

УДК 502.3.7
Научная специальность: 2.10.2
EDN: HLGZPQ

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2025

Управление экологическими рисками при рекультивации терриконов Донбасса¹

Башкин В.Н.,

Институт физико-химических
и биологических проблем
почвоведения РАН,
142292, Россия,
Московская обл., г. Пущино,
ул. Институтская, д. 2-2

Аннотация

Целью статьи является рассмотрение технологических приемов усиления эффективности фиторемедиации терриконов в Донбасском регионе как способа управления экологическими рисками. Приведен обзор по использованию минеральных и органических сорбентов как технологического приема, показано их действие в различных условиях загрязненной окружающей среды Донбасса и других аналогичных регионах. Охарактеризована возможность применения биочара (биоугля) как соответствующего сорбента для усиления процесса рекультивации терриконов при высоком содержании в их почвогрунтах тяжелых металлов.

Ключевые слова: Донецкий регион; терриконы; рекультивация; фиторемедиация; сорбенты; экологические риски.

Для цитирования: Башкин В.Н. Управление экологическими рисками при рекультивации терриконов Донбасса // Проблемы анализа риска. 2025. Т. 22. № 3. С. 24–36. — EDN: HLGZPQ.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

¹ Работа выполнена в рамках темы Миннауки РФ: Биогеохимические процессы трансформации минерального и органического вещества в почвах на различных стадиях эволюции биосферы и техносферы – 121041500050-3.

Environmental Risk Management in the Reclamation of Waste Heaps in Donbass²

Vladimir N. Bashkin,

Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science RAS, Institutskaya str., 2-2, Pushchino, Moscow region, 142290, Russia

Abstract

The purpose of the article is to consider technological methods for enhancing the efficiency of waste heap phytoremediation in the Donbass region as a method for managing environmental risks. A review is given on the use of mineral and organic sorbents as a technological approach, their effect is shown in various conditions of the polluted environment of the Donbass and other similar regions. The possibility of using biochar (biocoal) as an appropriate sorbent to enhance the process of waste heap reclamation with a high content of heavy metals in their grounds is characterized.

Keywords: Donetsk region; waste heaps; reclamation; phytoremediation; sorbents; environmental risks.

For citation: Bashkin V.N. Environmental risk management in the reclamation of waste heaps in Donbass // Issues of Risk Analysis. 2025;22(3):24–36. (In Russ.). — EDN: HLGZPQ.

The author declares no conflict of interest

Содержание

Введение

1. Ретроспективный анализ экологических рисков в Донецком регионе

2. Управление экологическими рисками

Заключение

Список источников

² The work was carried out within the framework of the theme of the Ministry of Science of the Russian Federation: Biogeochemical processes of transformation of mineral and organic matter in soils at various stages of the evolution of the biosphere and technosphere – 121041500050-3.

Введение

Донбасский угольный бассейн — один из основных угольных бассейнов Российской Федерации. Он простирается от г. Новочеркасска до г. Краматорска и занимает площадь около 60 тыс. км². Суммарные запасы угля (до глубины 1,8 тыс. м) составляют 140,8 млрд т (рис. 1).

При этом вследствие многолетней добычи угля, в частности на территории Ростовской области, имеются крупнотоннажные углеотвалы (свыше 500 млн т) и золошлаковые отходы Новочеркасской ГРЭС (свыше 40 млн т). Породные отвалы занимают большую площадь (1,3 тыс. га) и ухудшают ландшафт местности. В результате их горения и пылеобразования загрязняется прилегающая местность, водный и воздушный бассейны.

Терриконы представляют собой шахтные отвалы углесодержащей породы. Эти угольные отвалы являются серьезной угрозой для окружающей среды, поскольку они включают в себя как тяжелые металлы (ТМ),

так и персистентные ароматические углеводороды (ПАУ) и в основном состоят из более грубых фракций породы. Отвалы угольных шахт богаты пиритом, что часто приводит к кислотному дренажу их профиля. Кислотный дренаж способствует выщелачиванию тяжелых металлов из отвалов в прилегающие почвы и водные ресурсы с соответствующим снижением рН. Поступление тяжелых металлов в процессе выщелачивания в окружающую среду опасно для людей, флоры и фауны.

