

РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Обзорная статья

 УДК 632.122 <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2024-2-65-81> EDN VXTULT

Технологии биоремедиации нефтезагрязненных почв и грунтов: обзор патентов

Владислав Эдуардович Симонов¹, Татьяна Александровна Леконцева²^{1,2} Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия¹ simonovvladislav71@gmail.com² lekoncevatatiana28@gmail.com

Аннотация. В работе представлен анализ основных направлений патентования технологий биоремедиации почв и грунтов, которые были подтверждены нефтяному загрязнению. Рассмотрены методы очистки почв и вод с использованием микроорганизмов и растений. Выделены основные аспекты проведения биоремедиации в зоне действия нефтяных загрязнителей. Основное внимание уделяется методу использования растений в очистке почв, загрязненных нефтепродуктами. Приводится классификация фиторемедиации и особенности действия приведенных методов очистки. Отмечены основные достоинства фиторемедиации, как метода применения для очистки при нефтяных загрязнениях. Анализируются основные виды, семейства растений и частота их применимости в очистке. Определяется механизм действия фиторемедиационных технологий. Проводится анализ подготовительных мероприятий для проведения фитотестирования. Учитываются основные свойства растений, как поглотителей тяжелых металлов.

Ключевые слова: биоремедиация, нефтяное загрязнение, очистка почвы, патенты, рекультивация, фиторемедиация.

Для цитирования: Симонов В.Э., Леконцева Т.А. Технологии биоремедиации нефтезагрязненных почв и грунтов: обзор патентов // Антропогенная трансформация природной среды. 2024. Т. 10. № 2. С. 65-81. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2024-2-65-81>. EDN VXTULT.

SECTION 2. POLLUTION

Review Paper

Bioremediation technologies of oil-contaminated soils and subsols: patent review

Vladislav E. Simonov¹, Tatyana A. Lekontseva²^{1,2} Perm State University, Perm, Russia¹ simonovvladislav71@gmail.com² lekoncevatatiana28@gmail.com

Abstract. The paper presents an analysis of the main directions of patenting technologies for bioremediation of soils and subsols, which have been confirmed by oil pollution. Methods of soil and water purification using microorganisms and plants are considered. The main aspects of bioremediation in the zone of action of oil pollutants are highlighted. The main attention is paid to the method of using plants in the purification of soils contaminated with petroleum products. The classification of phytoremediation and the features of the action of the above purification methods are given. The main advantages of phytoremediation as a method of application for purification in oil pollution are noted. The main species, families of plants and the frequency of their applicability in cleaning are analyzed. The mechanism of action of phytoremediation technologies is determined. The analysis of preparatory measures for conducting phytotesting is carried out. The basic properties of plants as heavy metal scavengers are taken into account.

Keywords: bioremediation, oil pollution, soil purification, patents, reclamation, phytoremediation.

For citation: Simonov, V. and Lekontseva, T., 2024. Bioremediation technologies of oil-contaminated soils and subsols: patent review. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 10(2), pp. 65-81. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2024-2-65-81>. EDN VXTULT. (in Russian)

Теоретические аспекты биоремедиации как метода восстановления природной среды

Биоремедиация – процесс, заключающийся в очистке природных компонентов окружающей среды от токсичных химических соединений, в основе которого лежит биохимический потенциал микроорганизмов (бактерий, грибов), водорослей и высших растений [85]. Программу создания условий для естественного самоочищения, то есть биоремедиации, принято называть биоремедиационными технологиями. Важнейшее преимущество биоремедиационных технологий заключается в их безопасности для окружающей среды [6], так как в процессе очистки используется способность бактерий, грибов, растений и водорослей метаболизировать органические и химические вещества [7].

Применение биоремедиационных технологий предполагает мягкое воздействие на очищаемую среду, и

как правило, по сравнению с остальными методами очистки биоремедиация отличается меньшей стоимостью и трудозатратами, это и является ключевым фактором обширного применения таких технологий [85]. Единственным недостатком применения биоремедиационных технологий это низкая скорость биодеградации токсиканта и необходимость проведения предварительного обследования загрязненного участка для уточнения технологических режимов биотехнологических работ [85].

Биоремедиация делится на две главные группы методов, характер деления различается по месту проведения очистки, «*in situ*» (на участке, загрязненном субстрате, на месте, где произошло загрязнение) или «*ex situ*» (в специально оборудованных системах/установки, куда доставляется загрязненный субстрат для обработки биологическими методами) [72]. На рис. 1 / fig. 1 представлена классификация методов биоремедиации.

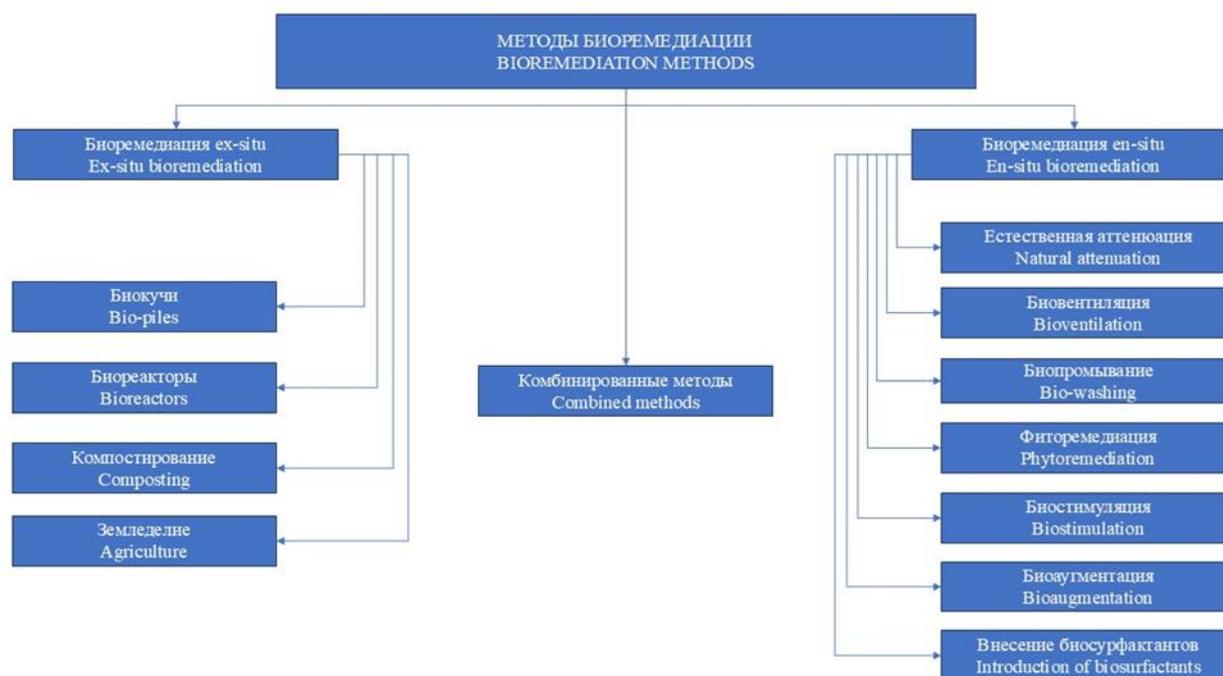


Рис. 1. Методы биоремедиации [72]

Fig. 1. Methods of Bioremediation [72]

Биоремедиация имеет свою классификацию методов, как показано на рис. 1 / fig. 1 и чаще всего эти методы приурочены к конкретному виду использования живых организмов для очистки природных компонентов. Например, для восстановления нефтезагрязненных почв, используется такой метод как фиторемедиация, комплексный метод, включающий использование растений для извлечения, накопления, деградации,

фильтрации, стабилизации и улетучивания загрязняющих веществ из почвенных и водных сред. Растения, по сравнению с другими живыми объектами, например, микроорганизмами, способны поглощать тяжелые металлы. Классификация методов фиторемедиации включает в себя 6 видов очистки почв и грунтов. В таблице 1 / table 1 показана классификация видов фитотестирования и основные области их применения [19].

Таблица 1

Классификация методов фиторемедиации [19]

Table 1

Classification of Phytoremediation Methods [19]

Метод фиторемедиации // Phytoremediation method	Характеристика // Characteristic	Область применения // Scope of application
Фитоэкстракция // Phytoextraction	Поглощение корнями растений загрязняющих веществ и их накопление в надземной части. Растение сжигается, а пепел утилизируется. // The absorption of pollutants by plant roots and their accumulation in the aboveground part. The plant is burned and the ashes are disposed of.	Ширица гибридная (<i>Amaranthus hybridus</i> L.), способная поглощать Pb и Cd из почвы. // Hybrid wheat (<i>Amaranthus hybridus</i> L.), capable of absorbing Pb and Cd from the soil.
Ризофилтрация // Rhizofiltration	Сосредоточение загрязняющих веществ в прикорневой зоне. // Concentration of pollutants in the root zone.	Способность поглощения радиоактивных веществ Подсолнечником однолетним (<i>Helianthus annuus</i>). // The ability of absorption of radioactive substances by annual sunflower (<i>Helianthus annuus</i>).
Фитоволатилизация // Phytovolatilization	Поглощение загрязняющих веществ растением и дальнейшее их выделение в атмосферный воздух. // The absorption of pollutants by the plant and their further release into the atmospheric air.	Испарение трихлорэтилена топодем (<i>Populus</i>). // Evaporation of trichloroethylene by poplar (<i>Populus</i>).
Фитостимуляция // Phytostimulation	Растения, которые способны стимулировать рост микроорганизмов, принимающие участие в процессе очищения почвы. // Plants that are able to stimulate the growth of microorganisms involved in the process of soil purification.	Выращивание овсяницы тростниковой (<i>Festuca arundinacea</i>) для разложения углерода. // Cultivation of reed fescue (<i>Festuca arundinacea</i>) for the decomposition of carbon.
Фитостабилизация // Phytostabilization	Иммобилизация и локализация загрязняющих веществ с целью предотвращения миграции загрязняющих веществ в почве, а также их движение в результате эрозии и дефляции. Аккумуляция загрязнителя происходит в околокорневой зоне. // Immobilization and localization of pollutants in order to prevent the migration of pollutants into the soil, as well as their movement as a result of erosion and deflation. The accumulation of the pollutant occurs in the near-root zone.	Использование язвенника обыкновенного (<i>Anthyllis vulneraria</i>) на почвах, загрязненных Cd, Zn и Pb. // The use of common canker (<i>Anthyllis vulneraria</i>) on soils contaminated with Cd, Zn and Pb.
Фитодегградация // Phytodegradation	Дегградация растениями и симбиотическими микроорганизмами органической части загрязнений. // Degradation of the organic part of pollution by plants and symbiotic microorganisms.	Тополя (<i>Populus</i>), которые способны разлагать молекулы метил-трет-бутилового эфира. // Poplars (<i>Populus</i>), which are capable of decomposing methyl tert-butyl ether molecules.

Анализ базы данных растений, используемых в фиторемедиации

В одной из изученных баз данных, именуемой PHYTOREM, имеется большое количество информации по использованию растительных организмов в фиторемедиации, а также отмечается их практическое использование в решении прикладных задач, по очистке почв от тяжелых металлов по всему миру [85].

Согласно изученным характеристикам, растения фиторемедианты должны обладать способностью к быстрому росту и гипераккумуляции ионов металлов в зеленой массе. Способность растения к гипераккумуляции определяется коэффициентом бионакопления – отношением концентрации токсиканта в побегах к концентрации в почве. Гипераккумуляторы способны поглощать определенные металлы в количестве, составляющем несколько процентов от веса их сухой биомассы [85].

Предварительно, изученная база данных содержит 775 зарегистрированных видов растений, принадлежащих к 76 семействам. В нее попали не только

сосудистые растения, но также и другие организмы, такие как бактерии, водоросли, лишайники, грибы и мхи [85].

