

## Разработка технологических решений и способов получения гумино-минеральных композиций для задач рекультивации нефтезагрязнённых территорий

© 2020. Е. И. Тихомирова, д. б. н., профессор, зав. кафедрой,  
А. В. Алексашин, аспирант, А. В. Кошелев, к. т. н., с. н. с.,  
О. В. Атаманова, д. т. н., профессор,

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.,  
410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77,  
e-mail: tichomirova\_ei@mail.ru

В работе представлены результаты разработок технологических решений и способов рекультивации нефтезагрязнённых территорий с использованием полученных гумино-минеральных композиций. Разработан способ получения высококонцентрированных растворов гуматов с использованием технологии ультразвукового низкотемпературного синтеза. Основным сырьём для получения гуминовых композиций являлись каустобиолиты (низинный торф и окисленный бурый уголь) с высоким содержанием органических веществ.

Проводили кавитационное диспергирование каустобиолитов совместно с бентонитом в щелочной среде с гранулированием полученной композиции. Изучены механизмы ультразвуковой кавитации каустобиолитов, и обоснована технология получения гумино-минерального мелиоранта на основе бурового шлама.

Исследована эффективность биологической рекультивации нефтезагрязнённого грунта и нефтешламов в условиях полигона биокompостирования с использованием гумино-минерального мелиоранта. Показана перспективность рекультивации техногенного грунта с использованием разработанного гранулированного гумино-минерального мелиоранта и продукта биокompостирования нефтезагрязнённых грунтов. Обосновано получение комплексного гранулированного гумино-минерального детоксиканта и применение его *in situ*.

Проведены полевые испытания по рекультивации нефтезагрязнённых почв и грунта в условиях полигона с использованием полученных гумино-минеральных композиций и технологических агроприёмов их внесения. Применение комплексного гумино-минерального детоксиканта для рекультивации загрязнённых почв обеспечивает формирование потенциально плодородного слоя грунта толщиной не менее 300 мм.

Предложенные технологические решения позволяют существенно сократить экономические и временные затраты на рекультивацию нефтезагрязнённых почв и грунтов.

**Ключевые слова:** гумино-минеральные композиции, нефтешламы, буровые шламы, нефтезагрязнённые почвы и грунты, рекультивация, полигоны биокompостирования.

## Development of technological solutions and methods for obtaining humic-mineral compositions for the tasks of recultivation of oil-contaminated areas

© 2020. E. I. Tikhomirova ORCID: 0000-0001-6030-7344, A.V. Alekshashin ORCID: 0000-0002-7563-4150,  
A. V. Koshelev ORCID: 0000-0002-1623-734X, O. V. Atamanova ORCID: 0000-0002-3220-031X,  
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,  
77, Politekhnikeskaya St., Saratov, Russia, 410054,  
e-mail: tichomirova\_ei@mail.ru

The paper presents the results of the development of technological solutions and methods for the remediation of oil-contaminated areas using the obtained humic-mineral compositions. A method for obtaining highly concentrated solutions of humates using the technology of ultrasonic low temperature synthesis has been developed. The main raw material for the detoxifying composition was caustobiolites (lowland peat and oxidized brown coal) with a high content of organic matter.

The cavitation dispersion of caustobiolites together with bentonite in an alkaline medium with granulation of the resulting composition was carried out. The mechanisms of ultrasonic cavitation of caustobiolites have been studied, and the technology for obtaining a humic-mineral ameliorant based on drill cuttings, including in granular form, has been substantiated.

The effectiveness of biological reclamation of oil-contaminated soil and oil sludge in the conditions of a biocomposting landfill using a humic-mineral ameliorant has been investigated. The prospects for the recultivation of technogenic soil using the developed granular humic-mineral ameliorant and the product of biocomposting of oil-contaminated soils are shown. The preparation of a complex granular humic-mineral detoxifier and its application in situ have been substantiated. Field tests were carried out for the recultivation of oil-contaminated soils and ground in a landfill using the obtained humic-mineral compositions and technological agricultural methods for their introduction. The use of a complex humic-mineral detoxifier for the remediation of contaminated soils ensures the formation of potentially fertile soil with a thickness of at least 300 mm.