По данным Государственного комитета по экологической политике и природным ресурсам при Главе Донецкой Народной Республики, в настоящее время насчитывается более 500 ед. породных отвалов, из которых 430 недействующие, 83 горящие и всего 54 рекультивированы. При этом их внешнее состояние изменяется со временем, они переходят от темно-серого цвета к рыжему, что объясняется протеканием процессов горения и окисления. В среднем их высота достигает 100 м при занимаемой площади зачастую



Рис. 1. Донецкий угольный бассейн (Яндекс — открытый доступ)

Figure 1. Donetsk coal basin (Yandex — open access)

в десятки гектар. Терриконы — объекты техногенной опасности, включающие такие факторы, как окисление, сопровождающееся горением, и протекание ветровой и водной эрозии. Это сопровождается аэральным и поверхностным распространением мелкодисперсных частиц, оседающих на тысячах гектаров как плодородных почв, так и заселенных территорий по всему региону Донбасса.

Поскольку, как отмечено выше, основным видом топливной промышленности региона является угольная — коксующийся уголь (Донецкий регион) и энергетический уголь (Луганский регион), то это обуславливает огромное количество терриконов на территории рассматриваемых областей и обострению экологической ситуации во всем регионе. Актуальность этой проблематики признана и на государственном уровне, где среди приоритетов развития выделены необходимость в: обеспечении устойчивого экологического развития территории, снижении нагрузки на окружающую среду, восстановлении деградированных природных ресурсов.

Кроме того, угольные отвалы все чаще становятся мусорными свалками. Все это свидетельствует о необходимости рекультивации терриконов, так как они являются причинами химического и радиологического загрязнения грунта, пылегазового слоя атмосферы и оказывают в целом негативное влияние на окружающую среду. Помимо всего признается, что суммарно терриконы занимают большие площади плодородных земель.

Все эти проблемы сопровождаются вредным воздействием не только на окружающую среду, но и на здоровье человека. Отсюда вытекает необходимость решения проблемы экологических рисков, связанных с терриконами (углеотвалами), что и является целью этой статьи.

1. Ретроспективный анализ экологических рисков в Донецком регионе

Горение терриконов является основной причиной выпадения кислотных дождей в регионе. Из одного горного отвала за сутки выбрасывается в атмосферу до пяти тонн оксидов углерода и до одной тонны сернистого ангидрида, оксидов азота и сероводорода. Один из путей решения этой проблемы был предложен еще в 1988 г., он заключается в построении каналов,

скважин и нагнетании известковой суспензии, предотвращающей появление очагов самовозгорания. В последние годы терриконы формируются послойным складированием глины и горных пород для предотвращения горения, а основная проблема заключается в старых терриконах, для переработки которых нужны средства [1].

Также показано, что с 1 га поверхности терриконов аэральными потоками сдувается до 10 т пыли в год, водными потоками вымывается более 35 т мелкозема ежегодно, включая водорастворимые соли, радионуклиды, тяжелые металлы, соединения фтора. При ликвидации шахт, а также при сезонном подтоплении и затоплении территории резко увеличивается интенсивность растворения техногенных загрязняющих веществ (ЗВ) в почвах и подстилающих грунтах. Это, в свою очередь, повышает риск загрязнения поверхностных и подземных водозаборов и гидросферы в целом. Загрязнение почвенного покрова вызывается также породными отвалами, количество которых в регионе составляет 566 ед., а площадь, которую они занимают — 4,8 тыс. га, и шламовыми накопителями, число которых достигает 240 ед., а их занимаемая площадь — до 980 га [2].

Таким образом, процесс горения пород угольного террикона обуславливает загрязнение атмосферного воздуха тяжелыми металлами. Концентрация металлов (кадмия и цинка) в волосах детей I группы (в непосредственной близости от горящего террикона), в 4,3 и 2,2 раза превышала контроль (II группа в 20 км от горящего террикона). Различия по свинцу и никелю составляли 2,0 и 2,7 раза соответственно. В моче детей I группы, проживающих в районе горящего террикона, концентрации свинца и никеля превышали контроль в 2,4 и 2,7 раза. Корреляционная зависимость между содержанием микроэлементов в воздушном бассейне и накоплением их в волосах и моче детей была прямой и достоверной. Накопление микроэлементов в волосах и моче детей может служить биоиндикационным маркером загрязнения окружающей среды. Дети, проживающие в зоне влияния горящих породных отвалов, представляют группу повышенного риска по развитию техногенных полигипермикрорезультатов [3].

