

УДК: 502.662.2, 631.472.74, 502.7

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-380-3-104-108

И.А. Дегтярева ✉

Г.Ф. Рахманова

Федеральный исследовательский центр
«Казанский научный центр Российской
академии наук», Казань, Россия

✉ peace-1963@mail.ru

Поступила в редакцию:
17.07.2023

Одобрена после рецензирования:
13.02.2024

Принята к публикации:
29.02.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-380-3-104-108

Irina A. Degtyareva ✉

Gulnara F. Rakhmanova

Federal Research Center "Kazan Scientific
Center of the Russian Academy of Sciences",
Kazan, Russia

✉ peace-1963@mail.ru

Received by the editorial office:
17.07.2023

Accepted in revised:
13.02.2024

Accepted for publication:
29.02.2024

Ускоренная технология очистки нефтезагрязненных почв

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Теоретически обоснована уникальность практического применения ускоренной и экологически безопасной технологии рекультивации нефтезагрязненных земель, в которой используются местное минеральное сырье, консорциум автохтонных углеводородоокисляющих бактерий с полифункциональными положительными свойствами, эффективные растения — фитомелиоранты. Углеводородное загрязнение ликвидируется непосредственно на месте разлива, а скорость возврата нарушенных почв в сельскохозяйственный оборот в 3–4 раза быстрее традиционных приемов.

Методы. Объекты исследований: механоактивированный бентопорошок и нанобентонит, консорциум углеводородоокисляющих бактерий, составленный из трех автохтонных штаммов. Почва — чернозем выщелоченный. Пшеница — яровая. Нефть — девонская. Концентрация загрязнения нефтью на участке составила 6,4%. Бентопорошок и нанобентонит вносили в дозах 6,0 т/га и 0,3 т/га соответственно. Отбор проб проводили пробоотборником на 0-е, 15-е, 30-е, 90-е сутки.

Результаты. Рекомендованы оптимальные дозы внесения бентопорошка и нанобентонита в нарушенную почву выше среднего уровня загрязнения (6,0 т/га и 0,3 т/га соответственно). Спустя 15 суток уровень загрязнения уменьшается вдвое (до 51,1 г/кг и 40,8 г/кг с бентопорошком и нанобентонитом соответственно). Удаления внесенного минерального сорбента не требуется, так как он в дальнейшем становится источником минерального питания для автохтонных микроорганизмов-деструкторов и почвоулучшителем. На втором инновационном этапе применяют консорциум, сформированный из эффективных штаммов и адаптированный к конкретным условиям. Штаммы консорциума встраиваются в экологическую нишу, адаптируются и начинают активно развиваться, утилизируя нефть и нефтепродукты. Спустя месяц уровень загрязнения снижается до 19,2 г/кг и 9,2 г/кг при внесении бентопорошка и нанобентонита соответственно.

Ключевые слова: почва, нефть, рекультивация, природные минералы, углеводородоокисляющие бактерии, фитомелиоранты

Для цитирования: Дегтярева И.А., Рахманова Г.Ф. Ускоренная технология очистки нефтезагрязненных почв. *Аграрная наука*. 2024; 380(3): 104–108.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-104-108>

© Дегтярева И.А., Рахманова Г.Ф.

Accelerated technology for cleaning oil-contaminated soils

ABSTRACT

Relevance. The uniqueness of the practical application of accelerated and environmentally safe technology for the reclamation of oil-polluted lands, which uses local mineral raw materials, a consortium of autochthonous hydrocarbon-oxidizing bacteria with multifunctional positive properties, effective phytomeliolants, is theoretically substantiated. Hydrocarbon pollution is eliminated directly at the spill site, and the rate of return of disturbed soils to agricultural circulation is 3–4 times faster than traditional methods.

Methods. Objects of research: mechanically activated bentopowder and nanobentonite, a consortium of hydrocarbon-oxidizing bacteria composed of three autochthonous strains, soil leached chernozem, spring wheat, Devonian oil. The concentration of oil pollution at the site was 6.4%. Bentopowder and nanobentonite were introduced in doses of 6.0 t/ha and 0.3 t/ha, respectively. Sampling was carried out with a sampler on the 0th, 15th, 30th, and 90th days.