В базе данных растения распределяются по их способностям аккумулировать, гипераккумуляторы, осаждают или проявляют устойчивость по отношению к определенным тяжелым металлам. По большей части растения рассматриваются как аккумуляторы, если они накапливают металлы в концентрации 100–200 мг/кг сухой массы, гипераккумуляторами, если они поглощают более 1000 мг/кг сухой массы для большинства тяжелых металлов, 10000 мг/кг для марганца или 100 мг/кг для кадмия. Было обнаружено, что 465 видов растений проявляют некоторые способности для ремедиации по какому-либо одному элементу. Кроме того, 66 видов обладают способностью поглощать два элемента, тогда как 25 видов проявляют способность аккумулировать три элемента. Наиболее широкие способности к аккумуляции металлов (до четырех элементов и более) проявляют 15 видов, перечисленных в таблице 2 / table 2 [85].

Таблица 2

Список растений с наиболее высокими величинами аккумуляции металлов PHYTOREM [85]

Table 2

List of plants with the highest PHYTOREM metal accumulation values [85]

Элемент // Element	Растение с наиболее высокой зафиксированной концентрацией // The plant with the highest recorded concentration	Происхождение растения // The origin of the plant	Максимальная аккумулируемая концентрация (мг/кг сухой массы) // Maximum accumulated concentration (mg/kg dry weight)
Al	<i>Solidago hispida</i>	Канада // Canada	6 820
As	<i>Agrostis tenuis (capillaris)</i>	Культивируемое // Cultivated	2 000
Cd	<i>Vallisneria spiralis</i>	Индия // India	6 242
Co	<i>Haumanistrum robertii</i>	Африка // Africa	10 200
Cr	<i>Medicago sativa</i>	Культивируемое // Cultivated	7 700
Cs	<i>Heliantus annuus</i>	Культивируемое // Cultivated	Высокое поглощение // High absorption
Cu	<i>Larrea tridentate</i>	США // USA	23 700 биопоглощение // 23 700 bioabsorption
Hg	<i>Pistia stratiotes</i>	Повсеместно в тропиках // Everywhere in the tropics	1 100
Mn	<i>Macdemia neurophylla</i>	Новая Каледония // New Caledonia	51 800
Mo	<i>Thlaspi caerulescens</i>	Европа // Europe	1 500-1 800
Ni	<i>Psychotria douarrei</i>	Новая Каледония // New Caledonia	4 500
	<i>Hybanthus floribundus</i>	Австралия // Australia	22% всей золы // 22% of all ash
Pb	<i>Brassica jincea</i>	Культивируемое // Cultivated	26 200
Sr	<i>Helianthus annuus</i>	Культивируемое // Cultivated	Высокое поглощение // High absorption
U	<i>Helianthus annuus</i>	Культивируемое // Cultivated	>15 000
Zn	<i>Thlaspi caerulescens</i>	Европа // Europe	52 000

Фиторемедиация, как уже было упомянуто, приобрела большую популярность, что отчасти связано с её низкой стоимостью. Данная технология на порядок дешевле других методов, поскольку не требует энергетических затрат и специального оборудования. Так как фиторемедиация предусматривает применение очистки прямо на месте загрязнения, что означает отсутствие транспортных затрат и уменьшению взаимодействия загрязнённого субстрата с людьми и окружающей средой [18].

Технологические приемы для фиторемедиации нефтезагрязненных почв и грунтов

Растения способны самостоятельно метаболизировать органические поллютанты [40], повышать биологическую активность почвы и [39], за счет обогащения почвы азотом, стабилизируют соотношение азота и углерода в почве, которое при нефтяном загрязнении значительно сдвигается в сторону последнего [62].

Для фиторемедиации нефтезагрязненных почв используются 4 из 6 основных описанных выше методов фиторемедиации:

Фитостабилизация – накопление растительностью нефтепродуктов в клетках из почвы и грунтовых вод [1].

Фитодеградация – разложение углеводов в результате метаболизма растения и корневых выделений в почву [1].

Фитоволатилизация – поглощение нефтепродуктов и испарение их в атмосферный воздух [1].

Фитостимуляция – разложение углеводов микроорганизмами, обитающих в области ризосферы растений [1].

В эксперименте, проведенном Н.О. Симагиной [70], в качестве нефтепродуктов использовалась смесь дизельного топлива и бензина в соотношении 1:3. Почва искусственно загрязнялась нефтепродуктами, и поддавалась выращиванию на ней растений горчицы и овса, результат эксперимента показал, что более чувствительны к загрязнению оказались растения горчицы, а выживаемость семян овса напрямую зависела от содержания нефтепродуктов в почве.

Для оценки влияния загрязнения почвы нефтепродуктами на снижение биомассы исследуемых растений обычно используется относительный показатель – фитотоксический эффект. Данный показатель характеризует процент снижения биомассы растений, выросших на загрязнённой почве, относительно биомассы растений, выращенных на «условно чистой» почве. У растений горчицы проявляется положительное значение фитотоксического эффекта, что указывает на угнетение роста и, в некоторых случаях, на гибель растений [9, 10, 11, 12, 70].

В другом эксперименте, проводимом в работе Н.А. Киреевой, Е.М. Тарасенко, М.Д. Бакаевой [40] приведены результаты влияния посевов люцерны (*Medicago sativa* L.) на ферментативную активность и численность углеводородокисляющих микроорганизмов (УОМ) и на интенсивность разложения углеводов

нефти. Темно-серая лесная почва загрязнялась товарной нефтью в концентрациях 1-15 %. Исследования проводили через 3, 30, 60, 90 и 180 суток после внесения поллютанта [40]. В результате эксперимента было установлено, что посев фиторемедианта в нефтесодержащую почву способствовал увеличению численности УОМ относительно некультивируемых образцов на 2 и 5 порядков при концентрации поллютанта 10 % и 5 % соответственно через 60 суток и на 3 порядка – через 180 суток. Усиленный рост численности УОМ в ризосфере люцерны связан с более благоприятными условиями в ней [40].

Почвенные ферменты каталаза и липаза катализируют важнейшие метаболические процессы, включая разложение органических соединений и детоксикацию ксенобиотиков, поэтому они имеют важное диагностическое значение [19]. Первоначально наблюдалось ингибирующее действие нефти на липолитическую активность. Но со временем она достигала уровня контрольного варианта. Причем рост активности фермента происходил пропорционально концентрации загрязнителя. Под посевами люцерны наблюдалось увеличение липолитической активности по сравнению с нефтесодержащей почвой в среднем в 1,7 раз через 180 суток [18].

Максимальное значение липазной активности отмечалось на 90 сутки после загрязнения при концентрациях нефти от 1 до 5 %. В дальнейшем отмечалось ее снижение вследствие уменьшения доступного субстрата в связи с разложением нефти и снижения численности УОМ. При более высоких дозах нефти наблюдался постоянный рост активности липазы на протяжении всего периода наблюдений, что свидетельствует о продолжении процесса деконтаминации почвы [40].

В то же время компоненты нефти значительно ингибировали каталазную активность. Особенно явно это наблюдалось в пробах с содержанием поллютанта 10 % и выше. Использование фиторемедианта при таких дозах загрязнителя значительно снижало ингибирование каталазной активности [18, 39, 40].

В эксперименте показано, что наравне с усилением биологической активности почвы активно протекал процесс ее очистки. К концу инкубационного периода в почве под посевами разлагается до 95, 75 и 70 % нефти при 5, 10 и 15 % первоначальном загрязнении соответственно [40].

Проведенный эксперимент показал, что посев люцерны является эффективным приемом ремедиации, однако важно учесть негативное влияние нефти на рост и развитие самих растений. При концентрации 1-5 % наблюдалось токсическое воздействие нефти на рост растений. Средняя масса стеблей и листьев люцерны даже в слабозагрязненной почве через 2 месяца инкубации отличались от контроля в 7 раз. Загрязнение почвы углеводородами нефти меняло морфологию корней люцерны. Со временем негативное влияние нефти на корневую систему уменьшалось. При высоких концентрациях поллютанта (10-15 %) наблюдалось сильное токсическое действие, что приводило к гибели большинства растений и нивелированию эффекта ремедиации [40].

Таким образом, под посевами люцерны уменьшалось содержание остаточной нефти, увеличивалась численность УОМ, усиливалась липолитическая и каталазная активность почвы. Применение данного метода целесообразно только в том случае, когда исходная концентрация поллютанта не будет превышать 5 % по массе или уровень загрязнения будет снижен до данного значения [39].

Выявлено разнообразие аэробных нефтеокисляющих бактерий, ассоциированных с растениями. Среди них определены виды *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas aureginosa*, *Burkholderia cepacia*, *Aeromonas hydrophilla*, *Pseudomonas fluorescens* [2].

Объектами исследований служили новые изоляты (25 типовых штаммов), выделенные из загрязненной нефтью почвы, с корней 27 растений. Бактерии выращивали на среде «М9» с 0,5 % содержанием нефти при температуре 28 °С в течение 5 суток [2].

В результате были выделены и идентифицированы 5 штаммов нефтеокисляющих микроорганизмов, способных к колонизации корней растений. Выявлены 3 штамма патогенных бактерий из числа колонизаторов корней растений. Установлено, что штамм *Pseudomonas putida* колонизирует корни ржи с плотностью от $6 \cdot 10^5$ до $8 \cdot 10^5$ КОЕ, штамм *Pseudomonas fluorescens* – с плотностью от $3 \cdot 10^5$ до $7 \cdot 10^5$ КОЕ, что позволяет их рекомендовать для фиторемедиации загрязненных нефтью почв [2].

Фиторемедиация эффективно справляется с очисткой нефтесодержащих почв путем аккумуляции нефти и нефтепродуктов растениями-фиторемедиантами и увеличением численности и активности бактерий-деструкторов углеводородов, обитающих совместно с растениями-фиторемедиантами. К самым популярным растениям-фиторемедиантам для нефтесодержащих почв относятся: овес посевной, люцерна посевная, рожь посевная.

Технология фиторемедиации почв и грунтов, загрязненных нефтью

Фиторемедиация нефтесодержащих почв – технология очистки почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами с помощью растений и ассоциированных с ними организмов [1].

Технология фиторемедиации нефтесодержащей почвы состоит из нескольких этапов [1]:

1. Оценка характера загрязнения участка (химический состав разлива, степень проникновения нефти в почву, картирование).

2. Разработка оптимальной схемы фиторемедиации (подбор видового состава растений, определение схемы посадки, выбор необходимых агротехнических мероприятий, в том числе оптимизация питания и химическая защита растений).

3. Выращивание растений (проведение комплекса агротехнических мероприятий, в том числе подготовка семенного материала, подготовка почвы, внесение минеральных удобрений, использование средств защиты).

4. Мониторинг участка (определение концентрации и распространения химических компонентов нефти, отслеживание путей биодеградации нефти, проведение информационного анализа и прогнозирования).

Помимо непосредственно подбора растений-фиторемедиантов немаловажную роль в фиторемедиационных технологиях играет необходимость подготовки для проведения конкретной фиторемедиационной технологии, внесения препаратов и удобрений в рамках проведения конкретной фиторемедиационной технологии, тип почвы или приуроченность к определенной природной зоне, на которых может быть проведена фиторекультивация с применением конкретной технологии фиторемедиации, длительность процесса фиторекультивации, которая заложена в конкретной фиторемедиационной технологии, опробирование конкретной фиторемедиационной технологии и описание полученного опыта, анализ и оценка результатов эффективности проведения конкретной фиторемедиационной технологии. Данные аспекты отражены в базе данных запатентованных технологий фиторемедиации для возможности получить наиболее полное представление об изученных фиторемедиационных технологиях.

Данные аспекты могут оказать большое влияние на выбор наиболее подходящей фиторемедиационной технологии среди множества других. Например, наличие временных, технических и финансовых возможностей для проведения подготовки к фиторемедиационным мероприятиям и использования препаратов, удобрений и других веществ, предусмотренных технологией; приуроченность нефтезагрязненной территории к определенной природной зоне или типу почв; наличие в запасе времени, которое можно потратить на проведение фиторемедиационных мероприятий.

Необходимость проведения подготовки для осуществления фиторемедиационных мероприятий – важный аспект, на который следует обратить внимание при выборе способа фиторемедиации. Поскольку подготовка требует дополнительных временных, финансовых и технических ресурсов.