The proposed technological solutions can significantly reduce the economic and time costs for the reclamation of oil-contaminated soils and grounds.

**Keywords:** humic-mineral compositions, oil sludge, drill cuttings, oil-contaminated soils and grounds, recultivation, biocomposting sites.

Загрязнение природных объектов нефтепродуктами является одним из наиболее распространённых видов загрязнения. Углеводороды нефти попадают в окружающую среду (ОС) при её добыче, транспортировке, переработке, хранении и использовании нефтепродуктов. Даже хорошее состояние оборудования и высокая производственная дисциплина не исключают возможности аварийных ситуаций, сопряжённых с утечками углеводородов (УВ) нефти, поэтому всегда необходимо учитывать вероятность принятия неотложных мер по очистке загрязнённых объектов [1–2].

Все нефтепродукты имеют сложный химический состав из многих сотен индивидуальных химических веществ, которые включают почти 3000 соединений. От 70 до 90% этих веществ составляют УВ трёх классов: парафиновые, нафтеновые и ароматические. Их воздействие на биосферу неодинаково. Лёгкие фракции обладают наибольшей токсичностью по отношению к живым организмам, но влияние их достаточно кратковременно вследствие быстрого испарения, биodeградации и рассеивания. Тяжёлые фракции менее токсичны, но они значительно ухудшают свойства почв, затрудняя водо- и газообмен. Эти компоненты очень устойчивы и могут сохраняться в почве продолжительное время (десятки лет). Кроме того, некоторые полиароматические соединения, входящие в состав тяжёлых фракций, отличаются высокой мутагенностью и канцерогенностью [3–4].

Особой экологической проблемой, требующей неотложного решения, являются старые хранилища нефтяных шламов, нефти и нефтепродуктов, потерявшие свою герметичность за долгие годы эксплуатации, и занимающие третье место по обширности загрязнения [1].

Опасность нефтяных УВ как загрязнителей ОС обусловлена не только их биологической активностью, но и чрезвычайной под-

вижностью, что приводит к распространению жидких и газообразных УВ на значительные расстояния от источника загрязнения. Вследствие своей высокой миграционной активности они быстро перемещаются за пределы контура первичного загрязнения, что значительно увеличивает площади как поверхностного, так и внутрипочвенного поражения. Распространению УВ сопутствуют такие явления, как смачивание и растекание, сорбция, фильтрация через пористые среды, диффузия и т. п. Жидкие УВ легко проникают в верхние слои почвы. Благодаря высокой адсорбирующей способности почвы, нефтепродукты сохраняются в ней длительное время, вызывая порой необратимые изменения: образование битуминозных солончаков, гудронизацию, цементацию и т. д. Нефтяное загрязнение подавляет микробиологические и биохимические процессы в почве, вызывает изменение структуры биоценозов, активности и направленности почвообразовательных процессов [5–6].

В различных почвенно-климатических условиях концентрация нефти, при которой почвы можно считать загрязнёнными, различна. Она зависит от природных условий, способности данного вида почв к самоочищению, от вида и скорости распада нефти и её токсичности. Весьма значительно влияет на скорость разложения нефти плотность микробной популяции в почве, развитие и видовой состав растительного покрова, а также особенности химического состава загрязнителя (остаточных нефтепродуктов). Показатели очистки грунта, которые можно считать окончательными, позволяющими прекратить очистку и использовать грунт по назначению, зависят от его дальнейшего использования [3, 7–8].