При этом проводимое в течение ряда последних лет одновременное массовое закрытие угольных шахт сопровождается возникновением многих негативных экологических последствий, которые в силу их

специфики невозможно решить за короткий срок. На основании имеющейся мировой практики это может потребовать многие годы, поскольку подобные явления могут проявляться даже через десятки лет. Следовательно, необходим комплексный мониторинг за окружающей средой и здоровьем населения на территориях закрытых шахт и необходима оценка предотвращенного экологического ущерба [4, 5].

Как отмечается, наибольшее негативное воздействие может нанести затопление горных выработок вследствие прекращения откачки шахтных вод. Это сопровождается самопроизвольным выходом шахтных вод на поверхность из-за подпора грунтовых вод и повышением их уровня, с увеличением минерализации и загрязнением водоносных горизонтов. Возрастает вероятность вытеснения шахтных газов на поверхность, происходит снижение физико-механических свойств горного массива с активацией сдвигов, провалов и других деформационных процессов на поверхности.

Исходя из понятия о возможном экологическом риске в процессе выполнения любых действий, вопрос обеспечения гидробезопасности занимает главное место в проектах по ликвидации шахт [6]. При этом возникают и разнообразные геоэкологические риски, по определению связанные не только с воздействием антропогенной деятельности на окружающую среду, но и с негативным воздействием изменяющихся условий на производственные процессы [7, 8]. В связи с этим нужно формировать БД для информационно-обеспечения различных задач геоэкологической оценки техногенно измененных горными работами территорий. Также необходимо совершенствование правовой основы для рекультивации нарушенных земель, так как существующие нормативно-правовые

акты в основном связаны с проблемами использования и охраны земель, а не их восстановлением [9].

В связи с этим эколого-экономическая модель восстановления нарушенных земель на угледобывающих территориях с учетом социальной сферы должна включать следующую последовательность процессов: формирование терриконов, вторичная переработка и утилизация отходов, озеленение терриконов (табл.).

Такой подход включает интегральную качественно-количественную оценку экологического риска. Это также предполагает учет возможного ущерба в виде экологических, экономических, медицинских и социальных потерь.

2. Управление экологическими рисками

Фиторемедиация терриконов считается основным приемом для минимизации экологического воздействия на окружающую среду и здоровье населения в Донецком регионе. Так, Донецкий ботанический сад неоднократно брался за озеленение терриконов, и еще в 80-е годы для этих целей было отобрано более 110 видов растений, с помощью которых была проведена рекультивация более 100 шахтных отвалов [11].

В современных условиях одним из распространенных приемов рекультивации является засевание трав у подножия отвала и их дальнейшее распространение по склонам. В качестве трав для засеваания предполагается использование многолетников, отвечающих экологическим и эстетическим требованиям: *Achillea millefolium* — тысячелистник обыкновенный, *Artemisia absinthium* — полынь горькая, *Artemisia vulgaris* — полынь обыкновенная, *Berteroa incana* — икотник серый, *Frigeron canadensis* — олепестник канадский, *Lactuca*

Таблица. Карта приоритетов проведения рекультивационных мероприятий на основании оценки экологического риска (на основании данных [10])

Table. Map of priorities for reclamation activities based on environmental risk assessment (based on data from [10])

Объект воздействия	Степень экологического риска				Показатель степени риска: высокая + критическая	Очередность выполнения работ
	низкая	средняя	высокая	критическая		
Рекультивация и озеленение отвалов	22	3	7	3	10	II
Рекультивация и озеленение промплощадок	10	3	5	1	6	IV
Ликвидация пруда-отстойника	5	2	2	10	12	I
Защита водозабора	2	10	8	1	9	III

seniola — латук дикий, *Melilotus officinalis* — донник лекарственный, *Tanacetum vulgare* — пижма обыкновенная [12].

Многие растения являются индикаторами геохимической среды и их можно использовать для восстановления экосистем. Однако для предлагаемых растений характерен невысокий коэффициент биологического поглощения тяжелых металлов, повысить который можно с использованием современных технологий, например, с помощью клеточной селекции. Величина фитоэкстракции возрастает по сравнению с исходными растениями в два-три раза. Следовательно, нужно проводить отбор регенерантов, исходя из коэффициента биологического поглощения [13].

Тем не менее, вероятность экологических рисков закономерно возрастает при накоплении загрязняющих веществ, и прежде всего, тяжелых металлов в почвогрунтах углеотвалов вблизи районов угледобычи.