Анализ запатентованных технологий фиторемедиации нефтезагрязненных почв и грунтов

Патент – охраняемый документ, удостоверяющий приоритет изобретения, полезной модели или промышленного образца, авторство и исключительное право на изобретение, полезную модель или промышленный образец на территории Российской Федерации [18].

Патентный поиск – это проверка и выявление патентов в конкретной области, у конкретной организации или лица. С помощью проведения такого поиска можно косвенно оценить состояние научно-технического развития в исследуемой области в целом, оценить количество запатентованных технологий и выявить основные направления исследования в данной сфере [82].

Поиск и изучение патентной документации в области фиторемедиации почв и грунтов проводился на Интернет-ресурсах:

- WIPO/ВОИС – Поиск по национальным патентным фондам и фондам РСТ (<https://patentscope.wipo.int/search/ru/search.jsf?ref=vc.ru>),

- РосПатент (<https://searchplatform.rospatent.gov.ru/patents>),

- Яндекс.Патенты (<https://yandex.ru/patents>).

Всемирная организация интеллектуальной собственности (ВОИС) – международная организация, занимающаяся администрированием ряда ключевых международных конвенций в области интеллектуальной собственности, в первую очередь Бернской Конвенции об охране литературных и художественных произведений и Парижской Конвенции об охране промышленной собственности. Также выполняет функции специализированного учреждения Организации Объединённых Наций по вопросам творчества и интеллектуальной собственности. Система данного ресурса PATENTSCOPE позволяет вести поиск патентов по национальным патентным фондам и фондам РСТ среди 115 млн патентных документов, представленных в данной системе.

Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент) является правопреемником Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, а также правопреемником Министерства юстиции Российской Федерации в части, касающейся правовой защиты интересов государства в процессе экономического и гражданско-правового оборота результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ военного, специального и двойного назначения, в том числе по обязательствам, возникающим в результате исполнения судебных решений. Платформа данной организации предоставляет возможность проведения поиска по мировому патентному фонду, включающему 26 стран и организаций, в том числе все доступные русскоязычные массивы [61, 63].

Яндекс.Патенты – сервис компании «Яндекс», созданный при содействии Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатента). В базе «Яндекса» собрано более 2,5 миллиона патентных документов. На сервисе представлены российские патенты на полезные модели и изобретения, патентные заявки, а также авторские свидетельства СССР с 1924 г. по сегодняшний день – что делает данный ресурс одним из самых крупных в Рунете бесплатных массивов патентной информации. Данный ресурс располагает идентичной патентной информацией, представленной на сайте Роспатента, однако он также использовался как отдельный инструмент для подбора патентов ввиду возможных различий в поисковых алгоритмах и фильтрах между данным сервисом и платформой поиска патентов Роспатента [62].

Для комплексного анализа методов фиторемедиации нефтезагрязненных почв и грунтов поиск в указанных выше интернет-ресурсах велся по поисковым запросам:

- 1) фиторемедиация нефтезагрязненных почв;
- 2) метод фиторемедиации нефтезагрязненных почв;
- 3) метод фиторемедиации почв, загрязненных углеводородами.

Далее изучались отобранные поисковой системой патенты. Среди данной выборки выбирались патенты с описанными методами фиторемедиации нефтезагрязненных почв и грунтов, а также с методами рекультивации/очистки нефтезагрязненных почв, где фиторемедиация является одним из этапов рекультивации/очистки.

Всего отобрано и проанализировано 47 запатентованных технологий. Среди них 7 запатентованных методов фиторемедиации было найдено с помощью интернет-ресурса ВОИС, 11 – с помощью интернет-ресурса РосПатент, 29 – с помощью интернет-ресурса Яндекс.Патент.

В целом идеальными кандидатами для фиторемедиации нефтезагрязненных почв являются растения, которые: географически широко распространены, имеют высокие темпы роста и большую биомассу, обладают способностью к аккумуляции загрязняющих веществ и обладают устойчивостью к загрязнению нефтью и нефтепродуктами для возможности их выращивания на рекультивируемом участке [62].

Растения-фиторемедианты выбираются также исходя из соображений пригодности для использования на нефтезагрязненной территории, относящейся к определенной природной зоне или типу почв, например, пустыни или зоны многолетней мерзлоты. В некоторых случаях могут быть использованы аборигенные виды растений, произрастающих в местности, где располагается рекультивируемая территория. Часто это могут быть растения, которые применяются в рамках биоиндикационных исследований [28, 35, 36, 60, 73, 74].

Для фиторемедиации нефтезагрязненных территорий используются различные растения: от мхов до деревьев. Наиболее часто применяются в фиторемедиации нефтезагрязненных почв и грунтов представители семейства Злаки (*Poaceae*). Костер безостый (*Bromus inermis*) – 13 патентов [8, 34, 35, 41, 43, 44, 45, 52, 53, 54, 56, 58, 75], Овес посевной (*Avena sativa*) – 11 патентов [4, 20, 21, 35, 42, 46, 58, 64, 66, 65, 67], виды рода Овсяница (*Festuca*) – 10 патентов [8, 29, 41, 42, 52, 53, 56, 58, 75, 80], Ежа сборная (*Dactylis glomerata*) – 6 патентов [8, 30, 41, 52, 53, 80], виды рода Пырей (*Elytrigia*) – 6 патентов [8, 52, 53, 68, 69, 75], виды рода Мятлик (*Poa*) – 5 патентов [6, 29, 52, 56, 75], Рожь озимая (*Secale cereale*) – 5 патентов [5, 12, 64, 65, 67],

А также представители семейства Бобовые (*Fabaceae*). Виды рода Клевер (*Trifolium*) – 9 патентов [30, 31, 34, 35, 41, 47, 52, 53, 54], Горох посевной (*Lathyrus oleraceus*) – 7 патентов [20, 21, 35, 42, 66, 67, 77], Люцерна посевная (*Medicago sativa*) – 6 патентов [12, 30, 57, 58, 67, 66], Донник белый (*Melilotus albus*) – 5 патентов [30, 64, 65, 68, 69].

Стоит отметить, что некоторые рода растений включают несколько видов, пригодных для использования в качестве растения-фиторемедианта на нефтезагрязненной почве. К ним относятся. Род Овсяница (*Festuca*) – 6 видов, род Клевер (*Trifolium*) – 5 вида, род Ива (*Salix*) – 3 вида, род Полевица (*Agrostis*) – 3 вида, род Полынь (*Artemisia*) – 3 вида, рода Житняк (*Agropyron*), Мятлик (*Poa*), Пырей (*Elytrigia*), Сорго (*Sorghum*) – 2 вида.

Также известна моновидовая фиторемедиация, когда применяются растения только одного вида, только в 10 технологиях среди 47 изученных технологий фиторемедиации нефтезагрязненных почв и грунтов применяется моновидовая фиторемедиация [4, 17, 31, 43, 44, 45, 57, 76, 83, 84]. Чаще всего встречалось использование двух видов растений, самое большое количество растений, использовалось только в одном патенте, в количестве 12 видов.

Известно, что при наличии в севообороте многолетних бобовых и злаковых трав снижается токсичность, существенно улучшается санитарное состояние почвы, улучшается аминокислотный состав зеленой массы [16, 32].

Фиторемедиационные процессы, лежащие в основе изученных технологий, были классифицированы, имели вид использования, фитодеградация в 42 патентах, фитостимуляция в 27 патентах, фитостабилизация в 3 патентах.

Фитодеградация – деградация растениями и симбиотическими микроорганизмами органической части загрязнений. Фитостимуляция заключается в использовании растений, которые стимулируют рост микроорганизмов, принимающих участие в процессе очистки. Процессы фитодеградации и фитостимуляции неразрывно связаны между собой. Фитостабилизация – локализация и удержание загрязняющих веществ с целью предотвращения их миграции [20].

Растения семейств Бобовых и Злаков за счет симбиотических азотфиксаторов способны повышать микробиологическую активность и плодородие почв, поэтому их часто рекомендуют использовать при проведении работ по восстановлению нарушенных и загрязненных территорий [39, 40].

Корни растений семейства Бобовые экскретируют нейтральные аминокислоты, в результате чего изменяется соотношение азота и углерода в почве. Так как в нефтезагрязненных почвах часто наблюдается дефицит доступного азота, корневые выделения бобовых растений могут его восполнить [40, 78].

Также два патента содержат описание фиторемедиационных технологий, обозначенных в базе данных как «повышение нефтеразрушающих, фитозащитных и ростостимулирующих свойств фиторемедиантов». Под данным термином понимается улучшение свойств и характеристик растений-фиторемедиантов для улучшения их фиторемедиационной функции. Этот процесс происходит путем внесения бактериальных препаратов, минеральных удобрений, особой подготовки почвы и семян, особый способ выращивания растений [75, 77].

Стоит отметить, что 27 технологий сочетают в себе два основных фиторемедиационных процесса, за счет которых происходит рекультивация почв и грунтов.

Важную роль в фиторемедиации наряду с растениями-фиторемедиантами играют их симбиотические микроорганизмы. Такие растительно-микробные ассоциации очень эффективны и популярны для использования в фиторемедиации [47].

Анализируемые технологии чаще всего делились на монофиторемедиационные и фиторемедиационные технологии (с применением растительно-микробных ассоциаций) в 26 и 21 патентах соответственно.

К технологиям, в которых применяются растительно-микробные ассоциации, были отнесены технологии, в тексте которых были указаны конкретные рода или штаммы микроорганизмов, вносимых извне или аборигенных микроорганизмов, выделенных при исследовании почвы в лабораторных условиях, ввиду их значительного влияния на фиторемедиационные процессы. Остальные технологии были отнесены в категорию монофиторемедиационных.

Растительно-микробные ассоциации способны формироваться как естественным образом, так и путем внесения в почву или предварительной бактериализации семян растений бактериальными препаратами [19, 39, 40].

Использование растительно-микробных ассоциаций в фиторемедиации основано на естественных процессах разложения нефти в природе с участием микроорганизмов, способных окислять углеводороды. Однако при попадании в почву, микроорганизмы-нефтедеструкторы неизбежно вступают в контакт с растениями, произрастающими на загрязненных территориях. Их воздействие на растения осуществляется несколькими способами: непосредственное выделение внеклеточных биологически активных веществ, таких как фитогормоны; опосредованное воздействие путем разрушения пленки нефти, обволакивающей корневые волоски, для улучшения дыхания растений и получения питательных веществ, заблокированных нефтяной пленкой. Таким образом, с растения снимается не только негативный эффект нефти, но и происходит стимуляция роста и развития. Поэтому использование микроорганизмов может обеспечить как приживаемость и стимуляцию роста высаженных в загрязненную почву растений, так и биодegradацию загрязнителя в почве или грунте [50, 66].

В составе растительно-микробных ассоциаций, используемых для фиторемедиации нефтезагрязненных почв и грунтов, наиболее часто встречаются следующие микроорганизмы: *Azotobacter*, *Rhodococcus*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Sinorhizobium*, *Azospirillum*, *Lactobacillus*, Аборигенные штаммы нефтеокисляющих микроорганизмов.

Данные рода микроорганизмов проявляют азотфиксирующие и углеводородоокисляющие свойства, за счет чего вносят свой вклад в рекультивацию нефтезагрязненных почв и грунтов [19, 39, 40].

На основании анализа запатентованных технологий фиторемедиации нефтезагрязненных почв и грунтов выявлено, что для 23 из 47 отобранных способов фиторемедиации требуется разного рода подготовка.

В изученных фиторемедиационных технологиях подготовка классифицируется на 4 категории: механическая подготовка нефтезагрязненной почвы, подготовка растений-фиторемедиантов и их семян, обработка нефтезагрязненной почвы веществами, подготовка микроорганизмов.

Механическая подготовка нефтезагрязненной почвы для проведения фиторемедиации – 10 патентов. К данной категории относятся: вспашка [4, 31, 58, 43], выравнивание [43], рыхление [68, 69], чизеливание [68, 69], механическое удаление избытков нефти и нефтепродуктов с поверхности почвы или грунта [64], механическая обработка [27, 29, 84].