Каждая утверждённая технология рекультивации нефтезагрязнённых почв требует проведения большого комплекса научных исследований, основным критерием

которых должна быть оценка эффективности восстановления процессов самоочищения, а не только достижение минимальной концентрации загрязнителя [9, 10]. В этой связи актуальным является совершенствование технологии рекультивации нефтезагрязнённых земель с использованием современных энергоэффективных и экологически чистых технологий.

Целью нашей работы являлась разработка технологических решений и способов получения гумино-минеральных композиций для рекультивации нефтезагрязнённых территорий.

### Материалы и методы исследования

Объектами исследования были гуматы: гуминовые кислоты (ГК), гумино-минеральный концентрат (ГМК), гумино-минеральный мелиорант (ГММ); гранулированный гуминовый детоксикант (ГГД); бентонит в качестве основного сорбента; нефтезагрязнённая почва и грунт; обезвреженный техногенный грунт с полигона биокompостирования.

Основным сырьём для получения детоксицирующей композиции являлись каустобиолиты (низинный торф и окисленный бурый уголь) с высоким содержанием органических веществ.

Экспериментальные работы выполнены на ультразвуковой установке универсального применения (НПП «Инновационные технологии», г. Саратов).

В ходе работы проводили кавитационное диспергирование каустобиолитов (низинный торф и окисленный бурый уголь с высоким содержанием органических веществ) совместно с бентонитом в щелочной среде с гранулированием полученной композиции.

Методом термогравиметрии определяли содержание гуминовых кислот в исходном сырье и экспериментальных композициях.

Токсичность полученных гумино-минеральных композиций определяли с использованием стандартных методик: «Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодovitости дафний» (ФР 1.39.2007.03222) и «Методика определения токсичности вод и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флюоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей» (ФР 1.39.2007.03223).

Отбор проб нефтезагрязнённого грунта проводили в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83

и ГОСТ 17.4.4.02-84, их анализ – по методике определения массовой доли нефтепродуктов в пробах почв на анализаторе жидкости «Флюорат-02» (ПНД Ф 16.1.21-98).

Химико-аналитические исследования компонентного состава гумино-минеральных композиций, их токсичности и эффективности на модельных загрязнённых образцах почв и грунта проведены в испытательном аккредитованном лабораторном центре «ЭкоОС» (ИЛЦ «ЭкоОС») СГТУ имени Гагарина Ю.А. по стандартным аттестованным методикам.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью пакета программ Statistica 6.0 по известным методикам с учётом критериев Стьюдента.

### Результаты и обсуждение

При разработке технологии получения гумино-минеральных композиций прежде всего проанализировали технологический процесс получения гуматов.

Анализ эффективности описанных в литературе методов санации почв и грунтов [11] показал, что наиболее перспективным является метод обработки грунта активированными ГК или ГМК. Гуминовые препараты оказывают благоприятное влияние на биodeградацию нефти как аборигенной микрофлорой, так и бактериями-нефтедеструкторами. При этом резко увеличивается буферность почв и грунтов: возрастает влагоёмкость, формируются оптимальные почвенная структура и состав почвенного поглощающего комплекса, повышается устойчивость к водной и ветровой эрозии (пылению), а также формируется естественный почвенный микробиоценоз [10–11].

Нами была предложена ультразвуковая технология синтеза солей ГК, которая отличается простотой и эффективностью (99,5–99,8%), а её применение не связано с большими материальными и финансовыми затратами. Анализ данных показал, что коллоидные частицы получаемого на ультразвуковой установке (рис. 1) ГМК мельче частиц бентонита, но обладают большим зарядом. К тому же гель ГМК в водной вытяжке обеспечивает минерализацию на порядок больше (470 мг/л у бентонита против 4230 мг/л у ГМК). Эти свойства предопределяют высокую активность взаимодействия ГМК с компонентами нефтяных загрязнений. Разработка технологии получения ГМК была тесно связана с разработкой технологии производства высококонцентрированных растворов гуматов