Из-за токсичности этих веществ на загрязненных территориях наблюдается деградация растительного покрова, а выживаемость растений-фиторемедиаторов крайне низкая (рис. 2). Вследствие этого земли, нарушенные угледобычей, невозможно использовать в рамках целевого назначения.



Рис. 2. Породные углеотвалы шахты Аютинская, Ростовская обл.

Figure 2. Rock coal dumps of the Ayutinskaya mine, Rostov region

Поэтому крайне важно восстанавливать такие загрязненные участки с помощью различных приемов рекультивации и ремедиации [14]. Были отработаны и предложены методы восстановления загрязненных и деградированных отвалов шахт, сочленяющие фиторемедиацию и применение мульчи, извести, биологических твердых веществ и летучей

золы в качестве почвоулучшителей [15–17]. Однако применение вышеупомянутых методов имеет определенные ограничения. Например, внесение летучей золы в почву связано с риском загрязнения тяжелыми металлами [18]. Внесение различных растительных твердых остатков в почву может вызвать загрязнение почвы органическими загрязнителями (пестицидами и гербицидами) и может увеличить биодоступность некоторых тяжелых металлов [19]. Внесение извести подходит только для кислых почв, применение навоза приводит к высвобождению ТМ после его минерализации в почве [20]. Для рекультивации почвы и удаления загрязняющих веществ также доступны другие технологии, такие как адсорбция, биodeградация и химическое окисление *in situ*, которые могут существенно удерживать и разлагать загрязняющие вещества в почве [21].

Бионакопление тяжелых металлов в экосистемах может серьезно повредить флоре и фауне и отрицательно повлиять на здоровье человека. Плохие физико-химические свойства отвалов, образующихся в результате горных работ, усложняют восстановление загрязненных и деградированных земель. В последние годы наблюдается экспоненциальный рост исследований по разработке и применению биочара (биоугля) и его композитов для рекультивации загрязненных тяжелыми металлами таких компонентов экосистем, как почва и вода. Обзор литературы показал, что за последние пять лет было опубликовано 95 обзорных статей, в которых рассматривалась полезность биочара для удаления тяжелых металлов из водной среды [22]. Однако еще недостаточно работ, посвященных применению биочара и его композитов для рекультивации загрязненных тяжелыми металлами угольных отвалов и почв, прилегающих к угольным шахтам. Необходимо рассматривать методы производства биочара из различных отходов и методы модификации первоначального биочара для разработки его функционализированных композитов (рис. 3).

Важны и физико-химические механизмы, с помощью которых биочар и его композиты удаляют и иммобилизуют тяжелые металлы в почве. При этом применение различных функционализированных композитов биочара позволяет эффективно управлять ремедиацией и рекультивацией шахтных отвалов, загрязненных тяжелыми металлами. Показано, что хотя фиторемедиация является наиболее

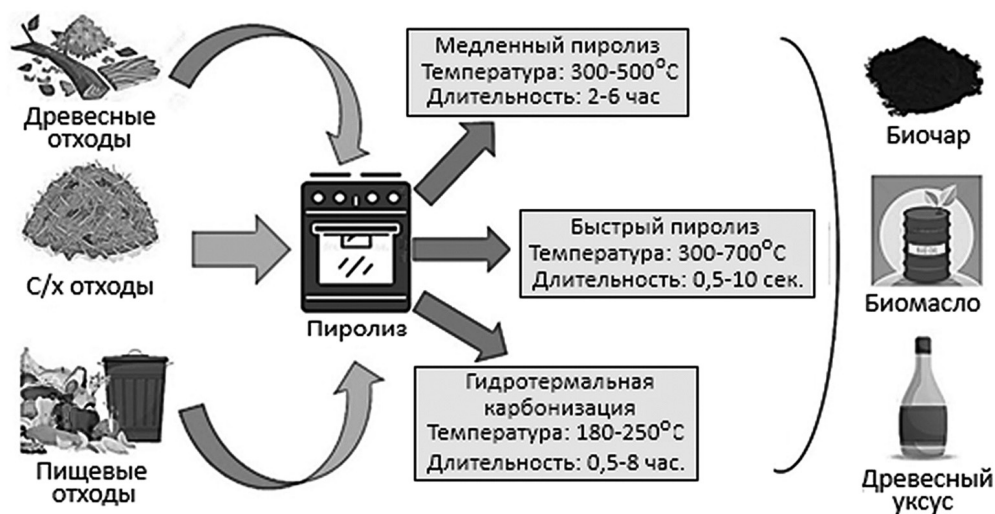


Рис. 3. Процессы пиролиза для производства биоугля, биомасла и древесного уксуса в качестве продукта из различных отходов биомассы

