещеряков и др., 2023). Существует способ, где к цеолиту добавляется шунгит, также являющийся минеральным сорбентом (Иванов, 2019). К достоинствам цеолита относится возможность использовать его в биологической ремедиации, в этом случае он выступает в роли твердого носителя консорциума углеводородокисляющих микроорганизмов и одновременно питательного субстрата для них. Биопрепараты на основе цеолита и углеводородокисляющих микроорганизмов эффективны для использования в условиях Крайне-

го Севера, они ускоряют процессы разложения нефти, сокращают период самовосстановления почв (Ерофеевская, Глязнецова, 2015).

Глауконит – калийсодержащий водный алюмосиликат непостоянного, сложного состава. Относится к группе гидрослюд подкласса слоистых силикатов. Встречается в рыхлых осадочных породах в виде мелко- и среднезернистого глинистого песка зеленоватого цвета. Обладает меньшим, по сравнению с другими минеральными сорбентами, водопоглощением, высоким сродством с нефтью. Проявляет ионообменные свойства, имеет слоистую структуру. Увеличение сорбционной нефтеемкости достигается термической обработкой глауконита, химическим и структурным модифицированием поверхности. К преимуществам глауконита относятся широкое распространение и, в связи с этим, доступность и достаточно низкая цена, термостойкость, зернистая структура. Кроме того, при внесении в почву в качестве сорбента глауконит выполняет функции минерального удобрения и по этой причине не требует извлечения и утилизации. Использоваться в качестве сорбента может не только чистый глауконит, но и порода с содержанием глауконита 30–80 % (Григорьева, 2004; Перегудов и др., 2020; Мэжри, 2021; Созина, Данилов, 2023).

Описаны методы изменения сорбционных свойств глауконита. Снижение гидрофильности глауконита достигается предварительной термообработкой (до 1000 °С) и добавлением стеариновой кислоты в качестве гидрофобного агента. Полученный таким способом порошкообразный сорбент, обладая гидрофобностью, имеет довольно низкую способность к поглощению нефти, но хорошее сродство с ней. Он может долгое время находиться на водной поверхности и препятствует растеканию нефтяных пятен за счет увеличения вязкости нефти, поэтому эффективен при удалении нефтяных пленок на акваториях. Гранулирование глауконитового сырья, с предварительно введенным модификатором (целлюлозосодержащим компонентом), приводит к увеличению скорости поглощения нефти в 3.5 раза (Жучихин и др., 2008). Глауконит используется в качестве носителя ассоциаций углеводородокисляющих бактерий при получении препаратов для очистки нефтезагрязненных почв, воды, конструкций для хранения и переработки нефти (Волков и др., 2015).

Вермикулит – минерал из группы гидрослюд, имеет слоистую структуру, является продуктом гидролиза и выветривания (вторичной модификации) темных слюд биотита и флогопита, Вермикулит представляет собой крупные пластинчатые кристаллы бурого или золотисто-желтого цвета. По химическому составу минерал имеет следующую приблизительную формулу $(\text{Mg}^{+2}, \text{Fe}^{+2}, \text{Fe}^{+3})_3 [(\text{Al}, \text{Si})_4 \text{O}_{10}] \cdot (\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, однако из-за примесей достаточно редко соответствует данной формуле. Вермикулит отличается биологической стойкостью, химической инертностью, экологической безопасностью, но имеет высокую степень водопоглощения, что препятствует его использованию в качестве сорбента нефтепродуктов без предварительной активации и модификации. При термической обработке происходит вспучивание вермикулита. Минерал меняет структуру и объем: пластинки принимают форму «червячков» (столбиков, нитей), увеличивается площадь и шероховатость поверхности, а объем возрастает в 15–25 раз (Мэжри, 2021). Вспученный вермикулит хорошо поддается модификации, например, кремнийорганическими соединениями, для придания ему гидрофобных свойств. Модифицированный вспученный вермикулит является эффективным сорбентом для удаления нефтяных загрязнений с водных объектов, использоваться может как методом рассыпания по поверхности, так и в матах. При использовании для очистки почв гидрофобный вермикулитовый сорбент улучшает механические свойства почв, способен к биологическому разложению, может выполнять функции носителя микроорганизмов – деструкторов нефти и являться источником минерального питания для них (Мязин, 2017; Фокина, 2019). Важное преимущество вермикулитовых сорбентов – возможность их повторного использования после обжига и модифицирования.