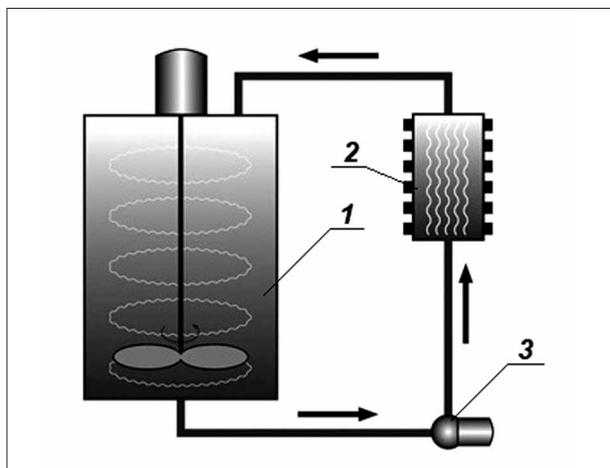


Рис. 1. Схема ультразвуковой установки:  
1 – ёмкость с мешалкой;

2 – ультразвуковой реактор; 3 – насос  
Fig. 1. Diagram of an ultrasonic installation:  
1 – a container with a stirrer; 2 – ultrasonic  
reactor; 3 – pump

с использованием ультразвуковой технологии низкотемпературного синтеза.

Гуминовые вещества относятся к высокомолекулярным соединениям, а стандартные технологии не позволяют в достаточной степени активизировать эти молекулы [11]. Ультразвуковой синтез производится при комнатной температуре, при этом расход электроэнергии на производство 1 литра гуматов составляет примерно 0,15–0,2 кВт/ч, что на порядок дешевле и быстрее общепринятой технологии. Кроме того, происходит частичное разрушение высокомолекулярных соединений гуматов, что приводит к повышенной активности гуматов по сравнению с аналогами. В жидких средах возникает и протекает специфический физический процесс – ультразвуковая кавитация,

обеспечивающий максимальные энергетические воздействия как на сами жидкости, так и на твёрдые тела в жидкостях. В ультразвуковой волне во время полупериодов разрежения возникают кавитационные пузырьки, которые резко захлопываются после перехода в область повышенного давления, порождая сильные гидродинамические возмущения в жидкости, интенсивное излучение акустических волн. При этом в жидкости происходит разрушение поверхностей твёрдых тел, граничащих с кавитирующей жидкостью, в ней возникают такие физико-химические явления, как акустическая кавитация, интенсивное перемешивание, переменное движение частиц, интенсификация массообменных процессов (рис. 2). Дополнительный выход гуматов из сырья обеспечивается за счёт «дробления» на молекулярном уровне структуры экстрагируемого вещества; из аминокислот позволяет получать ионофоры; содержание аминокислот и других активных компонентов в торфе и сапропеле может достигать более 19 наименований общим количеством – до 90 г/кг торфа. Применение низкотемпературного синтеза позволяет сохранить эти вещества и производить биостимуляторы высокого уровня [12].

Это и определило направление наших дальнейших исследований. Был проведён цикл экспериментальных работ по разработке технологических решений создания композиционных гумино-минеральных препаратов, перспективных для рекультивации нефтезагрязнённых почв и грунтов.

Основным сырьём для получения детоксицирующей композиции являлись каустобиолиты (низинный торф и окисленный бурый уголь) с высоким содержанием органических