Подготовка растений-фиторемедиантов или их семян – 12 патентов. В данную категорию входят: стерилизация семян [77], бактериализация/замачивание семян с использованием биопрепаратов [31, 43, 54, 64, 77, 81], вымачивание корневых систем растений с использованием биопрепаратов [48, 56, 80], выращивание растений на незагрязненной почве до требуемого возраста [41, 59, 83], обработка растений лазером [48].

Обработка нефтезагрязненной почвы или грунта различными веществами – 4 патента. К данной категории относятся: внесение удобрений [21, 29], нанесение органоминерального грунта [75], обработка почвы или грунта в твердо-жидкофазном биореакторе [34].

Подготовка микроорганизмов для использования в составе растительно-микробных ассоциаций – 2 патента. В данную категорию входят: выявление аборигенных штаммов микроорганизмов для конкретной нефтезагрязненной территории [21], инкубация микроорганизмов [5].

Для изученных фиторемедиационных технологий подготовка занимает от нескольких часов (замачивание семян, вспашка) до нескольких лет (заготовка дичков, выращивание растений 2-го года жизни, при условии самостоятельной их подготовки).

Следующим важным аспектом является внесение веществ в нефтезагрязненную почву или грунт. Среди отобранных 47 запатентованных фиторемедиационных технологий в 25 технологий предусмотрено внесение различных веществ. минеральные удобрения – 18 патентов, бактериальные препараты – 7 патентов, грунты (песок, торф и другие) – 6 патентов, биопрепараты – 5 патентов, антибиотики – 1 патент.

Минеральные удобрения – вещества промышленного или ископаемого происхождения, с высоким содержанием доступных растениям питательных элементов, позволяющие быстро и точно регулировать минеральное питание растений. В большинстве случаев это растворимые минеральные соли и органические соединения, например, соли калия, магния и азота [49].

В изученных запатентованных технологиях используются такие минеральные удобрения, как: азофоска [64], нитроаммофоска [38], нитрофоска [8], калий хлористый [35], селитра [50], суперфосфат [65], дегидратный фосфогипс [4], препарат «Эффект-NPK» [64], карбамид [80].

Бактериальные препараты – препараты, содержащие в составе комплекс полезных для растений почвенных микроорганизмов. Такие препараты стимулируют рост и питание растений, укрепляют защитные функции растений против болезней и вредителей, повышают продуктивность растений [16].

В изученных запатентованных технологиях используются такие бакпрепараты: «Деворойл» [47], «Биофлора» [80], «Байкал ЭМ-1» [3], «Агат-25К» [54, 56], «Фитоспорин» [64].

Грунты добавляются в почву для доведения ее до подходящего для проведения фиторемедиационных мероприятий состояния по различным физико-химическим показателям (влажность, кислотность, pH) [23, 54].

В изученных запатентованных технологиях используются такие грунты, как: песок [55], цеолитсодержащая глина – аланит [30], торф [55], глауконит [38], трепел [55], известь [65].

Биопрепараты – препараты, содержащие в составе вещества, обладающие фунгицидными, гербицидными, инсектицидными свойствами. Такие препараты стимулируют рост и развитие растений, повышает продуктивность растений, повышают устойчивость растений к заболеваниям и паразитам, защищают растения от токсического воздействия агрохимикатов [56].

В изученных запатентованных технологиях используются такие биопрепараты, как: «Альбит» [56], «Унифлор Микро» [64], «Эль-1» [80, 81], «Интеграл» [65], «Триходермин» [54], «Гумистар» [56].

Также в одной из запатентованных технологий применяется антибиотик «Нистатин». Данный антибиотик используется в этом случае для снижения численности и активности сапротрофных микромицетов, ассоциированных с растениями, являющимися продуцентами веществ, обладающих фитотоксическим действием [54].

Следующим аспектом, на который следует обратить внимание при выборе технологии фиторемедиации нефтезагрязненной почвы, это региональность или универсальность метода. Среди 47 запатентованных фиторемедиационных технологий 34 метода являются универсальными и, соответственно, 13 методов являются региональными.

Региональность или приуроченность к определенной природной зоне тесно связана с типом почв. Универсальные фиторемедиационные технологии применимы для нефтезагрязненной почвы любого типа и принадлежности к природной зоне. Региональными методами в базе данных классифицируются фиторемедиационные технологии, которые подходят для использования в специфических условиях. Например, степные [66, 67], лесостепные зоны [66, 67], пустынные и полупустынные зоны [66, 67, 68, 69], подзона предтундровых редколесий [59], торфяные болота [76], таежная зона [73], территории с переуплотненными почвами [45], земли сельскохозяйственного назначения [35], зона многолетней мерзлоты [29], северная тайга [27, 75], лесотундра [75], тундра [75], арктическая тундра [75].

Типы почв указаны для региональных методов, при наличии указания на тип почв в тексте патента, и для универсальных методов, также при наличии указания на тип почв в тексте патента, например, при описании проверки фиторемедиационной технологии на практике. Среди указанных почв и грунтов встречаются: выщелоченный чернозем [20], подзолистая и дерново-подзолистая почва [56, 83] суглинистый серозем [6], нефтезагрязненный / углеводородосодержащий грунт или шлам [81], песчаный грунт [50, 69], темно-каштановая почва [44], торфяно-болотная почва [76], серая лесная почва, вечномерзлотная почва [75].

Следующим важным аспектом в характеристике фиторемедиационных технологий является длительность проведения метода. Данный критерий имеет большое значение при выборе технологии фиторемедиации, поскольку интервал временных затрат на проведение различных методов огромен. Среди изученных 47 запатентованных технологий фиторемедиации нефтезагрязненных почв и грунтов минимальная длительность технологии составляет 15 суток, максимальная – 1095 суток или 3 года.

Стоит отметить, что длительность некоторых представленных методов фиторемедиации почв привязана к длительности вегетационного периода растений в рекультивируемой местности и, соответственно, может варьироваться в зависимости от географического положения территории.

В текстах патентов на фиторемедиационные технологии также всегда присутствует описание опыта проведения предлагаемого способа фиторемедиации на практике, по результатам которого и характеризуются все вышеописанные аспекты. Опробирование фиторемедиационной технологии может проводиться на одном или нескольких примерах. Описание опыта происходит согласно следующему плану, дается характеристика исходного состояния нефтезагрязненной почвы, уровень загрязнения, принадлежность к типу почв, физико-химические свойства; описывается методика проведения подготовительных мероприятий перед осуществлением фиторекультивации (при необходимости); описывается методика проведения технологии фиторемедиации нефтезагрязненной почвы: порядок, сроки, внесение веществ, подселение микроорганизмов; приводится описание и оценка результатов проведения предлагаемой фиторемедиационной технологии.

Количественная оценка результативности предлагаемых методов фиторемедиации нефтезагрязненных почв и грунтов (в процентах) приводится в 27 из 47 патентов. Максимальная результативность среди представленных фиторемедиационных технологий составляет 100%, минимальная – 36%.

Применение технологий фиторемедиации в очистке почв и грунтов, подвергшихся нефтяному загрязнению

В технологиях фиторемедиации нефтезагрязненных почв и грунтов помимо растений-фиторемедиантов важные роли играют такие аспекты, как необходимость подготовительных мероприятий, необходимость внесения веществ, региональность или универсальность метода, длительность проведения метода, результативность метода.

К биоремедиационным технологиям относится ряд методов очистки почв и вод с использованием микроорганизмов и растений, которые проводятся двумя способами, на месте загрязнения и с изъятием загрязненной почвы, для дальнейшей очистки вне зоны загрязнения.

Главное отличительное качество фиторемедиации, как метода очистки почв, это ее безопасность для окружающей среды. Фиторемедиация – комплексный метод очистки почв и грунтов с использованием растений и симбиотических микроорганизмов. Фиторемедиационные методы основаны на процессах фитоэкстракции, ризофилтрации, фитоволатилизации (или фитоиспарения), фитостимуляции, фитостабилизации и фитодегградации. Среди достоинств фиторемедиации: низкая стоимость, безопасность для окружающей среды, эффективность.

Фиторемедиация широко используется для очистки почв от загрязнения нефтью и нефтепродуктами. Такие растения, как: овес посевной, люцерна посевная, рожь посевная – хорошо зарекомендовали себя в качестве растений-фиторемедиантов для нефтезагрязненных почв и грунтов.

Анализ отобранных патентов показал, что наиболее популярными растениями-фиторемедиантами для почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, являются растения семейств Бобовые (клевер, горох, люцерна и другие) и Злаки (костер, овес, овсяница, ежа и другие). Механизм действия фиторемедиационных

технологий выражается в процессах фитодеградации, фитостимуляции и фитостабилизации.

Кроме растений-фиторемедиантов важную роль в фиторемедиационных технологиях играют подготовка, внесение удобрений, длительность, результативность, универсальность методов. Данные аспекты могут оказать большое влияние на выбор наиболее подходящей фиторемедиационной технологии среди множества других.

Сведения об авторском вкладе

В.Э. Симонов – разработка проблематики и концепции работы, структурирование исходного текста по основным обсуждаемым вопросам, подготовка первичной версии рукописи, вычитка финальной версии рукописи.

Т.А. Леконцева – первичный поиск и анализ научной литературы и патентов по фиторемедиации, вычитка финальной версии рукописи.

Contribution of the authors

V.E. Simonov – development of the research problems and concept, structuring the initial text by the main discussed issues, preparation of the first manuscript edition, proofreading of the final manuscript edition.

T.A. Lekontseva – primary search and analysis of scientific literature and patents on phytoremediation, proofreading of the final manuscript edition.

Список источников

1. Барышненская А.Ю. Изучение процесса фиторемедиации нефтезагрязненных почв // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: сборник трудов конференции. Белгород, 1-30 мая 2015 г. / Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. С. 433-436.

2. Баутиста Х., Валидов Ш.З., Багаева Т.В. Фиторемедиация нефтезагрязненных почв: выделение микроорганизмов, эффективно колонизирующих растения // Научная и производственная деятельность – средство формирования среды обитания человечества: материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции. Тюмень, 26-27 апреля 2016 г. / Тюмень: ТИУ, 2016. С. 46-48.

3. Бекузарова С.А., Александров Е.Н., Вайсфельд Л.И., Эйгес Н.С., Плиев И.Н. Патент 2555595 РФ. Способ воспроизводства нефтезагрязненных земель. № 2014109977/13. 2015.

4. Белюченко И.С., Добрыднев Е.П., Муравьев Е.И., Мельник О.А., Терещенко Е.В. Патент 2402079 РФ. Способ рекультивации почв, загрязненных нефтью. № 2008133094/10. 2010.

5. Беркович Я.В., Валидов Ш.З. Патент 2735870 РФ. Способ выделения микроорганизмов для очистки и восстановления нефтезагрязненных почв и грунтов методом фитобioreмедиации. № 2019132927. 2020.

6. Бишимбаев В.К., Исаева А.У., Мырхалыков Ж.У., Успабаева А.А., Тлеужеева А.Е. Патент 31054 Казахстан. Способ биологической очистки почв от нефти и нефтепродуктов. № 2015/0415.1. 2016.

7. Богомягкова Е.А., Дзюба Е.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024666392 РФ. Программа для расчета допустимой концентрации нефтепродуктов в почвах. № 2024665931. 2024.

8. Боронников В.Д., Шеховцов П.В., Шеховцов В.П. Патент 2066944 РФ. Способ ускоренной рекультивации почвы, загрязненной нефтепродуктами. № 94043529/13. 1996.

9. Бузмаков С.А., Андреев Д.Н., Дзюба Е.А. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021620097 РФ. Геоинформационная база данных «Миграция углеводородов в водоохранной зоне Камского водохранилища». № 2020622892. 2021.

10. Бузмаков С.А., Дзюба Е.А., Сивков Д.Е. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021620098 РФ. Геоинформационная база данных геохимических свойств почв ландшафтного заказника Предуралья. № 2020622893. 2021.

11. Бузмаков С.А., Дзюба Е.А., Сивков Д.Е. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021620099 РФ. Геоинформационная База данных геохимических свойств почв на территории Пермского края: № 2020622894. 2021.