На территории Мурманской области находится Ковдорское месторождение – одно из крупнейших месторождений вермикулита в мире. По этой причине использование вермикулита в качестве сорбента для рекультивации и ремедиации нефтезагрязненных земель и ликвидации разливов нефти на акваториях в Мурманской области экономически целесообразно. Встречается вермикулит также на Урале, в Иркутской области, в Красноярском и Приморском краях (Трофимов, 2016; Мязин, 2017; Фокина, 2019).

Работы по использованию вермикулита в качестве нефтяного сорбента проводятся сотрудниками ИППЭС ФИЦ КНЦ РАН. Предложены способы получения сорбентов для очистки почв и акваторий. Вермикулит подвергают термической обработке, обрабатывают гидрофобным кремнийорганическим модификатором и активатором, затем на поверхность сорбента иммобилизируют бактериальные клетки, что дает возможность ускорить процессы разложения нефти и повысить степень очистки. Для очистки акваторий сорбент может быть использован как методом рассыпания, что эффективнее за счет увеличения покрытия нефтяного пятна, так и в виде матов, что снижает оседание сорбента. Очистка почв гидрофобным вермикулитовым сорбентом в матах рекомендована при больших разливах нефти и на начальных стадиях очистки (Фокина, 2019). Термоактивированный модифицированный вермикулит может быть использован не только для очистки поверхности воды или почвы, но и для очистки воды от эмульгированной нефти – водонефтяной эмульсии, образующейся в реальных условиях на морских акваториях. В результате проведенных экспериментов установлено, что сорбент закрепляет пятна водонефтяной эмульсии, облегчая тем самым сбор нефти в прибрежной зоне, и эффективно снижает концентрацию нефти в воде (Мязин, 2017). На основе вспученного вермикулита предприятием ООО «Газтурбо» (г. Санкт-Петербург) выпускается нефтесорбент «Новосорб» (Трофимов, 2016).

Минеральные органические сорбенты

К минеральным сорбентам органической природы относятся углеродные сорбенты (угли, графит, торф), органоминеральные сорбенты (сапропель, диатомиты). Чаще всего для сорбционной очистки жидкостей, газов, а также нефтезагрязнений применяют углеродные материалы. Углеродные сорбенты могут быть естественного или искусственного происхождения, использоваться в природном или модифицированном виде.

Наибольший интерес в качестве источника углеродных сорбентов представляют бурый и каменный уголь. Особое значение имеет использование сорбентов из бурых углей для регионов Восточной Сибири, где есть их большие запасы, стоимость при добыче открытым способом достаточно низкая, а потребность в сорбционной очистке от различных загрязнителей – высока (Домрачева, Трусова, 2012). Углеродные сорбенты, полученные из бурых и каменных углей, имеют достаточно развитую мезопористую структуру, гидрофобные свойства, могут использоваться для удаления нефтяных загрязнений, кроме того, они легко утилизируются в качестве топлива.

Угольный сорбент МИУ – С получают из каменного угля марки Д (длиннопламенного). Благодаря своей развитой поровой структуре, он может использоваться для очистки воды от нефтепродуктов. Исследования показали, что сорбент с порами диаметром от 20 до 40 ангстрем максимально адсорбируют углеводороды (Тернопольская, 2006).

Сорбенты из углей, и торфа часто применяются в виде крошки или порошка (Кулакова, Лисичкин, 2022). Характеристиками дробленых или гранулированных углеродных сорбентов является насыпная плотность, гранулированный состав, механическая прочность. По пористости их относят к группе неоднородно пористых материалов, характеризующихся наличием трещин, пустот – пор различной формы и размеров. Обработка исходного углеродного сырья или использование разных типов сырья позволяет получить пористый углеродный материал с улучшенными характеристиками: свободным поровым пространством и увеличенной сорбционной емкостью. Пористые углеродные материалы (ПУМ) могут быть произведены из различного углеродсодержащего сырья, в том числе, бурых и каменных углей, графита, торфа. К пористым углеродным материалам, полученным обработкой исходного сырья, относятся активированный уголь, терморасширенный графит, модифицированный торф (Кулакова, Лисичкин, 2022).