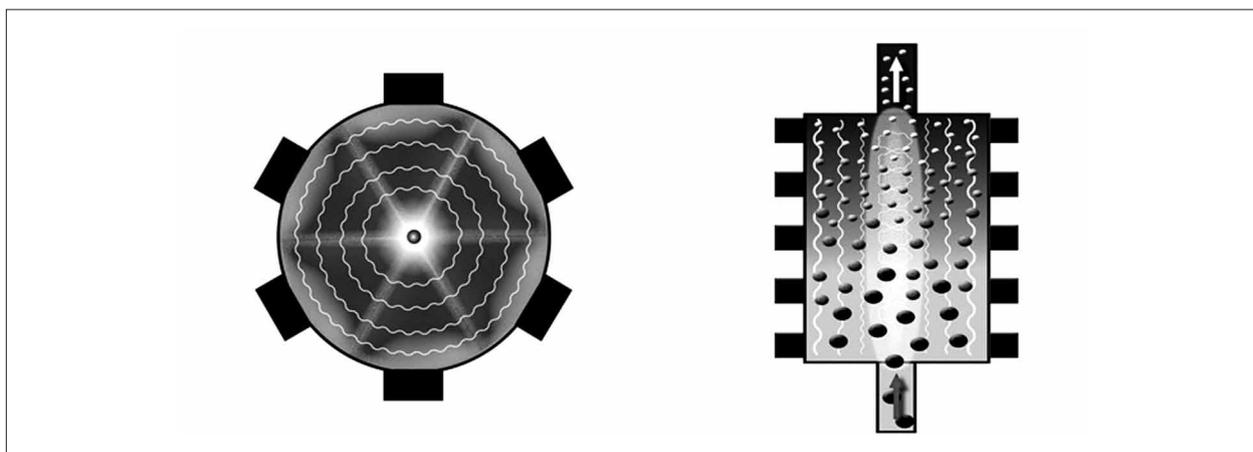


Рис. 2. Схемы кавитационных процессов в реакторе ультразвуковой установки  
Fig. 2. Diagrams of cavitation processes in the reactor of an ultrasonic installation

веществ. Проводили кавитационное диспергирование каустобиолитов совместно с бентонитом в щелочной среде с гранулированием полученной композиции. Разработан высокопроизводительный способ получения гранулированного комплексного гуминового органоминерального детоксиканта. Исходное измельчённое до размера частиц менее 100 мкм сырьё – смесь каустобиолитов угольного ряда (низинный торф или окисленный бурый уголь) с бентонитом обрабатывали в щелочном растворе в мощном (более 10 Вт/см<sup>2</sup>) ультразвуковом поле. Благодаря высокой мощности ультразвукового излучателя, концентрация сырья в растворе может достигать до 40% с выходом солей гуминовых кислот 90 мас.% и более от органической составляющей каустобиолита (сухой беззольной массы бурого угля). Концентрация исходного водного щелочного раствора составляет от 5 до 10 мас.% для поддержания в процессе гидролиза рН от 10,5 до 12,0 ед. Для приготовления щелочного раствора использовали гидроксиды калия, натрия, аммония отдельно либо в смеси. Концентрацию бентонита в исходной смеси определяли экспериментально по способности полученной композиции к грануляции. Температурный режим всех технологических операций предусматривает максимально допустимый предел не выше 60 °С с целью предотвращения деструкции макромолекул гуматов в растворе.

Сущность разработанного способа получения ГГД заключается в получении гранулированной высокоэффективной многокомпонентной детоксицирующей композиции на основе солей ГК и бентонита. Нами были проведены химико-аналитические исследования состава полученных исходных ГК, ГММ и ГГД, оценка эффективности их использования в лабораторных условиях на модельных образцах почв, загрязнённых компонентами нефти и буровых шламов. Показано, что при использовании разработанного гранулированного гуминового детоксиканта обезвреживание токсичных соединений различной природы осуществляется как органическими (соли гуминовых и фульвовых кислот), так и неорганическими (бентонит, соединения кальция, железа, фосфорная кислота и др.) составляющими. Это позволяет, в частности, переводить соединения тяжёлых металлов, ртути и мышьяка в нерастворимое состояние. Проведена оценка токсичности ГГД по общепринятым методикам и получены результаты, подтверждающие его безвредность для