12. Бузмаков С.А., Хотяновская Ю.В., Андреев Д.Н. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021621102 РФ. Техногенная трансформация природной среды в карстовом районе. № 2021620770. 2021.

13. Бузмаков С.А., Андреев Д.Н., Назаров А.В., Дзюба Е.А., Шестаков И.Е., Куюкина М.С., Елькин А.А., Егорова Д.О., Хотяновская Ю.В. Реакция разных тест-объектов на экспериментальное загрязнение почв нефтью // Экология. 2021. № 4. С. 254-262. <https://doi.org/10.31857/S0367059721040053>

14. Бузмаков С.А., Дзюба Е.А. Оценка загрязнения почв потенциально токсичными элементами в зоне влияния добычи калийных солей // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27, № 5. С. 46-50. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-5-46-50>

15. Бузмаков С.А., Егорова Д.О., Гатина Е.Л. Доза-эффект нефтезагрязнения почв на биотический компонент экосистем // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Т. 25, № 2. С. 217-229. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2017-25-2-217-229>

16. Бусурманкулов А.Б. Развитие научных идей академика Н.Г. Андреева // Сборник научных трудов к 100-летию со дня рождения Н. Г. Андреева / гл. ред. В.А. Тюльдюков. М.: Великолукская городская типография, 2000. С. 237-243.

17. Гаврилин И.И., Шигапов А.Н. Патент 2581671 РФ. Способ очистки почвы от загрязнения нефтью и нефтепродуктами. № 2014135129/13. 2016.

18. Гражданский кодекс Российской Федерации. Ст. 1354. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5142/?ysclid=lw6a70x3fv234224723 (дата обращения: 14.10.2024).

19. Григориади А.С., Новоселова Е.И., Киреева Н.А. Фиторемедиация как способ очистки и повышения биологической активности нефтезагрязненных почв // Аграрная Россия. №S1. 2009. С.30-31.

20. Григорьева Т.В., Лайков А.В., Несмелов А.А., Колтаков А.И., Ильинская О.Н., Наумова Р.П. Патент 2529948 РФ. Штамм бактерий *Pseudomonas stutzeri* – деструктор нефтяных алифатических и ароматических

углеводородов, стимулятор роста растений и его использование. № 2012139285/10. 2014.

21. Григорьева Т.В., Несмелов А.А., Ильинская О.Н., Наумова Р.П., Мухаметшин И.Р., Смолко А.А. Патент 2464114 РФ. Способ обезвреживания углеводородсодержащих шламов. № 2010121463/13. 2012.

22. Дегтярева И.А., Бабынин Э.В., Сироткин А.С., Яппаров И.А. Биоремедиация почв: методы и подходы / Казань: КНИТУ, 2018. 100 с.

23. Дзюба Е.А. Геохимическая идентификация антропогенной трансформации природной среды на территории Пермского края: дис. канд. геогр. наук: 1.6.21. Пермь, 2022. 235 с.

24. Дзюба Е.А. Геохимические особенности территории Пермского края, сформированные в результате техногенного и посттехногенного воздействия на природную среду // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: сборник материалов Всероссийской школы-семинара, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка. Пермь, 22-23 апреля 2021 г. Пермь: ПГНИУ, 2021. С. 148-154.

25. Дзюба Е.А. Определение местного фонового содержания некоторых макро- и микроэлементов в почвах Пермского края // Географический вестник = Geographical bulletin. 2021. № 1(56). С. 95-108. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-1-95-108>

26. Дзюба Е.А. Природно-техногенное геохимическое районирование Пермского края // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 3(70). С. 139-151. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2024-3-139-151>

27. Дубровин А.В., Бедин С.А. Патент 2188529 РФ. Способ рекультивации почв, загрязненных нефтью и нефтесодержащими продуктами на севере российской федерации в зонах нефтепромыслов и магистральных нефтепроводов. № 2001119291/13. 2002.

28. Евсина С.Т., Дзюба Е.А. Опыт применения сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в качестве тест-объекта биотестирования и биоиндикации // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка. Пермь, 20-21 апреля 2023 г. / под ред. С.А. Бузмакова. Пермь: ПГНИУ, 2023. С. 559-563.

29. Егурицов С.А., Иванов Ю.В., Скрынник Т.В., Севостьянов С.М., Демин Д.В., Данилов О.А. Патент 2620829 РФ. Способ рекультивации разрушенных земель в зоне многолетней мерзлоты. № 2016114053. 2017.

30. Заалишвили В.Б., Бекузарова С.А., Батаев Д.-К.С., Мажиев Х.Н. Патент 2396133 РФ. Способ реабилитации нефтезагрязненных земель. № 2008142997/15. 2010.

31. Заалишвили В.Б., Бекузарова С.А., Мажиев Х.Н., Батаев Д.-К.С., Бурдзиева О.Г., Мажиев К.Х., Мажиева А.Х. Патент 2481162 РФ. Способ мелиорации нефтезагрязненных земель. № 2011117840/13. 2013.

32. Зайнутдинова Э.М., Шамсутдинова Е.А., Ягфарова Г.Г., Мазитова А.К. Фиторемедиация технонарушенных земель // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20, № 6. С. 157-159.

33. Иванова Л.А. Патент 2512171 РФ. Способ биологической рекультивации техногенно-нарушенных земель. № 2012117842/13. 2014.

34. Ившина И.Б., Костарев С.М., Куюкина М.С., Закиевская Л.В. Патент 2193464 РФ. Способ биоремедиации почв и грунтов, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. № 2001130686/13. 2002.

35. Ильинский А.В., Кирейчева Л.В. Патент 2680583 РФ. Способ биологической очистки от нефтепродуктов почв земель сельскохозяйственного. № 2018118389. 2019.

36. Кабинзянова А.О., Дзюба Е.А. Методы биотестирования и биоиндикации для оценки загрязнения почв // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка. Пермь, 20-21 апреля 2023 г. / под ред. С.А. Бузмакова. Пермь: ПГНИУ, 2023. С. 304-308.

37. Кабинзянова А.О., Дзюба Е.А. Оценка состояния окружающей среды в районе Полазненского месторождения методом флуктуирующей асимметрии // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых, посвященной памяти Г.А. Воронова, Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка. Пермь, 25-27 апреля 2024 г. Пермь: ПГНИУ, 2024. С. 225-230.

38. Кардакова Т.С., Козьминых А.Н., Комоско В.Н., Комоско Г.В., Кузнецов С.М., Подшивалова О.В. Патент 2616398 РФ. Биоремедиант для проведения рекультивации загрязненных нефтью и/или нефтепродуктами почв. № 2015146815. 2017.

39. Киреева Н.А., Водопьянов В.В. Мониторинг растений, используемых для фиторемедиации нефтезагрязненных почв // Экология и промышленность России. 2007. С.46-47.

40. Киреева Н.А., Тарасенко Е.М., Бакаева М.Д. Детоксикация нефтезагрязненных почв под посевами люцерны (*Medicago sativa* L.) // Агротехника. № 10. 2004. С. 68-72.

41. Красавин А.П., Катаева И.В., Оборин Г.А., Берников А.В. Патент 2181933 РФ. Способ рекультивации токсичных земель, нарушенных при добыче угля. № 99108939/13. 2002.

42. Красавин А.П., Катаева И.В., Оборин Г.А., Вяткин А.П., Сергеев В.А., Ерушина О.А., Фусс В.А. Патент 2290270 РФ. Способ биологической ремедиации нефтезагрязненных почв. № 2005123931/13. 2006.

43. Кузнецов П.И., Мелихов В.В., Каренгина Т.В., Швагерус П.В., Кузнецова В.И., Мелихова М.В. Патент 2320429 РФ. Способ биологической рекультивации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. № 2006145927/13. 2008.

44. Кузнецов П.И., Мелихов В.В., Каренгина Т.В., Швагерус П.В., Кузнецова В.И., Мелихова М.В. Патент 2329633 РФ. Способ биологической рекультивации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. № 2006145924/12. 2008.

45. Кузнецов П.И., Мелихов В.В., Кружилин И.П., Мамин В.Ф., Болотин А.Г., Каренгина Т.В., Швагерус П.В., Кузнецова В.И. Патент 2320430 РФ. Способ био-

логической рекультивации переуплотненных почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. № 2006145926/13. 2008.

46. Литвиненко В.И., Трушин В.Г. Патент 1530116 СССР. Способ рекультивации почв, загрязненных нефтью или нефтесодержащими продуктами. № 4391107. 1989.

47. Лифшиц С.Х., Глянцева Ю.С., Чалая О.Н., Зуева И.Н., Ерофеевская Л.А. Патент 2535746 РФ. Способ восстановления нефтезагрязненных почв путем внесения микробно-растительных сообществ. № 2013104437/13. 2014.

48. Максименко А.П. Патент 2294804 РФ. Способ очистки и рекультивации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. № 2005112993/13. 2007.

49. Минеральные удобрения. Большая российская энциклопедия URL: <https://bigenc.ru/c/mineral-nye-udobreniia-ed2a24> (дата обращения: 14.10.2024).

50. Муратова А.Ю., Бондаренкова А.Д., Голубев С.Н., Панченко Л.В., Турковская О.В. Патент 2403102 РФ. Способ фиторемедиации грунта, загрязненного углеводородами (варианты). № 2009118275/10. 2010.

51. Муратова А.Ю., Голубев С.Н., Турковская О.В. Патент 2406758 РФ. Штамм бактерий *Sinorhizobium meliloti* p221, деструктор полициклических ароматических углеводородов и стимулятор роста растений для повышения эффективности фиторемедиации. № 2009108374/10. 2010.

52. Назаров А.В., Иларионов С.А., Горелов В.В., Калачникова И.Г., Щукин В.М., Наргович Ю.К., Басов В.Н. Патент 2253209 РФ. Способ биорекультивации нефтезагрязненных почв. № 2003132619/12. 2005.

53. Назаров А.В., Иларионов С.А., Калачникова И.Г. Патент 2249933 РФ. Способ повышения биомассы и выживаемости растений на нефтезагрязненной почве. № 2003113298/12. 2005.

54. Назаров А.В., Иларионов С.А., Сергеев В.А., Калачникова И.Г., Фусс В.А. Патент 2225086 РФ. Способ фиторекультивации нефтезагрязненных почв. № 2002123819/13. 2004.

55. Никифоров А.С., Важенин В.А., Головнев В.В. Патент 2038363 РФ. Способ рекультивации почв, загрязненных нефтью. № 93006341/15. 1995.

56. Одегова Т.Ф., Баландина А.В., Бурлакова Е.М., Злотников К.М., Злотников А.К., Казаков А.В. Патент 2421291 РФ. Способ рекультивации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. № 2008130262/10. 2011.

57. Онегова Т.С., Волочков Н.С., Киреева Н.А., Нагуманов Н.С., Жданова Н.В. Патент 2279472 РФ. Способ очистки почвы от нефтяных загрязнений. № 2004119511/13. 2006.

58. Отрошко Д.Н., Шермет В.В., Волченко Н.Н., Самков А.А., Худоков А.А., Карасев С.Г., Карасева Э.В. Патент 2618096 РФ. Способ фиторемедиации почвы, загрязненной углеводородами, и применение штамма микроорганизма *Rhodococcus erythropolis* вкм ас-2017д в качестве стимулятора роста растений. № 2016122777. 2017.

59. Парфенюк В.И., Беляев А.Г., Хаматнуров Р.М. Патент 2009626 РФ. Способ рекультивации почв, загрязненных нефтью и нефтесодержащими продуктами. № 4935166/15. 1994.

60. Патрушева А.А., Дзюба Е.А. Применение биоиндикации для оценки техногенеза на участках нефтепромысла // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка. Пермь, 20-21 апреля 2023 г. / под ред. С.А. Бузмакова. Пермь: ПГНИУ, 2023. С. 582-585.

61. Роспатент. Новости. URL: <https://rospatent.gov.ru/ru/news/4science-novyy-besplatnyy-servis-poiska-patentnyh-dokumentov-yandeks-patenty> (дата обращения: 14.10.2024).

62. Роспатент. Общие сведения. URL: <https://rospatent.gov.ru/ru/about> (дата обращения: 14.10.2024).