Figure 3. Pyrolysis processes for the production of biochar, biomass and wood vinegar as a product from various biomass wastes

распространенным и недорогим методом восстановления деградированной и загрязненной почвы путем стимулирования роста видов, устойчивых к тяжелым металлам, однако плохие физико-химические свойства этих почвогрунтов существенно ограничивают рост гипераккумуляторов. Эти негативные почвенные свойства обычно улучшаются с помощью внесения различных материалов, от различных сорбентов до речного песка.

Применение биочара (биоугля) может также улучшить как физико-химические свойства почвогрунтов углеотвалов, так и позволить сорбировать тяжелые металлы. При этом сорбционные свойства производимого биочара могут быть изменены методами предварительной и последующей обработки. Так, биочар, обработанный кислотой или щелочью, показывает изменение обилия и характеристик функциональных групп и поверхностной пористости. Биочар также можно комбинировать с другими минералами с помощью методов термической и химической обработки для получения его композитов, имеющих улучшенные поверхностные свойства по сравнению с первоначальным продуктом.

Таким образом, внесение биочара в загрязненные почвогрунты и деградированные почвы улучшает их общие физико-химические свойства и способствует иммобилизации тяжелых металлов в почвенной матрице, благоприятствуя развитию процесса

фиторемедиации. Осаждение, поверхностное комплексообразование, электростатическое притяжение и ионный обмен являются доминирующими методами, посредством которых биочар адсорбирует и иммобилизует тяжелые металлы в почвенной матрице.

Следует при этом отметить, что рекультивация и ремедиация почвогрунта шахтных отвалов, загрязненных тяжелыми металлами, такими как As, Cr и Cd с использованием чистого биочара является сложной задачей. Применение модифицированного биочара или композитов биочара усиливает процесс ремедиации. Поверхностные свойства модифицированного биочара могут быть изменены с помощью различных процессов модификации для удаления, в частности, определенного класса тяжелых металлов с анионными характеристиками в водном растворе почвы.

Рассмотрено применение биочара [23] для пылеподавления и рекультивации отвалов горнодобывающей промышленности и нарушенных земель, совместно с цеолитом и гуминовыми кислотами.

Представлены результаты исследования процесса рекультивации грунта угольного отвала с использованием торфяных препаратов в качестве органических сорбентов. Установлено, что внесение торфяных препаратов в грунт отвальной породы приводит к усилению ферментативной активности, связанной с образованием лабильного органического вещества.

Это является отражением процессов трансформации органического вещества растительных остатков и накопления первичных форм гумуса [24–26].

Добавление биочара в почву, загрязненную ТМ, улучшает ее плодородие, кислотность и водоудерживающую способность, минимизируя подвижность ЗВ. Все это способствует восстановлению растительности. Фиторемедиация шламовой почвы шахт с использованием биочара, полученного из остатков обрезки плодовых деревьев и органического удобрения при четырех различных уровнях концентрации (0, 1, 5 и 10%), продемонстрировала существенные преимущества биочара, связанные, в частности, со снижением биодоступности Zn, Cd и Pb по мере увеличения содержания биочара [27].

При изучении содержания ТМ в почвах территории углеотвала шахты им. В. И. Ленина Ростовской области установлен следующий ряд их среднего валового содержания: $Mn > Zn > Cr > Cu > Pb > Ni > Cd$, что определяется составом материала породного отвала, сформировавшего террикон. Приоритетные ЗВ почв на исследуемой территории — Pb и Cu, в меньшей степени — Mn и Cr [28]. Также показано влияние хелатирующих агентов на процессы цикла азота при ремедиации загрязненных ТМ почвогрунтов углеотвалов. Эффективность индуцированной фиторемедиации зависит от содержания биодоступных форм ТМ и развития микробиологических процессов. Отмечен разнонаправленный эффект на активность нитритредуктаз при внесении в техногенные почвы лимонной и щавелевой кислоты. Так, внесение NaЭДТА и лимонной кислоты уменьшает активность медьсодержащих нитритредуктаз, тогда как внесение щавелевой кислоты, наоборот, увеличивает их активность [29].