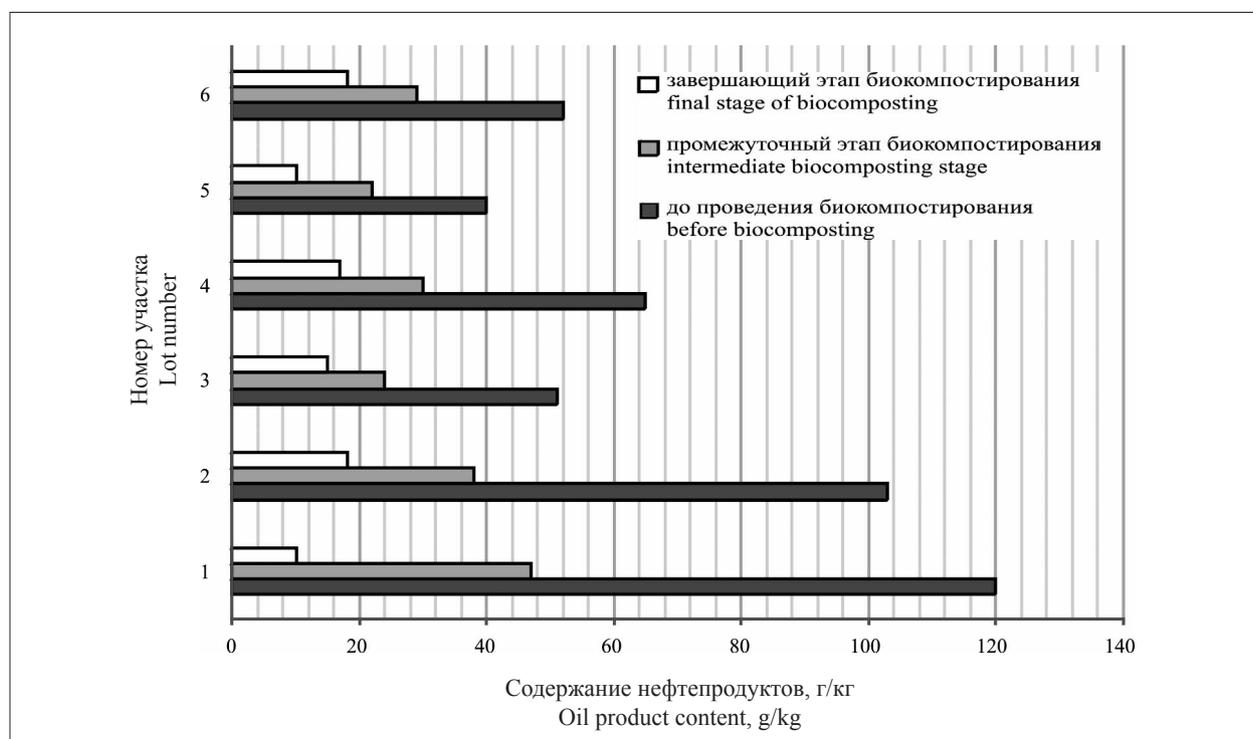
объектов ОС. С учётом доказанных фактов стимуляции биологической активности почв, и описанных выше данных, получено обоснование перспективности использования ГГД для биологической ремедиации почв.

Далее представляло интерес провести исследования эффективности биологической рекультивации нефтезагрязнённого грунта и нефтешламов в условиях полигона биокомпостирования. Весь объём грунта тщательно перемешивался со структуратором экскаватором и распределялся по площадкам в количестве 250 или 750 м<sup>3</sup> в зависимости от объёма с использованием самосвала. После распределения загрязнённого грунта по площадкам полигона проводили формирование буртов, внесение разработанных композиций, удобрений, полив, перемешивание, мониторинг и проведение контрольных анализов. Заканчивали этот этап принятием решения о дальнейшем использовании очищенного грунта в зависимости от достигнутого уровня очистки. Такими направлениями могут быть: 1) использование на промплощадке (строительное направление использования): для отсыпки территории, обвалования ёмкостей; 2) доочистка грунта методом фиторемедиации.