63. Роспатент платформа. URL: <https://searchplatform.rospatent.gov.ru/> (дата обращения: 14.10.2024).

64. Сатубалдин К.К., Салангина Л.А. Патент 2242300 РФ. Способ рекультивации загрязненных нефтью и нефтепродуктами почв и грунтов. № 2001106295/13. 2004.

65. Сатубалдин К.К., Салангина Л.А. Патент 2243638 РФ. Способ восстановления загрязненных почв, грунтов и. № 2002127139/12. 2005.

66. Севостьянов В.В. Патент 2097401 РФ. Способ биологической рекультивации плодородных земель, загрязненных нефтью совместно с пластовыми водами в степных, лесостепных, полупустынных зонах (варианты). № 95112921/13. 1997.

67. Севостьянов В.В. Патент 2101900 РФ. Способ биологической рекультивации плодородных земель, загрязненных нефтью, в лесостепных, степных, полупустынных зонах (варианты). № 95112785/13. 1998.

68. Севостьянов В.В. Патент 2113093 РФ. Способ биологической рекультивации песчаных земель, загрязненных нефтью в зонах пустынь и полупустынь. № 96100520/13. 1998.

69. Севостьянов В.В. Патент 2113095 РФ. Способ биологической рекультивации песчаных земель, загрязненных нефтью совместно с пластовыми водами. № 96100523/13. 1998.

70. Симагина Н.О. Особенности проявления фитотоксического эффекта в модельных системах // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». 2010. Т. 23(62). № 4. С. 181-187.

71. Симонов В.Э., Дзюба Е.А. Нефтяное загрязнение в геохимическом ландшафте // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка. Пермь, 20-21 апреля 2023 г. / под ред. С.А. Бузмакова. Пермь: ПГНИУ, 2023. С. 594-597.

72. Созина И.Д., Данилов А.С. Микробиологическая ремедиация нефтезагрязненных почв // Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 297-312.

73. Тутова Л.А., Дзюба Е.А. Разработка методики по определению фитотоксичности нефти, добываемых на территории Пермского края // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: материалы Всероссийской научной

конференции молодых ученых, посвященной памяти Г.А. Воронова, Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка. Пермь, 20-21 апреля 2023 г. Пермь: ПГНИУ, 2024. С. 598-601.

74. Титова Л.А., Дзюба Е.А. Характеристика нефти Пермского края и методика оценки их фитотоксичности // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых, посвященной памяти Г.А. Воронова, Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка. Пермь, 25-27 апреля 2024 г. Пермь: ПГНИУ, 2024. С. 526-531.

75. Тихановский А.Н. Патент 2599836 РФ. Способ биологической рекультивации нарушенных вечномёрзлых почв. № 2015123192/13. 2016.

76. Толстогой В.И., Лопатин К.И., Чемякин А.Н., Женихов Ю.Н., Суворов В.И., Панов В.В. Патент 2323052 РФ. Способ рекультивации нефтезагрязненных поверхностей торфяных болот. № 2006128427/15. 2008.

77. Третьякова М.С., Беловежец Л.А., Маркова Ю.А. Патент 2744094 РФ. Микробный препарат для защиты растений, произрастающих на нефтезагрязненных почвах. № 2020124773. 2021.

78. Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Гульбе Т.А., Гульбе Я.И. Аллометрические уравнения для фитомассы по данным деревьев сосны, ели, березы и осины в Европейской части России // Лесоведение. 1996. № 6.

79. Хотяновская Ю.В., Бузмаков С.А., Кучин Л.С. Геоэкологические закономерности трансформации природной среды при эксплуатации нефтяного месторождения в карстовом районе // Географический вестник = Geographical bulletin. 2023. № 1(64). С. 127-138. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2023-1-127-138>

80. Чекакина Е.В., Егоров И.В. Патент 2176164 РФ. Способ биологической ремедиации нефтезагрязненных почв. № 99114351/13. 2001.

81. Чекакина Е.В., Егоров И.В. Патент 2181640 РФ. Способ биологической рекультивации нарушенных земель. № 99114368/13. 1999.

82. Что такое патентный поиск, как он проводится, обзор патентных реестров. URL: <https://ezybrand.ru/blog/patentnyj-poisk-vidy-zadachi-rezultat/> (дата обращения: 14.10.2024),

83. Шарпова И.Э., Маслова С.П., Табаленкова Г.Н., Гарабаджю А.В., Арчегова И.Б., Таскаев А.И. Патент 2440199 РФ. Корневищный способ фиторекультивации почвы от нефти и нефтепродуктов. № 2010123987/13. 2012.

84. Якушева О.И., Наумова Р.П., Самольянов А.А., Кичигин В.П., Галухин В.А., Никонорова В.Н., Аскаргов И.И., Галиев Р.А. Патент 2329200 РФ. Способ переработки шламов очистных сооружений нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. № 2006115820/15. 2008.

85. Янкевич М.И., Хадеева В.В., Мурыгина В.П. Биоремедиация почв: вчера, сегодня, завтра // Биосфера. 2015. № 2. С. 199-208.

86. Buzmakov S., Egorova D., Gatina E. Effects of crude oil contamination on soils of the Ural region // Journal of Soils and Sediments. 2019. Vol. 19. № 1. P. 38-48. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2025-0>

87. Buzmakov S.A., Khotyanovskaya Yu.V., Andreev D.N., Egorova D.O., Nazarov A.V. Indication of the status of ecosystems in the conditions of oilfield technogenesis // Geographical bulletin. 2018. № 4(47). P. 90-102. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2018-4-90-102>

88. Dziuba E., Buzmakov S., Khotyanovskaya Yu. Study of geochemical features of soils on the territory of an abandoned coal mining area using geoinformation technologies // Environmental Geochemistry and Health. 2023. Vol. 45. № 12. P. 9135-9155. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01534-7>

89. WIPO/ВОИС – Поиск по национальным патентным фондам и фондам PCT. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/search.jsf?ref=vc.ru> (дата обращения: 14.10.2024).

References

1. Baryshenskaya, A., 2015. Study of the Phytoremediation Process of Oil-Contaminated Soils. In: International Scientific and Technical Conference of young Scientists of V.G. Shukhov BSTU: Proceedings of the conference, 1-30 May 2015, Belgorod, Russia. Belgorod, V.G. Shukhov BSTU, pp. 433-436. (in Russian)

2. Bautista, H., Validov, S., and Bagaeva, T., 2016. Phytoremediation of Oil-Contaminated Soils: Isolation of Microorganisms that Effectively Colonize Plants. In: Scientific and Industrial Activity is a Means of Shaping the Human Environment: Proceedings of the All-Russian Youth Scientific and Practical Conference, 26-27 April 2016, Tyumen, Russia. Tyumen: TIU, pp. 46-48. (in Russian)

3. Bekuzarova, S., Aleksandrov, E., Vajsfel'd, L., Eiges, N. and Pliev, I., 2015. Patent 2555595 RF. Sposob vosproizvodstva neftezagryaznennyh zemel' [Method of reproduction of oil-contaminated lands]. № 2014109977/13. (in Russian)

4. Beljuchenko, I., Dobrydnev, E., Murav'ev, E., Mel'nik, O. and Tereschenko, E., 2010. Patent 2402079 RF. Sposob rekul'tivatsii pochv, zagryaznennyh nef'tju [The method of reclamation of soils contaminated with oil]. № 2008133094/10. (in Russian)

5. Berkovich, Ja. and Validov, Sh., 2020. Patent 2735870 RF. Sposob vydelenija mikroorganizmov dlja ochistki i vosstanovlenija neftezagryaznennyh pochv i gruntov metodom fitobioremediatsii [A method for isolating microorganisms for cleaning and restoring oil-contaminated soils and soils by phytobioremediation]. № 2019132927. (in Russian)

6. Bishimbaev, V., Isaeva, A., Myrhal'kov, Zh., Uspabaeva, A. and Tleukeeva, A., 2016. Patent 31054 Kazakhstan. Sposob biologicheskoy ochistki pochv ot nef'ti i nefteproduktov [A method for biological purification of soils from oil and petroleum products]. № 2015/0415.1. (in Russian)

7. Bogomjagkova, E. and Dzubina, E., 2024. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registratsii programmy dlja `EVM № 2024666392 RF. Programma dlja rascheta dopustimoy kontsentratsii nefteproduktov v pochvah [Certificate of state registration of the computer program No. 2024666392 of the Russian Federation. A program for calculating the permissible concentration of petroleum products in soils]. № 2024665931. (in Russian)

8. Boronnikov, V., Shehovtsov, P. and Shehovtsov, V., 1996. Patent 2066944 RF. Sposob uskorennoj rekul'tivatsii pochvy, zagrijaznennoj nefteproduktami [A method for accelerated reclamation of soil contaminated with petroleum products]. № 94043529/13. (in Russian)
9. Buzmakov, S., Andreev, D. and Dzijuba, E., 2021. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registratsii bazy dannyh № 2021620097 RF. Geoinformatsionnaja baza dannyh «Migratsija uglevodorodov v vodohrannoj zone Kamskogo vodohranilisha» [Certificate of state registration of the database No. 2021620097 of the Russian Federation. Geoinformation database "Migration of hydrocarbons in the water protection zone of the Kama reservoir"]. № 2020622892. (in Russian)
10. Buzmakov, S., Dzijuba, E. and Sivkov, D., 2021. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registratsii bazy dannyh № 2021620098 RF. Geoinformatsionnaja baza dannyh geohimicheskikh svojstv pochv landshaftnogo zakaznika Predural'e [Certificate of state registration of the database No. 2021620098 of the Russian Federation. Geoinformation database of geochemical properties of soils of the Preduralie landscape reserve]. № 2020622893. (in Russian)
11. Buzmakov, S., Dzijuba, E. and Sivkov, D., 2021. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registratsii bazy dannyh № 2021620099 RF. Geoinformatsionnaja Baza dannyh geohimicheskikh svojstv pochv na territorii Permskogo kraja [Certificate of state registration of the database No. 2021620099 of the Russian Federation. Geoinformation database of geochemical properties of soils in the Perm territory]. № 2020622894. (in Russian)
12. Buzmakov, S., Hotjanovskaja, Ju. and Andreev, D., 2021. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registratsii bazy dannyh № 2021621102 RF. Tehnogenijnaja transformatsija prirodnoj sredy v karstovom rajone [Certificate of state registration of the database No. 2021621102 of the Russian Federation. Technogenic transformation of the natural environment in the karst area]. № 2021620770. (in Russian)
13. Buzmakov, S., Andreev, D., Nazarov, A., Dzyuba, E., Shestakov, I., Kuyukina, M., Elkin, A., Egorova, D. and Khotyanovskaya, Yu., 2021. Reaction of various test objects to experimental oil pollution of soils. *Ecology*. (4). pp. 254-262. <https://doi.org/10.31857/S0367059721040053> (in Russian)
14. Buzmakov, S. and Dzyuba, E., 2023. Assessment of soil pollution by potentially toxic elements in the zone of influence of potash salt extraction. *Ecology and industry of Russia*, 27(5), pp. 46-50. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-5-46-50> (in Russian)
15. Buzmakov, S., Egorova, D. and Gatina, E., 2017. Dose-effect of oil pollution of soils on the biotic component of ecosystems. *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Ecology and life safety*, 25(2), pp. 217-229. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2017-25-2-217-229> (in Russian)
16. Busurmankulov, A., 2000. *The Development of Scientific Ideas of Academician N.G. Andreev*. In: Tyuldyukov, M. (ed.) *Collection of Scientific Papers on the 100th Anniversary of the Birth of N.G. Andreev, 2000, Moscow, Russia*. Moscow, pp. 237-243. (in Russian)
17. Gavrilin, I. and Shigapov, A., 2016. Patent 2581671 RF. Sposob oshistki pochvy ot zagrijaznenija nef'tju i nefteproduktami [Method of cleaning soil from pollution by oil and oil products]. № 2014135129/13. (in Russian)
18. The Civil Code of the Russian Federation. Article 1354. Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5142/?ysclid=lw6a70x3fv234224723 [Accessed 14th October 2024].
19. Grigoriadi, A., Novoselova, E. and Kireeva, N., 2009. Fitoremediatsija kak sposob oshistki i povyshenija biologicheskoj aktivnosti neftezagrijaznennyh pochv [Phytoremediation as a method of purification and enhancement of biological activity of oil-contaminated soils]. *Agrarian Russia*. 1, pp. 30-31. (in Russian)
20. Grigor'eva, T., Lajkov, A., Nesmelov, A., Kolpakov, A., Il'inskaja, O. and Naumova, R., 2014. Patent 2529948 RF. *Pseudomonas stutzeri* bacteria strain – decomposer of aliphatic and aromatic petroleum hydrocarbons and plant growth stimulant and use thereof. № 2012139285/10. (in Russian)
21. Grigor'eva, T., Nesmelov, A., Il'inskaja, O., Naumova, R., Muhametshin, I. and Smolko, A., 2012. Patent 2464114 RF. Sposob obezvrezhivaniya uglevodorodsoderzhaschih shlamov [Method of neutralization of hydrocarbon-containing sludge]. № 2010121463/13. (in Russian)
22. Degtyareva, I., Babynin, E., Sirotkin, A. and Yapparov, I., 2018. *Bioremediatsija pochv: metody i podhody* [Bioremediation of soils: methods and approaches]. Kazan: KNITU publ. 100 p.
23. Dzyuba, E., 2022. *Geohimicheskaja identifikatsija antropogennoj transformatsii prirodnoj sredy na territorii Permskogo kraja* [Geochemical identification of anthropogenic transformation of the natural environment on the territory of the Perm territory]. Candidate's Dissertation of Sciences in Geography. Perm, 235 p.
24. Dzyuba, E., 2021. *Geochemical Features of the Territory of Perm Region Formed as a Result of Technogenic and Post-Technogenic Impact on the Environment*. In: *Environmental Safety in Conditions of Anthropogenic Transformation of Nature: Proceedings of All-Russian School-Seminar Dedicated to the Memory of N.F. Reimers and F.R. Shtilmark, 22-23 April 2021, Perm, Russia*. Perm State University, 2021, pp. 148-154. (in Russian)
25. Dzyuba, E., 2021. Determination of the local background content of some macro- and microelements in the soils of the Perm region. *Geographical Bulletin*, 1(56), pp. 95-108. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-1-95-108> (in Russian)
26. Dzyuba, E., 2024. Natural and technogenic geochemical zoning of the Perm region. *Geographical Bulletin*, 3(70), pp. 139-151. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2024-3-139-151> (in Russian)
27. Dubrovin, A. and Bedin, S.A., 2002. Patent 2188529 RF. Sposob rekul'tivatsii pochv, zagrijaznennyh nef'tju i neftesoderzhaschimi produktami na severe rossijskoj federatsii v zonah neftepromyslov i magistral'nyh nefteprovodov [A method for recultivation of soils contaminated with oil and oil-containing products in the north of the Russian Federation in the zones of oil fields and main oil pipelines]. № 2001119291/13. (in Russian)
28. Evsina, S. and Dzyuba, E., 2023. *The Experience of Using Scots pine (Pinus sylvestris L.) as a Test Object of Biotesting and Bioindication*. In: Buzmakov, S. (ed.) *Perm. Environmental Safety in Conditions of Anthropogenic Transformation of Nature: Proceedings of All-Russian Scientific Conference of Young Scientists Dedicated to the*