Results. The optimal doses of application of bento powder and nano bentonite to disturbed soil above the average pollution level (6.0 t/ha and 0.3 t/ha respectively) are recommended. After 15 days, the level of contamination is halved (to 51.1 g/kg and 40.8 g/kg with benton powder and nanobentonite respectively). Removal of the introduced mineral sorbent is not required, since it later becomes a source of mineral nutrition for autochthonous microorganisms-destructors and a soil improver. At the second innovative stage, a consortium formed from effective strains and adapted to specific conditions is used. The strains of the consortium fit into an ecological niche, adapt and begin to actively develop, utilizing oil and petroleum products. After a month, the level of contamination decreases to 19.2 g/kg and 9.2 g/kg with the addition of benton powder and nanobentonite respectively.

Key words: soil, oil, remediation, natural minerals, hydrocarbon-oxidizing bacteria, phytomeliolants

For citation: Degtyareva I.A., Rakhmanova G.F. Accelerated technology for cleaning oil-contaminated soils. *Agrarian science*. 2024; 380(3): 104–108 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-104-108>

© Degtyareva I.A., Rakhmanova G.F.

Введение/Introduction

Почва представляет собой чрезвычайно сложную среду, которая выполняет жизненно важные функции и создает многочисленные экосистемные услуги. Поскольку ее формирование является крайне медленным процессом, почву можно рассматривать как важнейший и невозобновляемый ресурс [1, 2].

В современном мире глобальной проблемой остается восстановление загрязненных нефтяными углеводородами почв, особенно сельскохозяйственного назначения, приводящее к их необратимым и неблагоприятным изменениям [3]. При этом структура и функции почв нарушаются радикально: снижается плодородие, усиливается эрозия, происходят нарушение почвенного покрова, засоление, отторжение площадей из сельскохозяйственного использования и др. [4, 5]. Токсический эффект высоких концентраций нефти приводит к подавлению роста или полной гибели высших растений [6]. В итоге спустя месяцы и годы загрязнение уменьшается, в том числе в результате самоочищения, но никогда почвенная экосистема не возвращается к своему первоначальному состоянию.

Рекультивацию нарушенных почв необходимо проводить с учетом значимых составляющих: (1) местные природно-климатические условия территории; (2) степень и характер загрязнения; (3) тип почвы и рельеф местности. Последовательность операций для разного уровня загрязнения следующая. На техническом этапе (при высоком уровне загрязнения) предпочтительны эффективные сорбенты, в том числе природные минералы [7]. Бентониты, вермикулиты, глаукониты, цеолиты не только прекрасные сорбенты, удобрения, но и мелиоранты, структураторы нефтезагрязненных почв [8, 9]. Выбор сорбентов обуславливается компонентным составом, принципом воздействия, происхождением [10].

На биологическом этапе, когда загрязненность становится меньше (средний уровень загрязнения), перспективны биопрепараты на основе консорциумов автохтонных углеводородоокисляющих микроорганизмов. Перечень этих представителей значителен, они быстро и качественно способны восстановить нарушенный земельный участок, утилизируя загрязнение *in situ* (при дополнительном рыхлении, внесении удобрительных смесей и др.) [11–13]. Только когда содержание углеводородов нефти становится низким, возможен посев мелиоративных растений, адаптированных к конкретной местности [10]. Поэтому биологическая очистка (применение биопрепаратов, нефтестойких растений) является предпочтительной, так как в борьбе с проблемой загрязнения среды важно учитывать не только эффективность работы, но и экологическую безопасность для исключения вторичного загрязнения.

Все нарушенные территории различаются между собой, поскольку на каждую зону воздействуют разные факторы, что влияет на формирование почвенного биоценоза [14]. По этой причине важно подбирать эффективный метод восстановления конкретно для каждой загрязненной территории, исходя из особенностей местности.

Цель исследования — применение ресурсного потенциала местного минерального сырья, автохтонных бактерий и фитомелиорантов в технологии рекультивации нефтезагрязненных почв.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Эксперименты проводили на территории, загрязненной нефтью в Азнакаевском районе Республики Татарстан, по следующей схеме (опыт № 1): 1) контроль (незагрязненная почва); 2) почва + нефть (6,4%); 3) почва + нефть (6,4%) + консорциум микроорганизмов (КМ); 4) почва + нефть (6,4%) + бентопорошок; 5) почва + нефть (6,4%) + нанобентонит; 6) почва + нефть (6,4%) + КМ + бентопорошок; 7) почва + нефть (6,4%) + КМ + нанобентонит.