Проведён сравнительный анализ содержания нефтепродуктов в буртах по точкам забора проб до проведения работ по биоремедиации и в сезонной динамике процесса ремедиации (рис. 3).

Рекультивация накопленного грунта и нефтешламов, проводившаяся в условиях указанного полигона, со средним уровнем загрязнения нефтепродуктами 72 г/кг показала 88% очистку за период с апреля по октябрь.

Детальный анализ качества образуемого техногенного грунта послужил основанием для разработки способа рекультивации нефтезагрязнённых почв и грунта с использованием продукта биокомпостирования и ГГД, т. е. созданием ещё одного комплексного препарата. Полученный комплексный органоминеральный мелиорант состоит из двух частей ГГД и одной части продукта биокомпостирования нефтяного шлама и нефтезагрязнённых грунтов [13]. Разработанный способ рекультивации нефтезагрязнённых территорий *in situ* заключается в том, что формирование потенциально плодородного слоя грунта толщиной 300 мм осуществляется путём внесения на рекультивируемую территорию комплексного органоминерального мелиоранта в пропорции от 10:1 (примерно 45 кг мелиоранта на 1 м<sup>2</sup>)



**Рис. 6.** Сравнительный анализ содержания нефтепродуктов в буртах полигона биокomпостирования по участкам забора проб до проведения работ по биоремедиации и в сезонной динамике с мая по октябрь (№№ 1–6)

**Fig. 6.** Comparative analysis of the content of petroleum products in the heaps of the biocomposting landfill in the areas of sampling prior to bioremediation and in seasonal dynamics from May to October (No. 1–6)

до 15:1 (примерно 30 кг/м<sup>2</sup>) с тщательным перемешиванием. Предложенный нами способ применения комплексного органоминерального мелиоранта отличается от всех известных прототипов тем, что его можно использовать на загрязнённых территориях, обеспечивая периодическое перемешивание, увлажнение и контроль остаточного содержания нефтепродуктов. Кроме того, можно проводить посадки многолетних травянистых растений в первый сезон, регулярно осуществляя полив растворами солей ГК с разведением ГК в пропорции 1:200. Таким образом, с помощью предложенного способа решается важная экологическая задача – утилизация продукта биокomпостирования нефтяного шлама и нефтезагрязнённых грунтов с одновременной рекультивацией загрязнённых территорий, включая фиторемедиацию. Наши технические решения относятся к области экологической безопасности и могут быть использованы для рекультивации грунта при восстановлении северных техногенных территорий в Арктической зоне Российской Федерации, рекультивации территорий предприятий оборонного и химического профиля, производивших ранее высокотоксичные вещества, обустройстве

неорганизованных полигонов захоронения промышленных отходов и других объектов накопленного в прошлом экологического ущерба. Применение предложенного способа рекультивации нарушенных земель обеспечивает формирование потенциально плодородного слоя грунта толщиной не менее 300 мм.

### Заключение

При проведении комплекса исследований были изучены механизмы ультразвуковой кавитации каустобиолитов, и обоснована технология получения гумино-минерального мелиоранта. Исследована эффективность биологической рекультивации нефтезагрязнённого грунта и нефтешламов в условиях полигона биокomпостирования; получены новые данные об эффективности использования разработанных композиционных препаратов в процессе рекультивационных работ нефтезагрязнённых территорий. Разработан способ рекультивации с использованием гумино-минерального детоксиканта и продукта биокomпостирования нефтезагрязнённых грунтов.

Предложенные технологические решения позволяют существенно сократить экономиче-

ские и временные затраты на рекультивацию нефтезагрязнённых почв и грунтов. Эффективность их применения подтверждена комплексом полевых исследований.