Как уже отмечалось, из всех предложенных методов ремедиации загрязненных почв особое внимание заслуживает применение сорбентов. Особенностью их действия является регулирование воздействия поллютантов путем снижения подвижности. Помимо этого, сорбенты могут являться дополнительными источниками питательных веществ для растений, а также позволяют удерживать больше влаги в доступной для растений форме. При этом биоуголь (биочар) является одним из наиболее эффективных и экологически безопасных сорбентов. Помимо иммобилизации ТМ, внесение биочара оказывает положительное влияние на химические свойства почвы, такие как изменения

pH, емкости катионного обмена (ЕКО), содержания элементов питания [30, 31]. Так, поглощение Cu(II), Zn(II) черноземом обыкновенным, в который внесен биочар, сопровождается уменьшением pH равновесных растворов, причем более заметно при адсорбции Cu(II). Степень подкисления зависит от концентрации и свойств катиона металла и свойств адсорбента (буферными свойствами почвы, щелочной реакцией среды биочара и наличием на его поверхности большого количества функциональных групп) [32]. Сорбция тяжелых металлов на твердых поверхностях, таких как почва, является одним из ключевых процессов, определяющих судьбу загрязняющих веществ в окружающей среде. Знание особенностей адсорбции тяжелых металлов биочаром имеет важное значение для его применения при рекультивации почв. С помощью адсорбционного метода была изучена возможность использования древесного биочара для детоксикации почв, загрязненных тяжелыми металлами (например, медью). Показано, что добавление биочара повышает способность почвы к поглощению металлов. Результаты были проанализированы с использованием уравнений изотерм Ленгмюра и Фрейндлиха. Был сделан вывод, что биочар можно использовать для иммобилизации тяжелых металлов в загрязненных почвах. Также улучшаются и биологические параметры [33].

Кроме того, известно и применение минеральных сорбентов, таких как диатомит, бентонит, монтмориллонит и пр. Их эффективность зависит как от типа отходов промышленного производства, так и от физико-химических характеристик самих тяжелых металлов. Так, мезопористые адсорбенты, полученные из природных материалов, являются хорошими кандидатами для исследования по удалению тяжелых металлов, поскольку они обладают высокой поверхностной активностью благодаря большой площади поверхности и однородному размеру пор. Мезопористые кремнеземные материалы были исследованы для удаления Cu(II), Cd(II) и Pb(II) с адсорбционной способностью около 36,3, 32,3 и 58,5 мг/г в диапазоне pH 5–7 [34]. В другой работе [35] оценена эффективность мезопористого диоксида кремния в качестве наноадсорбента для удаления ионов Pb(II) и Hg(II) с расчетом их адсорбционной способности в 303,03 и 256,41 мг/г соответственно.

Перспективным является применение современных рекультивационных технологий, основанных

на использовании нетрадиционных мелиорантов, например, компонентов осадка сточных вод (ОСВ), что позволяет повысить эффективность рекультивации и значительно снизить затраты на создание плодородного слоя. Исследования подтвердили положительное влияние ОСВ на биомассу растений и накопление в почве органического вещества, что позволяло успешно выращивать овощи, зерновые и кустарниково-древесные культуры. Также использование органоминеральных удобрений на основе торфа низинного типа позволяет активизировать биологические процессы, обеспечивая корнеобитаемый слой доступным для растений и микроорганизмов органическим веществом и элементами минерального питания, что, в свою очередь, стимулирует развитие и рост растений [36].

Исследованы минеральные сорбенты — диатомит и белый шлам (БШ - оборотный продукт глиноземного производства) на почвах, загрязненных ТМ. Их внесение оказывало положительное влияние на продуктивность зеленой массы пшеницы, хотя и не устраняло в полной мере отрицательное влияние избыточного содержания металлов. При этом БШ оказывал более заметное положительное действие, чем диатомит [37].

Также в наших экспериментах было показано, что предлагаемая биогеохимическая сорбционная технология, основанная на применении различных органических и минеральных сорбентов, включая биочар (из древесных отходов), позволяет эффективно проводить рекультивацию почвогрунтов углеотвалов шахты «Аютинская» Донецкого угольного бассейна. Уже в течение одного вегетационного сезона достигается заметное увеличение биомассы газонных трав.