Объектами исследований выступили: сорбенты (*механоактивированный бентопорошок*, полученный из бентонита Тарн-Варского месторождения, и наноразмерный бентонит); консорциум углеводородоокисляющих бактерий (*Staphylococcus warneri* S1 (ВКПМ: В-13521), *Achromobacter xylosoxidans* A-10 (RCAM02109), *Micrococcus luteus* M-171 (RCAM03279); выщелоченный чернозем: гумус — 8,1–10,6%, pH_{KCl} — 7,04, N_f — 0,65 мг-экв. / 100 г почвы, $N_{щел.}$ — 16,5 мг/кг, P_2O_5 — 47–62 мг/кг, K_2O — 98–111,3 мг/кг; пшеница яровая сорта Йолдыз; нефть девонская (Ромашкинское нефтяное месторождение РТ).

Химический состав бентонита Тарн-Варского месторождения представлен в процентах: SiO_2 — 66,6, TiO_2 — 0,6, Al_2O_3 — 17,04, Fe_2O_3 — 5,5, MnO — 0,03, CaO — 0,8, MgO — 1,5, Na_2O — 0,2, K_2O — 2,6, P_2O_5 — 0,1, SO_3 — 0,4, п. п. — 5,1. Соединения кадмия, ртути, мышьяка и свинца отсутствуют. Минеральный состав: монтмориллонит — 80,0–82,0%, гидрослюда — 6,0–8,0%, каолинит — 6,0%, кварц — 5,0–7,0%. Имеет подвижную ленточно-слоистую структуру с разбухающими пакетами. Химический состав определяли методом количественного спектрального анализа на спектрометре ЭС-1 на базе дифракционного спектрографа ДФС-458С и фотоэлектронного регистрирующего устройства типа ФП-4, оснащенных компьютерной программой, без специальной пробоподготовки. Нанобентонит изготавливали в научно-исследовательском инновационно-прикладном центре «Наноматериалы и нанотехнологии» (г. Казань) по методу получения наночастиц «сверху вниз»¹. У нанобентонита определена безопасность применения с использованием бактериальных тест-систем [10].

Агрохимические показатели почвы определяли в соответствии со стандартными методическими указаниями: содержание органического вещества — по методу Тюрина в модификации ЦИНАО², pH солевой вытяжки — по методу ЦИНАО³, гидролитическую кислотность — по методу Каппена в модификации ЦИНАО⁴, сумму поглощенных оснований — по методу Каппена⁵, щелочно-гидролизующий азот — по методу Корнфилда⁶, подвижные соединения фосфора и калия — по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО⁷.

¹ Исследования в области нанобиотехнологий в сельском хозяйстве и международное сотрудничество с Социалистической Республикой Вьетнам / под общ. ред. А.Х. Яппарова. Казань: Центр инновационных технологий. 2017; 320.

² ГОСТ 26213-2021 Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Российский институт стандартизации. 2021; 12.

³ ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам. 1985; 7.

⁴ ГОСТ 26212-2021 Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. М.: Российский институт стандартизации. 2021; 12.

⁵ ГОСТ 27821-2020 Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена. М.: Стандартинформ. 2020; 9.

⁶ Методические указания по определению щелочно-гидролизующего азота в почве по методу Корнфилда. Москва. 1985; 9.

⁷ ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ. 2013; 11.

Определение содержания углеводородов в образцах почвы проводили пробоотборником на 0-е, 15-е, 30-е и 90-е сутки в соответствии с ПНД Ф 16.1:2.2.22-98⁸. Содержание нефти в почве составило 6,4% (высокий уровень загрязнения). Титр бактериальной суспензии консорциума углеводородокисляющих микроорганизмов — $2,5 \times 10^{12}$ КОЕ/см³. Бентопорошок и нанобентонит вносили в дозах 6,0 т/га и 0,3 т/га соответственно, бентопорошок — вручную, поверхностно, вразброс, нанобентонит, представляющий собой суспензию, — ранцевым опрыскивателем. Контролем являлась почва без растений. Учетная площадь делянки — 0,25 м².