В качестве сорбента чаще всего применяется активированный уголь. Он обладает высокой пористостью, большой площадью поверхности на единицу массы (от 580 до 1400 м²/г), кроме того, исходное сырье широко распространено, имеет достаточно низкую цену, технология получения активированного угля хорошо отработана и не является слишком затратной, утилизация сжиганием экологически безопасна (Максимович, 2006; Кулакова, Лисичкин, 2022).

Активированный уголь получают по различным технологическим схемам: активация гранул угля водяным паром при температуре 900–950 °С, предварительный пиролиз углеродного сырья в токе азота при температуре 850–900 °С с активацией на следующей стадии двуокисью углерода, модификация химическими реагентами с последующей активацией водяным паром при температуре 850–900 °С (Хоанг и др., 2021).

В работе (Мязин и др., 2020) показано влияние угольного сорбента на ремедиацию нефтезагрязненных почв Арктики. В качестве сорбента был использован ГАУ (гранулированный активированный уголь) марки ВСК. Результаты проведенных исследований позволили сделать выводы, что внесение сорбента (ГАУ) сокращает сроки очистки нефтяных загрязнений, снижает фитотоксичность почвы, повышает эффективность биоремедиации аборигенными или интродуцированными углеводородокисляющими микроорганизмами, а также предотвращает загрязнения близлежащих территорий нефтью и продуктами ее деградации.

В России производится достаточно широкий ассортимент угольных нефтесорбентов. Так, предприятие ЗАО «Карбоника» выпускает активированный уголь марки АБГ из малозольных бурых углей, предназначенный для очистки сточных и оборотных вод. Для удаления нефтепродуктов из воды, ликвидации разливов нефти используются угольные сорбенты, выпускаемые ООО «УралХимСорб» (г. Екатеринбург). Научно-производственное предприятие «Полихим» производит модифицированные углеродные сорбенты марки МАУ, обеспечивающие глубокую очистку сточных вод от различных нефтепродуктов (до 0.05 мг/кг) и легко регенерируемые паром, горячей водой и другими стандартными методами (Трофимов, 2016).

Графит является хорошим поглотителем нефти и нефтепродуктов, но пористость его достаточно низкая, удельная поверхность не превышает 1 м²/г. Для улучшения характеристик графит подвергают модификации. Один из способов модификации – интеркалирование проводится химическим или электрохимическим методом. Получение интеркалированного графита – это реакция взаимодействия природного графита с сильными кислотами, при этом происходит окисление графита и внедрение анионов и молекул свободных кислот в межслоевое пространство. Изменение параметров протекания процессов интеркалирования, выбор химических реагентов позволяет получать материал с определенными заданными свойствами, а также новые материалы – окисленный графит и пенографит (Финаенов и др., 2004; Терещенко и др., 2022). Для очистки воды от загрязнений нефтью может использоваться интеркалированный графит с добавкой аморфной высокодисперсной двуокиси кремния.

Из интеркалированного графита получают терморасширенный, при этом в процессе нагревания происходит частичное удаление внедренных (интеркалированных) агентов, с разрушением углеродных структур. Степень вспенивания будет зависеть как от условий получения и состава интеркалированного графита, так и от структуры исходного сырья. Терморасширенный или терморасщепленный графит характеризуется удельной поверхностью до 100 м²/г, пористостью до 90–98 %, насыпной плотностью от 1 до 10 г/м³. Терморасширенный графит имеет пеноподобную высокопористую структуру, химически инертен (Финаенов и др., 2004). При применении терморасщепленного графита в качестве сорбента степень очистки воды с начальной концентрацией нефтепродуктов 86 г/дм³ составляет 97–98 %. Использованный сорбент может быть утилизирован как топливо (Кулакова, Лисичкин, 2022). Предприятие ООО «Газтурбо» (г. Санкт-Петербург) производит сорбент терморасщепленный графитовый (СТРГ) для очищения поверхности воды и почвы, для очистки сточных вод предприятий от нефтепродуктов до уровня ПДК (Трофимов, 2016).

Торф, сапропель, диатомиты также используются в сорбционной очистке загрязнений нефтью и нефтепродуктами. Их достоинствами являются экологическая чистота, широкое распространение, простота утилизации. Для повышения нефтепоглощения их подвергают модификации. Так, термическая обработка торфа при 250–300 °С позволяет снизить гидрофильность и повысить нефтеемкость (Жучихин и др., 2008).