Заключение

Следовательно, биоремедиация/фиторемедиация с использованием сорбентов, в частности биочара, может быть одной из наиболее привлекательных технологий восстановления почв, загрязненных тяжелыми металлами и металлоидами. Фиторемедиация, стимулируемая биочаром, имеет значительный потенциал для иммобилизации катионных тяжелых металлов и металлоидов в почвах шахтного шлама и других загрязненных металлами почвах, особенно в условиях высокой кислотности. Биочар может значительно снизить биодоступность и выщелачиваемость катионных

металлов и металлоидов в почвах, улучшить структуру почвы, физико-химические свойства, плодородие и восстановление растительности и способствовать развитию микробных популяций. При этом важно выбрать подходящий биочар, чтобы разработать успешную стратегию иммобилизации анионных металлов и металлоидов изначально с помощью подхода *in vitro*.

Необходимо подчеркнуть, что требуются более обширные исследования для оценки эффективности биоремедиации/фиторемедиации с использованием биочара для почвогрунтов, загрязненных тяжелыми металлами.

Научные исследования должны быть сосредоточены на следующих важных темах:

- демонстрация взаимосвязей между сырьевыми материалами, используемыми при пиролизе, физико-химическими свойствами биочара и биоремедиацией/фиторемедиацией почвы;
- оценка консистенции биочара и ее влияния на перенос металлов и металлоидов в шахтном шламе и почвах, загрязненных металлами, в полевых исследованиях;
- знание механизмов биоремедиации/фиторемедиации с использованием биочара, особенно взаимодействия между биоуглем, микробными популяциями, корнями растений и частицами почвы.

Приведенный обзор литературы показал эффективность рекультивации почвогрунтов углеотвалов с использованием различных сорбентов, как минеральных, так и органических. При этом следует особо подчеркнуть, что проведение рекультивации всегда является сайт-специфическим процессом, требующим подбора различных технологических приемов. Кроме того, требуется применение природоподобных биогеохимических технологий, как наиболее работоспособных для терриконовых масс и направленных на восстановление природной организованности биогеохимических циклов. Следовательно, необходима разработка биогеохимической технологии рекультивации почвогрунтов углеотвалов и оценка влияния различных минеральных и органических сорбентов. Такой технологический подход позволяет управлять экологическими рисками для здоровья населения и состояния окружающей среды в рассматриваемом Донецком регионе.

Список источников [References]