Определение фитотоксичности (опыт № 2) проводили в теплице с естественным освещением в летний период по схеме: 1) контроль (незагрязненная почва); 2) почва + нефть (3,0%); 3) почва + нефть (3,0%) + КМ; 4) почва + нефть (3,0%) + бентопорошок; 5) почва + нефть (3,0%) + нанобентонит; 6) почва + нефть (3,0%) + КМ + бентопорошок; 7) почва + нефть (3,0%) + КМ + нанобентонит. Фитотоксичность выщелоченного чернозема оценивали по воздействию водных вытяжек (в соотношении (по массе) «почва — вода» 1:5) исследуемых почв на семена яровой пшеницы сорта Йолдыз⁹. Фитотестирование основывалось на сравнении длины проростков и корешков исследуемой культуры в контрольном и опытных

вариантах спустя 30 и 90 суток. Токсичность рассчитывали по формуле:

$$T = 100 - \frac{O}{K} \times 100\%,$$

где O — длина проростков (корешков) в опыте, K — длина проростков (корешков) в контроле.

Измерение всех параметров проводили в трехкратной повторности, статистическую обработку результатов — с помощью электронных таблиц Microsoft Office Excel (США). Достоверность различий полученных результатов оценивали с использованием коэффициента Стьюдента ($p \leq 0,05$).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Учитывая низкую скорость биodeградации токсичного вещества при самоочищении, необходимо предварительное обследование загрязненного участка для уточнения этапов ремедиационных работ. Значительно ускорить процесс восстановления нарушенных почв любого уровня загрязнения в нефтедобывающих регионах России позволяет инновационная технология, включающая три значимых блока: применение минеральных сорбентов, консорциума автохтонных бактерий и эффективных растений — фитомелирантов (рис. 1).

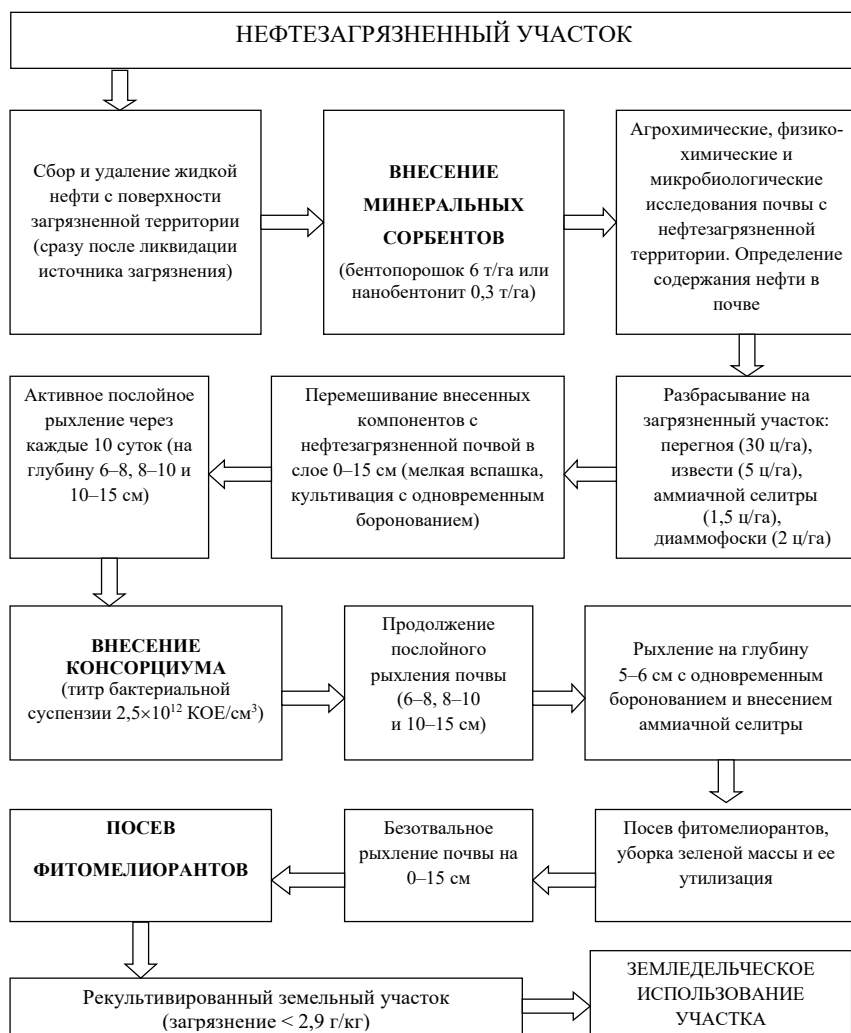
Первый инновационный этап включает сорбцию разлитой нефти при помощи природных минералов, запасы которых в России значительны. Предварительно установлены оптимальные дозы внесения бентопорошка и нанобентонита (6,0 т/га и 0,3 т/га соответственно) в нарушенную почву высокого уровня загрязнения. Отсутствие генотоксичности и антимутагенный эффект нанобентонита позволяют рекомендовать его при восстановлении нарушенных почв [10].