### References

1. Melekhina E.N., Kanev V.A., Markarova M.Yu., Nadezhkin S.M., Nowakowski A.B., Taskaeva A.A., Tarabukin D.V., Velegzhaninov I.O., Rasova E.E. Assessment of the state of oil-polluted ecosystems in the European Subarctic: a multidisciplinary approach // *Theoretical and Applied Ecology*. 2020. No. 2. P. 123–129 (in Russian). doi:10.25750/1995-4301-2020-2-123-129
2. Lupachev A.V., Deeva N.F., Aladin D.Yu., Sevostyanov S.M., Deux D.V. Analysis of pollution by oil products and organochlorine compounds of soils and grounds in the vicinity of Russian Antarctic stations // *Theoretical and Applied Ecology*. 2017. No. 2. P. 49–53 (in Russian). doi:10.25750/1995-4301-2017-2-049-053
3. Glazovskaya M.A. Restoration of oil-contaminated soil ecosystems / Ed. M.A. Glazovskaya. Moskva: Nauka, 1988. 239 p. (in Russian).
4. Konning M., Hupe K., Luth J.C. Comparative investigations into the biological degradation of contaminants in fixed-bed and slurry reactors // *Contaminated Soil 98*. Thomas Telford, London, 1998. P. 531–538.
5. Ahrens V.Zh., Saushin A.Z., Gridin O.M. Cleaning the environment from hydrocarbon pollution. Moskva: Interbook, 1999. 371 p. (in Russian).
6. Puustinen J., Jorgensen K.S., Strandberg T. Bioremediation of oil-contaminated soil from service stations: evaluation of biological treatment // *Contaminated Soil 95* / Ed. W.J. van den Brink. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1995. P. 1325–1326.
7. Guha S., Jaffe P.R. Bioavailability of hydrophobic compounds partitioned into the micellar phase of non-ionic surfactants // *Environ. Sci. Technol.* 1996. No. 30. P. 1382–1391. doi: 10.1021/es950694p
8. Porta A., Trovato A., McCarthy K. Degradation of saturated and polycyclic aromatic hydrocarbons and formation of their metabolites in bioremediation crude oil-containing soils // *Situ and Onsite Bioremediation: V. 1* / Eds. B.C. Alleman, A. Leeson. Battelle press, Columbus, OH, 1997. P. 505–510.
9. Korshunova T.Yu., Chetverikov S.P., Loginov O.N. Prospects for the use of a consortium of hydrocarbon-oxidizing microorganisms for the purification of oil-contaminated soil in the Far North // *Theoretical and Applied Ecology*. 2016. No. 1. P. 88–94 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2016-1-095-097
10. Degtyareva I.A., Motina T.Yu., Babynin E.V., Ezhkova A.M., Davletshina A. Ya. Ecological and toxicological assessment of the bioremediation process of oil-contaminated soil // *Theoretical and Applied Ecology*. 2020. No. 3. P. 196–202 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2020-3-196-202
11. Lee S.P., Khudaibergenova B.M., Pulatova Z.M., Prokhorenko V.A. Detoxifying properties of humic preparations in relation to Cd(II), Pb(II), Cu(II) // *Theoretical and Applied Ecology*. 2016. No. 1. P. 82–87 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2016-1-088-094
12. Aleksashin A.V., Koshelev A.V., Tikhomirova E.I. Humic organo-mineral detoxifier for biological soil remediation // *Environmental problems of nature and subsoil use: Proceedings of the International scientific. conf.* / Ed. V.V. Kurylenko. Sankt-Peterburg: SPbSU, 2019. V. XIX. P. 161–165 (in Russian).
13. Koshelev A.V., Aleksashin A.V., Tikhomirova E.I., Matveev M.A. On the issue of using drill cuttings and the product of biocomposting oil sludge and oil-contaminated soils for the reclamation of technogenic soil // *Environmental problems of industrial cities: a collection of scientific papers based on the materials of the 9th International Scientific and Practical Conference* / Ed. E.I. Tikhomirova. Saratov: Publishing house of SSTU, 2019. P. 253–257 (in Russian).