Memory of N.F. Reimers and F.R. Shtilmark. 20-21 April 2023, Perm, Russia. Perm, Perm State University, pp. 559-563. (in Russian)

29. Egurtsov, S., Ivanov, Ju., Skrynnik, T., Sevost'janov, S., Demin, D. and Danilov, O., 2017. Patent 2620829 RF. Sposob rekul'tivatsii razrushennyh zemel' v zone mnogoletnej [The method of reclamation of destroyed lands in the long-term zone]. № 2016114053. (in Russian)

30. Zaalishvili, V., Bekuzarova, S., Bataev, D. and Mazhiev, H., 2010. Patent 2396133 RF. Sposob reabilitatsii neftezagrnennyyh zemel' [The method of rehabilitation of oil-contaminated lands]. № 2008142997/15. (in Russian)

31. Zaalishvili, V., Bekuzarova, S., Mazhiev, H., Bataev, D., Burdzieva, O., Mazhiev, K. and Mazhieva, A., 2013. Patent 2481162 RF. Sposob melioratsii neftezagrnennyyh zemel' [The method of reclamation of oil-contaminated lands]. № 2011117840/13. (in Russian)

32. Zainutdinova, E., Shamsutdinova, E., Yagafarova, G. and Mazitova, A.K., 2017. Fitoremediatsiya tehnonarushennyh zemel' [Phytoremediation of technodisturbed lands]. *Bulletin of the Technological University*, 20(6), pp. 157-159. (in Russian)

33. Ivanova, L., 2014. Patent 2512171 RF. Sposob biologicheskoy rekul'tivatsii tehnogenno-narushennyh zemel' [A method of biological reclamation of technogenically disturbed lands]. № 2012117842/13. (in Russian)

34. Ivshina, I., Kostarev, S., Kujukina, M. and Zaksheskaja, L., 2002. Patent 2193464 RF. Sposob bioremediatsii pochv i gruntov, zagrnennyyh nef'tju i nefteproduktami [Method of bioremediation of soils and soils contaminated with oil and petroleum products]. № 2001130686/13. (in Russian)

35. Il'inskij, A. and Kirejecheva, L., 2019. Patent 2680583 RF. Sposob biologicheskoy ochistki ot nefteproduktov pochv zemel' sel'skhozajstvennogo [A method of biological purification from petroleum products of soils of agricultural lands]. № 2018118389. (in Russian)

36. Kabipzyanova, A. and Dzyuba, E., 2023. *Methods of Biotesting and Bioindication for Soil Pollution Assessment*. In: Buzmakov, S. (ed.) *Environmental Safety in Conditions of Anthropogenic Transformation of Nature: Proceedings of All-Russian Scientific Conference of young Scientists Dedicated to the Memory of N.F. Reimers and F.R. Shtilmark. 20-21 April 2023, Perm, Russia. Perm, Perm State University*, pp. 304-308. (in Russian)

37. Kabipzyanova, A. and Dzyuba, E., 2024. *Assessment of the State of the Environment in the Area of the Poroshenskoye Deposit by the Method of Fluctuating Asymmetry*. In: Buzmakov, S. (ed.) *Environmental Safety in Conditions of Anthropogenic Transformation of Nature: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference of young Scientists Dedicated to the Memory of N.F. Reimers and F.R. Shtilmark. 25-27 April 2024, Perm, Russia. Perm, Perm State University*, pp. 225-230. (in Russian)

38. Kardakova, T., Koz'minyh, A., Komosko, V., Komosko, G., Kuznetsov, S. and Podshivalova, O., 2017. Patent 2616398 RF. Bioremediant dlja provedeniya rekul'tivatsii zagrnennyyh nef'tju i/ili nefteproduktami pochv [Bioremediant for reclamation of soils contaminated with oil and/or petroleum products]. № 2015146815. (in Russian)

39. Kireeva, N. and Vodopyanov, V., 2007. Monitoring rastenij, ispol'zuemyh dlja fitoremediatsii neftezagrnennyyh pochv [Monitoring of plants used for phytoremediation of oil-contaminated soils]. *Ecology and industry of Russia*, 9, pp.46-47. (in Russian)

40. Kireeva, N., Tarasenko, E. and Bakaeva, M., 2004. Detoksikatsiya neftezagrnennyyh pochv pod posevami ljutserny (*Medicago sativa L.*) [Detoxification of oil-contaminated soils under alfalfa crops (*Medicago sativa L.*)]. *Agrochemistry*, 10, pp. 68-72. (in Russian)

41. Krasavin, A., Kataeva, I., Oborin, G. and Bernikov, A., 2002. Patent 2181933 RF. Sposob rekul'tivatsii toksichnyh zemel', narushennyh pri dobyche uglja [The method of reclamation of toxic lands disturbed during coal mining]. № 99108939/13. (in Russian)

42. Krasavin, A., Kataeva, I., Oborin, G., Vjatkin, A., Sergeev, V., Erushina, O. and Fuss, V., 2006. Patent 2290270 RF. Sposob biologicheskoy remediatsii neftezagrnennyyh pochv [Method of biological remediation of oil-contaminated soils]. № 2005123931/13. (in Russian)

43. Kuznetsov, P., Melihov, V., Karengina, T., Shvagerus, P., Kuznetsova, V. and Melihova, M., 2008. Patent 2320429 RF. Sposob biologicheskoy rekul'tivatsii pochv, zagrnennyyh nef'tju i nefteproduktami [A method of biological reclamation of soils contaminated with oil and petroleum products]. № 2006145927/13. (in Russian)

44. Kuznetsov, P., Melihov, V., Karengina, T., Shvagerus, P., Kuznetsova, V. and Melihova, M., 2008. Patent 2329633 RF. Sposob biologicheskoy rekul'tivatsii pochv, zagrnennyyh nef'tju i nefteproduktami [A method of biological reclamation of soils contaminated with oil and petroleum products]. № 2006145924/12. (in Russian)

45. Kuznetsov, P., Melihov, V., Kruzhilin, I., Mamin, V., Bolotin, A., Karengina, T., Shvagerus, P. and Kuznetsova, V., 2008. Patent 2320430 RF. Sposob biologicheskoy rekul'tivatsii pereuplotnennyh pochv, zagrnennyyh nef'tju i nefteproduktami [A method of biological reclamation of over-compacted soils contaminated with oil and petroleum products]. № 2006145926/13. (in Russian)

46. Litvinenko, V. and Trushin, V., 1989. Patent 1530116 USSR. Sposob rekul'tivatsii pochv, zagrnennyyh nef'tju ili neftesoderzhaschimi produktami [Method of reclamation of soils contaminated with oil or oil-containing products]. № 4391107. (in Russian)

47. Lifshits, S., Gljaznetsova, Ju., Chalaja, O., Zueva, I. and Erofeevskaja, L., 2014. Patent 2535746 RF. Sposob vosstanovlenija neftezagrnennyyh pochv putem vneshenija mikrobnorastitel'nyh soobschestv [A method for restoring oil-contaminated soils by introducing microbial and plant communities]. № 2013104437/13. (in Russian)

48. Maksimenko, A., 2007. Patent 2294804 RF. Sposob ochistki i rekul'tivatsii pochv, zagrnennyyh nef'tju i nefteproduktami [A method for cleaning and recultivation of soils contaminated with oil and petroleum products]. № 2005112993/13. (in Russian)

49. Mineral fertilizers. The Great Russian Encyclopedia. Available from: <https://bigenc.ru/c/mineral-nye-udobrenija-ed2a24> [Accessed 14th October 2024].