Спустя 15 суток уровень загрязнения уменьшается значительно: при использовании бентопорошка — до 51,1 г/кг, при внесении нанобентонита — до 40,8 г/кг. Специфическая особенность представленной технологии состоит в том, что удаления внесенного минерального сорбента не требуется, так как он в дальнейшем становится источником минерального питания для автохтонных микроорганизмов-деструкторов и почвоулучшителем.

Проведение агрохимических, физико-химических, микробиологических исследований и определение содержания нефти в загрязненной почве — очередной этап, включающий обследование этой территории и оценку ее

Рис. 1. Ускоренная технология рекультивации

Fig. 1. Accelerated remediation technology



⁸ ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии. Москва. 1998; 35.

⁹ Алимova Ф.К. Методические указания к выполнению лабораторных работ по теме «Экология микроорганизмов». Казань: Изд-во КГУ. 1993; 42.

состояния. Для стимуляции активности микроорганизмов и усиления окислительных процессов проводят рыхление. Обязательно внесение питательных веществ и структураторов, таких как перегной, известь, аммиачная селитра и диаммофоска (рис. 1).

В процессе биоремедиации правильно подобранная автохтонная микрофлора является перспективным подходом при очистке окружающей среды от нефти и ее производных, поэтому на втором инновационном этапе применен консорциум, сформированный из эффективных штаммов и адаптированный к конкретным условиям. Штаммы консорциума в течение 30 суток встраиваются в экологическую нишу, адаптируются и начинают активно развиваться, утилизируя нефть и нефтепродукты. За этот период уровень загрязнения снижается до 19,2 г/кг и 9,2 г/кг (при первоначальном использовании бентопорошка и нанобентонита соответственно).

Отметим, что штаммы-деструкторы выделены из почв Татарстана, идентифицированы и депонированы в ведомственных коллекциях Российской Федерации — во Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов¹⁰ (ВКПМ) и Ведомственной коллекции микроорганизмов сельскохозяйственного назначения (RCAM)¹¹. Автохтонные штаммы не генотоксичны, экологически безопасны, обеспечивают прогнозируемость результатов. Их стоимость значительно ниже стоимости промышленных биопрепаратов [11].

Третий инновационный блок — применение мелиоративных растений для конкретного типа почвенных нарушений. Перечень дикорастущих и окультуренных видов для фиторемедиации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, достаточно обширен (табл. 1).

На заключительном этапе на 90-е сутки при использовании технологии именно благодаря фитомелиорантам уровень загрязнения снижается до 2,4 г/кг и 0,7 г/кг (где первоначально внесены бентопорошок и нанобентонит соответственно).

Рекомендуем включать в полевые севообороты растения: из семейства злаковых — пшеницу яровую (*Triticum vulgare* L.), из семейства бобовых — горох посевной (*Pisum sativum* L.), вику посевную (*Vicia sativa* L.), люцерну изменчивую (*Medicago × varia Martyn*).

Для выявления эффективных мелиоративных растений, устойчивых к углеводородным поллютантам, проводятся исследования, включающие определение длины проростка и корешка и др. Фитотоксичность загрязненной почвы в отношении длины проростка и корешка яровой пшеницы представлена на рисунках 2, 3.

Депрессия длины проростка в варианте с загрязненной почвой (почва + 6,4% нефти) на 30-е и 90-е сутки составила 7,1% и 3,9%, длина корешка — 13,3% и 2,5% соответственно.