Высокая нефтепоглощающая способность термомодифицированного торфа позволяет использовать его для очистки сточных вод предприятий нефтепереработки и нефтехимии. Введение

модифицирующих добавок, например, железа, также улучшает сорбционные свойства торфа по отношению к нефтепродуктам (Кулакова, Лисичкин, 2022).

Использование в качестве сорбента смеси торфа и сапропеля, модифицированной солями гуминовой кислоты с двухвалентным металлом, позволяет значительно улучшить свойства сорбента, способность к поглощению нефти в этом случае составляет от 0.3 до 1.25 кг/кг (Гофман и др., 1999).

Важным преимуществом углеродсодержащих сорбентов является возможность использовать в сорбционно-биологической очистке почв. Так, внесение в почву активированного угля и торфа приводит к связыванию нефтяных углеводородов, которые становятся доступны для деградации углеводородоокисляющими микроорганизмами. Кроме того, эти сорбенты являются источниками дополнительного питания для микроорганизмов, обогащают почву азотом и фосфором, повышают аэрацию и влагоемкость почв. Эти процессы особенно важны в Арктической зоне, где северные почвы имеют низкую биологическую активность (Мязин и др., 2020).

Органические сорбенты могут использоваться в качестве подложки для углеводородоокисляющих бактерий. Проводились исследования по разработке эффективных механизмов внесения микроорганизмов в загрязненные почвы. Использовались различные модификации сапропеля и бактерии *Rhodococcus erythropolis*. Эксперименты продемонстрировали, что микроорганизмы хорошо прикрепляются к сапропелевым подложкам, переносят высушивание, хранение, а лучшие результаты по деструкции нефти (65 % убыли нефти через 7 суток) показал образец с меньшей площадью поверхности, что позволило бактериям лучше прикрепиться и сохраниться (Никулина, 2019).

Диатомиты – осадочные горные породы, состоящие в основном из двуокиси кремния, что придает им твердость и химическую стабильность, устойчивость к разрушению. Диатомиты состоят из мелких кремниевых оболочек, образующих поры и каналы, т.е. имеют высокую пористость, что в свою очередь определяет высокие адсорбционные свойства. Эти особенности диатомитов позволяют использовать их в качестве сорбентов широкого спектра, в том числе и для очистки от загрязнений нефтепродуктами. Дополнительное повышение сорбционных свойств достигается модифицированием, например, обработкой истертой в порошок диатомитовой породы раствором сернокислого алюминия и последующим нагреванием (Кулакова, Лисичкин, 2022). На основе диатомитов и другого кремнеземного сырья компанией «Окпур» (г. Екатеринбург) производятся сорбенты ОДМ-1Ф, предназначенный для ликвидации разливов нефти, и «Миксойл», используемый для сбора нефтепродуктов с водных поверхностей и грунта (Трофимов, 2016).

Заключение

Таким образом, минеральные вещества неорганической и органической природы обладают необходимыми качествами (доступность, экологичность, стоимость, физико-химические характеристики и т. д.) для широкого применения их в качестве сорбентов для очистки различных сред от загрязнений нефтяными углеводородами.

Литература

1. Вазыхов И. Т., Кирейчева Л. В., Ильинский А. В., Рогозина Е. А., Александрова М. Т. Способ биологической очистки почв, загрязненных нефтепродуктами. Патент РФ № 2618699. 2017.
2. Волков М. Ю., Ильин А. А., Калилец А. А. Препарат для биodeградации нефтепродуктов «Биоонит» и способ его получения. Патент РФ № 2571219. 2015.
3. Гофман Я. А., Колесников Ю. В., Батура Ю. И., Любченко В. Я., Гаврилов Е. А., Батура В. И. Адсорбент для очистки от нефтепродуктов. Патент РФ № 2124397. 1999.
4. Григорьева Е. А. Сорбционные свойства глауконита Каринского месторождения. Челябинск. 2004. 20 с.
5. Домрачева В. А., Трусова В. В. Адсорбция нефтепродуктов углеродными сорбентами в динамических условиях // iPolytech Journal. 2012. №. 7 (66). С. 135–138.
6. Ерофеевская Л. А., Глязнецова Ю. С. Биопрепарат для биоремедиации нефтезагрязненных почв для климатических условий Крайнего Севера. Патент РФ № 2565549. 2015.
7. Жучихин Ю. С. Способ непрерывного производства торфоминерального гидрофобного нефтяного сорбента. Патент РФ № 2336125. 2008.
8. Иванов А. В. Способ ремедиации нефтесодержащей почвы. Патент РФ № 2681120. 2019.