50. Muratova, A.J., Bondarenkova, A., Golubev, S., Panchenko, L. and Turkovskaja, O., 2010. Patent 2403102 RF. Sposob fitoremediatsii grunta, zagrnennogo uglevodородami (varianty) [Method of phytoremediation of soil

- contaminated with hydrocarbons (options)]. № 2009118275/10. (in Russian)
51. Muratova, A., Golubev, S. and Turkovskaja, O., 2010. Patent 2406758 RF. Shtamm bakterij *Sinorhizobium meliloti* p221, destruktorski politsiklicheskih aromatičeskikh uglevodorodov i stimulator rasta rastenij dlja povyšeniya `effektivnosti fitoremediatsii [Bacterial strain *Sinorhizobium meliloti* p221, a destructor of polycyclic aromatic hydrocarbons and a plant growth stimulator to increase the effectiveness of phytoremediation]. № 2009108374/10. (in Russian)
52. Nazarov, A., Ilarionov, S., Gorelov, V., Kalachnikova, I., Schukin, V., Nargovich, Ju. and Basov, V., 2005. Patent 2253209 RF. Sposob biorekul'tivatsii neftezagrzajzennykh pochv [Method of biorecultivation of oil-contaminated soils]. № 2003132619/12. (in Russian)
53. Nazarov, A., Ilarionov, S. and Kalachnikova, I., 2005. Patent 2249933 RF. Sposob povyšeniya biomassy i vyzhivaemosti rastenij na neftezagrzajzennoj pochve [A method for increasing biomass and plant survival in oil-contaminated soil]. № 2003113298/12. (in Russian)
54. Nazarov, A., Ilarionov, S., Sergeev, V., Kalachnikova, I. and Fuss, V., 2004. Patent 2225086 RF. Sposob fitorekul'tivatsii neftezagrzajzennykh pochv [Method of phytorecultivation of oil-contaminated soils]. № 2002123819/13. (in Russian)
55. Nikiforov, A., Vazhenin, V. and Golovnev, V., 1995. Patent 2038363 RF. Sposob rekul'tivatsii pochv, zagrzajzennykh nef'tju [The method of reclamation of soils contaminated with oil]. № 93006341/15. (in Russian)
56. Odegova, T., Balandina, A., Burlakova, E., Zlotnikov, K., Zlotnikov, A. and Kazakov, A., 2011. Patent 2421291 RF. Sposob rekul'tivatsii pochv, zagrzajzennykh nef'tju i nefteproduktami [The method of reclamation of soils contaminated with oil and petroleum products]. № 2008130262/10. (in Russian)
57. Onegova, T., Volochkov, N., Kireeva, N., Nagumanov, N. and Zhdanova, N., 2006. Patent 2279472 RF. Sposob očistki pochvy ot nef'tjanykh zagrzajzenij [A method for cleaning the soil from oil pollution]. № 2004119511/13. (in Russian)
58. Otroshko, D., Sheremet, V., Volchenko, N., Samkov, A., Hudokormov, A., Karasev, S. and Karaseva, E., 2017. Patent 2618096 RF. Sposob fitoremediatsii pochvy, zagrzajzennoj uglevodorodami, i primenenie shtamma mikroorganizma *Rhodococcus erythropolis* vkm as-2017d v kachestve stimulatora rasta rastenij [A method for phytoremediation of soil contaminated with hydrocarbons and the use of a strain of the microorganism *Rhodococcus erythropolis* vkm ac-2017d as a plant growth stimulator]. № 2016122777. (in Russian)
59. Parfenjuk, V., Beljaev, A. and Hamaturov, R., 1994. Patent 2009626 RF. Sposob rekul'tivatsii pochv, zagrzajzennykh nef'tju i neftesoderzhaschimi produktami [A method of reclamation of soils contaminated with oil and oil-containing products.]. № 4935166/15. (in Russian)
60. Patrusheva, A. and Dzyuba, E., 2023. Application of Bioindication to Assess Technogenesis in Oilfield Sites. In: Buzmakov, S. (ed.) *Environmental Safety in Conditions of Anthropogenic Transformation of Nature: Proceedings of All-Russian Scientific Conference of young Scientists Dedicated to the Memory of N.F. Reimers and F.R. Shtilmark*. 20-21 April 2023, Perm, Russia. Perm, Perm State National University, pp. 582-585. (in Russian)
61. Rospatent. News. Available from: <https://rospatent.gov.ru/ru/news/4science-novyy-besplatnyy-servis-poiska-patentnyh-dokumentov-yandeks-patenty> [Accessed 14th October 2024].
62. Rospatent. General information. Available from: <https://rospatent.gov.ru/ru/about> [Accessed 14th October 2024].
63. Rospatent platform. Available from: <https://searchplatform.rospatent.gov.ru/> [Accessed 14th October 2024].
64. Satubaldin K. and Salanginas L., 2004. Patent 2242300 RF. Sposob rekul'tivatsii zagrzajzennykh nef'tju i nefteproduktami pochv i gruntov [The method of reclamation of soils and soils contaminated with oil and petroleum products]. № 2001106295/13. (in Russian)
65. Satubaldin, K. and Salanginas, L., 2005. Patent 2243638 RF. Sposob vosstanovlenija zagrzajzennykh pochv, gruntov i wod [A method for restoring polluted soils, soils and waters]. № 2002127139/12. (in Russian)
66. Sevost'janov, V., 1997. Patent 2097401 RF. Sposob biologičeskoj rekul'tivatsii plodorodnykh zemel', zagrzajzennykh nef'tju sovmestno s plastovymi vodami v stepnykh, lesostepnykh, polupustynnykh zonah (varianty) [A method of biological reclamation of fertile lands contaminated with oil together with reservoir waters in steppe, forest-steppe, semi-desert zones (options)]. № 95112921/13. (in Russian)
67. Sevost'janov, V., 1998. Patent 2101900 RF. Sposob biologičeskoj rekul'tivatsii plodorodnykh zemel', zagrzajzennykh nef'tju, v lesostepnykh, stepnykh, polupustynnykh zonah (varianty) [Method of biological reclamation of fertile lands contaminated with oil in forest-steppe, steppe, semi-desert zones (options)]. № 95112785/13. (in Russian)
68. Sevost'janov, V., 1998. Patent 2113093 RF. Sposob biologičeskoj rekul'tivatsii peschanykh zemel', zagrzajzennykh nef'tju v zonah pustyn' i polupustyn' [A method of biological reclamation of sandy lands contaminated with oil in desert and semi-desert zones]. № 96100520/13. (in Russian)
69. Sevost'janov, V., 1998. Patent 2113095 RF. Sposob biologičeskoj rekul'tivatsii peschanykh zemel', zagrzajzennykh nef'tju sovmestno s plastovymi vodami [A method of biological reclamation of sandy lands contaminated with oil together with reservoir waters]. № 96100523/13. (in Russian)
70. Simagina, N., 2010. Osobennosti pojavlenija fitotoksicheskogo `effekta v model'nykh sistemah [Features of the phytotoxic effect in model systems]. *Scientific notes of the Tauride National University named after V.I. Vernadsky. The series "Biology, chemistry"*. 23(62), pp. 181-187. (in Russian)
71. Simonov, V. and Dzyuba, E., 2023. Oil Pollution in the Geochemical Landscape. In: Buzmakov, S. (ed.) *Environmental Safety in Conditions of Anthropogenic Transformation of the Nature: Proceedings of All-Russian Scientific Conference of young Scientists Dedicated to the Memory of N.F. Reimers and F.R. Shtilmark*. 20-21 April 2023, Perm, Russia. Perm, Perm State University, pp. 594-597. (in Russian)

72. Sozina, I. and Danilov, A., 2023. Mikrobiologičeskaja remediatsija neftezagrjazennyh pochv [Microbiological remediation of oil-contaminated soils]. *Notes of the Mining Institute*, 260, pp. 297-312. (in Russian)
73. Titova, L. and Dzyuba, E., 2023. Development of a Methodology for Determining the Phytotoxicity of Oil Produced in the Perm territory. In: Buzmakov, S. (ed.) *Environmental Safety in Conditions of Anthropogenic Transformation of The Natural Environment: Proceedings of All-Russian Scientific Conference of Young Scientists Dedicated to the Memory of N.F. Reimers and F.R. Shtilmark. 20-21 April 2023, Perm, Russia. Perm, Perm State University*, pp. 598-601. (in Russian)
74. Titova, L. and Dzyuba, E., 2024. Characteristics of the Oil Products of the Perm region and Methods for Assessing their Phytotoxicity In: Buzmakov, S. (ed.) *Environmental Safety in Conditions of Anthropogenic Transformation of the Natural Environment: Proceedings of All-Russian Scientific Conference of young Scientists Dedicated to the Memory of N.F. Reimers and F.R. Shtilmark. 25-27 April 2024, Perm, Russia. Perm, Perm State University*, pp. 526-531. (in Russian)
75. Tihanovskij, A., 2016. Patent 2599836 RF. Sposob biologičeskoj rekul'tivatsii narushennyh vechnomerzlyh pochv [A method of biological reclamation of disturbed permafrost soils]. № 2015123192/13. (in Russian)
76. Tolstograj, V., Lopatin, K., Chemjakin, A., Zhenihov, Ju., Suvorov, V. and Panov, V., 2008. Patent 2323052 RF. Sposob rekul'tivatsii neftezagrjazennyh poverhnošej torfjanyh bolot [Method of reclamation of oil-contaminated surfaces of peat bogs]. № 2006128427/15. (in Russian)
77. Tret'jakova, M., Belovezhets, L. and Markova, Ju., 2021. Patent 2744094 RF. Mikrobnij preparat dlja zaschity rastenij, proizrastajuschih na neftezagrjazennyh [Microbial preparation for the protection of plants growing in oil-contaminated areas]. № 2020124773. (in Russian)
78. Utkin, A., Zamolodchikov, D., Gulbe, T. and Gulbe, Ya., 1996. Allometricheskie uravnenija dlja fitomassy po dannym derev'ev sosny, eli, berezy i osiny v Evropejskoj chasti Rossii [Allometric equations for phytomass according to pine, spruce, birch and aspen trees in the European part of Russia]. *Forest science*, 6, pp. 36-46. (in Russian)
79. Khotyanovskaya, Yu., Buzmakov, S. and Kuchin, L., 2023. Geoecological patterns of transformation of the natural environment during the operation of an oil field in the karst region. *Geographical Bulletin*, 1(64), pp. 127-138. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2023-1-127-138> (in Russian)
80. Chekasina, E. and Egorov, I., 2001. Patent 2176164 RF. Sposob biologičeskoj remediatsii neftezagrjazennyh pochv [Method of biological remediation of oil-contaminated soils]. № 99114351/13. (in Russian)
81. Chekasina, E. and Egorov, I., 1999. Patent 2181640 Rossijskaja Federatsija. Sposob biologičeskoj rekul'tivatsii narushennyh zemel' [A method of biological reclamation of disturbed lands]. № 99114368/13. (in Russian)
82. What is a patent search, how is it conducted, a review of patent registries. Available from: <https://ezybrand.ru/blog/patentnyj-poisk-vidy-zadachi-rezultat/> [Accessed 14th October 2024].
83. Sharapova, I., Maslova, S., Tabalenkova, G., Garabadzhiu, A., Archegova, I. and Taskaev, A., 2012. Patent 2440199 RF. Kornevischnyj sposob fitorekul'tivatsii pochvy ot nefti i nefteproduktov [Rhizomatous method of phytorecultivation of soil from oil and petroleum products]. № 2010123987/13. (in Russian)
84. Jakusheva, O., Naumova, R., Samol'janov, A., Kichigin, V., Galuhin, V., Nikonorova, V., Askarov, I. and Galiev, R., 2008. Patent 2329200 RF. Sposob pererabotki shlamov ochistnyh sooruzhenij neftehimicheskij i neftepererabatyvajuschih proizvodstv [A method for processing sludge from treatment plants of petrochemical and oil refining industries]. № 2006115820/15. (in Russian)
85. Yankevich, M., Khadeeva, V. and Murygina, V., 2015. Bioremediatsija pochv: vchera, segodnja, zavtra [Bioremediation of soils: yesterday, today, tomorrow]. *Biosphere*, 2, pp. 199-208. (in Russian)
86. Buzmakov, S., Egorova, D. and Gatina, E., 2019. Effects of crude oil contamination on soils of the Ural region. *Journal of Soils and Sediments*, 2019, 19(1), pp. 38-48. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2025-0>
87. Buzmakov, S., Khotyanovskaya, Yu., Andreev, D., Egorova, D. and Nazarov, A.V., 2018. Indication of the status of ecosystems in the conditions of oilfield technogenesis. *Geographical bulletin*, 4(47), pp. 90-102. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2018-4-90-102>
88. Dziuba, E., Buzmakov, S. and Khotyanovskaya, Yu., 2023. Study of geochemical features of soils on the territory of an abandoned coal mining area using geoinformation technologies. *Environmental Geochemistry and Health*, 45(12), pp. 9135-9155. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01534-7>
89. WIPO/WIPO – Search for national patent funds and PCT Available from: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/search.jsf?ref=vc.ru> [Accessed 14th October 2024].

Статья поступила в редакцию 05.11.2024; одобрена после рецензирования 07.11.2024; принята к публикации 19.11.2024.

The article was submitted 05.11.2024; approved after reviewing 07.11.2024; accepted for publication 19.11.2024.