Самый впечатляющий по скорости восстановления результат получен в варианте, где консорциум соединен с нанобентонитом: фитотоксический эффект в отношении длины проростка и корешка на 30-е сутки ниже варианта (почва + 3,0% нефти) на 5,1% и 6,8%, на 90-е сутки — на 2,6% и 1,5% соответственно.

Детальное исследование поллютанта на тест-растение в опытных вариантах показывает, что единичные компоненты существенно снижают токсический эффект внесенной нефти спустя 30 суток (на 1,9–4,8% — длина проростка, 1,2–5,5% — корешка) и 90 суток

Таблица 1. Вегетационный период нефтестойких растений
Table 1. Vegetation period of oil-resistant plants

Требование	Фитомелиорант	Онтогенез, сутки
Толерантность к: токсикантам, изменениям температуры, повышенным концентрациям соли, засухе, стресс-факторам и др.	вика посевная (<i>Vicia sativa</i> L.)	74–120
	горох посевной (<i>Pisum sativum</i> L.)	60–140
	дягиль лекарственный (<i>Angelica archangelica</i> L.)	100–160
	ежа сборная (<i>Dactylis glomerata</i> L.)	75–90
	козлятник лекарственный (<i>Galega officinalis</i> L.)	110–112
	кострец безостый (<i>Bromopsis inermis</i> Holub.)	80–110
	люцерна изменчивая (<i>Medicago × varia Martyn</i> .)	120–130
	овес посевной (<i>Avena sativa</i> L.)	90–120
	овсяница луговая (<i>Festuca pratensis</i> Huds.)	90–118
	прибрежница береговая (<i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan) Parl.)	125–135
	пшеница мягкая (<i>Triticum aestivum</i> L.)	70–110
	пшеница яровая (<i>Triticum vulgare</i> L.)	62–125
	райграс (<i>Arrhenatherum</i>)	65–90
	рожь многолетняя (<i>Secale cereale</i> L.)	120–150
	свиной (<i>Cynodon Dactylon</i> L. Pers.) и др.	90–135

Примечание: длина вегетационного периода зависит от сорта и условий выращивания.

Рис. 2. Влияние почвенной вытяжки на длину проростка, % к контролю

Fig. 2. Effect of soil extract on seedling length, % to control

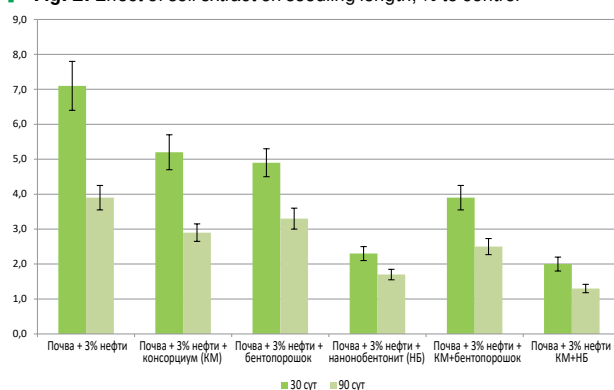
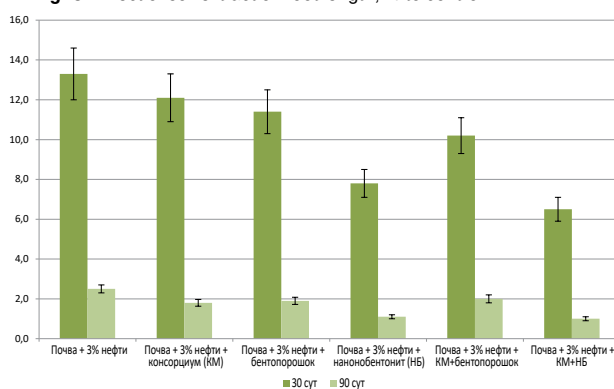


Рис. 3. Влияние почвенной вытяжки на длину корешка, % к контролю

Fig. 3. Effect of soil extract on root length, % to control



(на 0,6–2,2% — длина проростка, на 0,6–1,4% — корешка).

Таким образом, все три инновационных блока оказывают быстрое и экологически безопасное действие на загрязненную почвенную экосистему, способствуя ее восстановлению в течение одного вегетационного сезона.