9. Каменщиков Ф. А., Богомольный Е. И. Нефтяные сорбенты. Москва; Ижевск. Изд-во: Регулярная и хаотичная динамика, 2005. 268 с.
10. Кулакова И. И., Лисичкин Г. В. Ликвидация аварийных разливов нефти. Сорбционная очистка поверхности акваторий от нефтяных загрязнений. Москва. Изд-во: Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, 2022.
11. Максимович Н. Г. Использование сорбентов на основе активного угля для борьбы с разливами нефти. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2006. № 10. С. 19.
12. Мещеряков М. П., Мещерякова Е. Г., Хавронина В. Н., Якубов В. В., Зотов В. Г., Мещеряков И. М. Способ очистки и рекультивации нефтезагрязненных почв. Патент РФ № 2789008. 2023.
13. Мэжри Р. Разработка новых сорбентов на основе природного минерала глауконита для сбора нефти и нефтепродуктов. Пермь, 2021. 16 с.
14. Мязин В. А. Оценка возможности применения минерального сорбента для очистки нефтезагрязненных морских вод. Севастополь. Изд-во: СевГУ, 2017.
15. Мязин В. А., Исакова Е. А., Васильева Г. К. Влияние гранулированного активированного угля на скорость биоремедиации почв Мурманской области, исторически загрязненных нефтепродуктами // Проблемы региональной экологии. 2020. № 2. С. 20–26. DOI: 10.24411/1728-323X-2020-12020.
16. Никулина А. Р. Исследование способности бактерий-нефтедеструкторов восстанавливать загрязненные нефтью почвы // Наука без границ. 2019. № 7 (35). С. 125–128.
17. Овчинников А. С., Мещерякова Е. Г., Мещеряков М. П., Бочарников В. С., Бочарникова О. В., Чушкина Е. И. Способ очистки и рекультивации нефтезагрязненных почв. Патент РФ № 2754448. 2021.
18. Перегудов Ю. С., Мэжри Р., Горбунова Е. М., Нифталиев С. И. Сорбенты на основе глауконита для сбора нефти и нефтепродуктов // Конденсированные среды и межфазные границы. 2020. Т. 22. № 2. С. 87–95.
19. Самойлов Н. А. Особенности сорбционного метода сбора нефти при аварийных разливах // Журнал «Neftegaz.RU». 2023. № 7.
20. Созина И. Д., Данилов А. С. Микробиологическая ремедиация нефтезагрязненных почв // Записки горного института. 2023. № 260. С. 297–312. DOI: 10.31897/PMI.2023.8.
21. Сулименко Л. П., Кошкина Л. Б., Маслобоев В. А. // Вестник Кольского научного центра РАН. 2017. № 1 (9). С. 116–123.
22. Терещенко М. Д., Ябуров М. И., Лукоянов В. Ю., Хименко Л. Л. Обзор существующих методов получения интеркалированного графита // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. 2022. № 71. С. 174–181.
23. Тернопольская М. Г. Физико-химические основы очистки воды угольным сорбентом МИУ-С // Водоснабжение и санитарная техника. 2006. № 7. С. 35–39 (34).
24. Трофимов С. Я. Нефть, сорбция, сорбенты, нефтеемкость, очистка воды от нефтяного загрязнения, нефтезагрязненные грунты. Отчет о НИР / Рук. Трофимов С. Я.; исп. Анохина Н. А. и др. Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова. М. 2016. 45 с. № ГР 116011910185-8.
25. Финаенов А. И., Трифонов А. И., Журавлева А. М. Области применения и получение терморасширенного графита // Вестник СГТУ. 2004. №. 1. С. 77–78.
26. Фокина Н. В. Перспективы использования сорбентов различной модификации при очистке природных сред от нефтепродуктов в условиях Кольского Севера // Вестник МГТУ. 2019. Т. 22. № 1. С. 101–108.
27. Хоанг К. Б., Ондаганова З. К., Флид В. Р., Темкин О. Н. Особенности технологии получения активированных углей на основе антрацита // Химия твердого топлива. 2021. №. 5. С. 3–14.