¹⁰ <https://vkpm.genetika.ru/>

¹¹ <https://arriam.ru/>

Выводы/Conclusion

У представленной технологии рекультивации с использованием вышеуказанных блоков (в комплексе с агрохимическим и биологическим мониторингом) имеются неоспоримые достоинства: применение местного сырья, автохтонных бактерий и эффективных фитомелиорантов; возможность ликвидировать углеводородное загрязнение непосредственно на месте разлива; экологическая безопасность реализации технологических

решений; скорость возврата нарушенных почв в сельскохозяйственный оборот в 3–4 раза быстрее традиционных приемов.

Считаем, что восстановление нарушенных почвенных экосистем требует скорейшего принятия мер, в том числе законодательного характера, по усилению ответственности пользователей за порчу почв и ухудшение их плодородия.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в работу.

Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.

Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors made an equal contribution to the work.

The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.

The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены в рамках государственного задания № FMEG-2021-0003 (регистрационный № 121021600147-1).

FUNDING

The research was carried out within the framework of state assignment No. FMEG-2021-0003 (registration No. 121021600147-1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Хазиев Ф.Х. Почва и экология. *Вестник Академии наук Республики Башкортостан*. 2017; 24(3): 29–37. <https://www.elibrary.ru/znhunv>
- Hou D., Bolan N.S., Tsang D.C.W., Kirkham M.B., O'Connor D. Sustainable soil use and management: An interdisciplinary and systematic approach. *Science of The Total Environment*. 2020; 729: 138961. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138961>
- Абакарова А.Б. Актуальные проблемы правовой охраны почв. *Молодой ученый*. 2020; (3): 161–162. <https://www.elibrary.ru/lbhymg>
- Байрамова А.Р. Влияние нефтяного загрязнения на плодородие почв. *East European Scientific Journal*. 2021; (10-2): 40–42 (на англ. яз.). <https://www.elibrary.ru/ikxyb>
- Германова С.Е., Плющихов В.Г., Амброс Н.Б., Петухов Н.В., Рыжова Т.А. Проблема загрязнения сельскохозяйственных земель нефтепродуктами и ее моделирование. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2022; (1): 12–15. https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_1_12
- Skrypnik L., Maslennikov P., Novikova A., Kozhikin M. Effect of Crude Oil on Growth, Oxidative Stress and Response of Antioxidative System of Two Rye (*Secale cereale* L.) Varieties. *Plants*. 2021; 10(1): 157. <https://doi.org/10.3390/plants10010157>
- Гумерова К.И., Амосова А.А. Сорбенты для восстановления нефтезагрязненных почв. *Студенческие научные исследования. Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции*. Пенза: Наука и просвещение. 2021; 9–11. <https://www.elibrary.ru/qsabxm>
- Bandura L., Woszuik A., Kolodyńska D., Franus W. Application of Mineral Sorbents for Removal of Petroleum Substances: A Review. *Minerals*. 2017; 7(3): 37. <https://doi.org/10.3390/min7030037>
- Vasilyeva G. et al. Use of natural sorbents for accelerated bioremediation of grey forest soil contaminated with crude oil. *Science of The Total Environment*. 2022; 850: 157952. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157952>
- Прищепенко Е.А., Дегтярева И.А., Рахманова Г.Ф., Ревенко В.В., Бабынин Э.В. Рекультивация нарушенных почв. Казань: Логос-Пресс. 2022; 252. ISBN 978-5-00205-026-0 <https://www.elibrary.ru/ivhlkc>
- Дегтярева И.А., Бабынин Э.В., Мотина Т.Ю., Султанов М.И. Полногеномное секвенирование штамма *Staphylococcus warneri*, изолированного из загрязненной нефтью почвы. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2020; 10(1): 48–55 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-1-48-55>
- Danish S. et al. Drought Stress Alleviation by ACC Deaminase Producing *Achromobacter xylosoxidans* and *Enterobacter cloacae*, with and without Timber Waste Biochar in Maize. *Sustainability*. 2020; 12(15): 6286. <https://doi.org/10.3390/su12156286>
- Feng L., Jiang X., Huang Y., Wen D., Fu T., Fu R. Petroleum hydrocarbon-contaminated soil bioremediation assisted by isolated bacterial consortium and sophorolipid. *Environmental Pollution*. 2021; 273: 116476. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116476>
- Truskewycz A. et al. Petroleum Hydrocarbon Contamination in Terrestrial Ecosystems — Fate and Microbial Responses. *Molecules*. 2019; 24(18): 3400. <https://doi.org/10.3390/molecules24183400>

ОБ АВТОРАХ

Ирина Александровна Дегтярева

доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник peace-1963@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1575-8493>

Гулнара Фанисовна Рахманова

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник gulnara_rakhmanova@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0261-3049>

Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Оренбургский тракт, 20А, Казань, 420059, Россия

REFERENCES

- Khaziev F.Kh. Soil and ecology. *Herald of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*. 2017; 24(3): 29–37 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/znhunv>
- Hou D., Bolan N.S., Tsang D.C.W., Kirkham M.B., O'Connor D. Sustainable soil use and management: An interdisciplinary and systematic approach. *Science of The Total Environment*. 2020; 729: 138961. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138961>
- Abakarova A.B. Actual problems of legal protection of soils. *Young scientist*. 2020; (3): 161–162 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/lbhymg>
- Bayramova A.R. Impact of oil pollution on soil fertility. *East European Scientific Journal*. 2021; (10-2): 40–42. <https://www.elibrary.ru/ikxyb>
- Germanova S.E., Plyushchikov V.G., Ambros N.B., Petukhov N.V., Ryzhova T.A. Problem and modelling of agricultural land contamination by petroleum products. *International agricultural journal*. 2022; (1): 12–15 (in Russian). https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_1_12
- Skrypnik L., Maslennikov P., Novikova A., Kozhikin M. Effect of Crude Oil on Growth, Oxidative Stress and Response of Antioxidative System of Two Rye (*Secale cereale* L.) Varieties. *Plants*. 2021; 10(1): 157. <https://doi.org/10.3390/plants10010157>
- Gumerova K.I., Amosova A.A. Sorbents for the restoration of oil-contaminated soils. *Student scientific research. Collected articles of the VIII International scientific and practical conference*. Penza: Nauka i prosveshchenie. 2021; 9–11 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/qsabxm>
- Bandura L., Woszuik A., Kolodyńska D., Franus W. Application of Mineral Sorbents for Removal of Petroleum Substances: A Review. *Minerals*. 2017; 7(3): 37. <https://doi.org/10.3390/min7030037>
- Vasilyeva G. et al. Use of natural sorbents for accelerated bioremediation of grey forest soil contaminated with crude oil. *Science of The Total Environment*. 2022; 850: 157952. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157952>
- Prishchepenko E.A., Degtyareva I.A., Rakhmanova G.F., Revenko V.V., Babynin E.V. Reclamation of disturbed soils. Kазan: Logos-Press. 2022; 252 (in Russian). ISBN 978-5-00205-026-0 <https://www.elibrary.ru/ivhlkc>
- Degtyareva I.A., Babynin E.V., Motina T.Yu., Sultanov M.I. Full-genome sequencing of the *Staphylococcus warneri* strain isolated from oil-contaminated soil. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2020; 10(1): 48–55. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-1-48-55>
- Danish S. et al. Drought Stress Alleviation by ACC Deaminase Producing *Achromobacter xylosoxidans* and *Enterobacter cloacae*, with and without Timber Waste Biochar in Maize. *Sustainability*. 2020; 12(15): 6286. <https://doi.org/10.3390/su12156286>
- Feng L., Jiang X., Huang Y., Wen D., Fu T., Fu R. Petroleum hydrocarbon-contaminated soil bioremediation assisted by isolated bacterial consortium and sophorolipid. *Environmental Pollution*. 2021; 273: 116476. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116476>
- Truskewycz A. et al. Petroleum Hydrocarbon Contamination in Terrestrial Ecosystems — Fate and Microbial Responses. *Molecules*. 2019; 24(18): 3400. <https://doi.org/10.3390/molecules24183400>

ABOUT THE AUTHORS

Irina Alexandrovna Degtyareva

Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Chief Researcher peace-1963@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1575-8493>

Gulnara Fanisovna Rakhmanova

Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher gulnara_rakhmanova@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0261-3049>

Federal Research Center "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", 20A Orenburg trakt, Kazan, 420059, Russia