1. Житников В.В., Кусков А. А. Терриконы — источник сырья и экологических проблем Донецкой республики // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2020. № 1(5). С. 263–265 [Zhitnikov V. V., Kuskov A. A. Waste heaps are source of raw materials and environmental problems of the Donetsk People's Republic // Fire and Technosphere Safety: Problems and Ways of Improvement. 2020;(1):263–265 (In Russ.)]
2. Шило И.Н., Котенко А. А. Терриконы и экологические проблемы Донбасса // Донецкие чтения 2016. образование, наука и вызовы современности. Материалы I Международной научной конференции. Том 1. Под общей редакцией С. В. Беспаловой. 2016, ЮФУ, С. 379–382 [Shilo I. N., Kotenko A. A. Waste heaps and environmental problems of Donbass // Donetsk readings 2016: education, science and challenges of our time. Proceedings of the I International scientific conference. Volume 1. General editor S. V. Bepalova. 2016, SFedU, P. 379–382 (In Russ.)]
3. Сочилин А.В., Садеков Д. Р., Котов В. С. Биоиндикационная оценка влияния продуктов горения породных отвалов угольных шахт на экологическую ситуацию // Вестник гигиены и эпидемиологии. 2023. Т. 27. № 1. С. 51–53 [Sochilin A. V., Sadekov D. R., Kotov V. S. Bioindication assessment of the impact of the combustion products of coal mines dumps on the ecological situation // Vestnik of Hygiene and Epidemiology. 2023;27(1):51–53 (In Russ.)]
4. Жукова И.А., Лобунец В.С. Совершенствование эколого-и социально-экономической политики в угледобывающих территориях в пост-реструктуризационный период: Монография / И. А. Жукова, В. С. Лобунец. Ростов-на-Дону: Изд-во «Содействие–XXI век», 2016. 80 с. ISBN 978-5-91423-133-7 [Zhukova I. A., Lobunets V. S. Improvement of environmental and socio-economic policies in coal mining areas in the post-restructuring period: Monograph / I. A. Zhukova, V. S. Lobunets. Rostov-on-Don: Publishing house «Assistance–XXI century», 2016. 80 p. ISBN 978-5-91423-133-7 (In Russ.)]
5. Жукова И. А. Экоуправление техногенными ресурсами в системе реабилитации добывающих регионов: Монография. Ростов-на-Дону: Изд-во «Содействие–XXI век», 2013. 128 с. ISBN 978-5-91423-071-2 [Zhukova I. A. Ecological management of technogenic resources in the system of rehabilitation of mining regions: Monograph.- Rostov-on-Don: Publishing house «Assistance–XXI century», 2013. 128 p. ISBN 978-5-91423-071-2 (In Russ.)]
6. Прокопенко Е.В., Павлыш В. Н. Применение пакета SURFER для экологической оценки при закрытии шахт // Современные информационные технологии в образовании и научных исследованиях (СИТОНИ-2017). Материалы V Международной научно-технической конференции, Донецк, 20 ноября 2017, отв. ред. Павлыш В. Н., С. 133–137 [Prokopenko E. V., Pavlysh V. N. Application of the SURFER package for environmental assessment during mine closure // Modern information technologies in education and scientific research (SITONI-2017). Proceedings of the V International Scientific and Technical Conference, Donetsk, November 20, 2017, ed. Pavlysh V. N., P. 133–137 (In Russ.)]
7. Башкин В. Н. Управление геоэкологическими рисками при загрязнении водных систем // Проблемы анализа риска. 2020. Т. 17. № 1. С. 8–9, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-1-8-9> [Bashkin V. N. Geocological risks management at pollution of water systems // Issues of Risk Analysis. 2020;17(1):8–9. (In Russ.). <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-1-8-9>]
8. Башкин В. Н. Управление экологическими рисками для предотвращения экологических катастроф // Проблемы анализа риска. 2020. Т. 17. № 3. С. 8–10, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-3-8-10> [Bashkin V. N. Environmental risk management to prevent environmental disasters // Issues of Risk Analysis. 2020;17(3):8–10. (In Russ.). <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-3-8-10>]
9. Гаврилов В.Л., Немова Н. А., Резник А. В., Косарев Н. С., Колесников А. А. О необходимости комплексной геоэкологической оценки техногенно нарушенных горными работами земель // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334. № 10. С. 76–87. <https://doi.org/10.18799/24131830/2023/10/4212> [Gavrilov V. L., Nemova N. A., Reznik A. V., Kosarev N. S., Kolesnikov A. A. On the need for a comprehensive geocological assessment of lands disturbed by mining // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2023;334(10):76–87. (In Russ.). <https://doi.org/10.18799/24131830/2023/10/4212>]
10. Улицкий О. А. Основные факторы загрязнения природной среды и требования по исключению их вредного влияния при ликвидации шахт // Наука и мир. 2014. № 6–1(10). С. 105–108 [Ulitsky O. A. Major factors of pollution of environment and the requirements for the

- exception of adverse effect at liquidation of mines // *Science and World*. 2014;(6–1(10)):105–108. (In Russ.)]
11. Хоменко Я.В., Солдатова А. С. Оценка проблемы терриконов ДОНБАССА // *Экономический вестник Донбасса*. 2015. № 1(39). С. 12–19 [Khomenko Ya.V., Soldatova A. S. The problem of waste banks of Donbass // *Economic Bulletin of Donbass*. 2015;(1(39)):12–19. (In Russ.)]
 12. Зыков В.И., Малевич Е. С. Экологическое обоснование рекультивации терриконов // *Вестник РУДН: сер. Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2007. № 4. С. 68–70 [Zykov V.I., Malcjik E. S. Ecological substantiation of terikone recultivation // *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2007;(4):68–70. (In Russ.)]
 13. Гладков Е. А., Гладкова О. В. Экобиоготехнологические подходы для повышения коэффициента биологического поглощения растений в фиторемедиации // *Известия ТулГУ. Науки о Земле*. 2019. № 4. С. 32–40 [Gladkov E. A., Gladkova O. V. Ecobiogeotechnological approaches for increasing the biological absorption of plants in phytoremediation // *Izvestija Tulsogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2019;(4):32–40. (In Russ.)]
 14. Pajak M., Błonska E., Szostak M., Gasiorek M., Pietrzykowski M., Urban O., Derbis P. Restoration of vegetation in relation to soil properties of spoil heap heavily contaminated with heavy metals // *Water. Air. Soil Pollut*. 2018;(229):392–401. <https://doi.org/10.1007/s11270-018-4040-6>
 15. Bech J., Duran P., Roca N., Poma W., Sánchez I., Roca-Pérez L., Boluda R., Barceló J., Poschenrieder C. Accumulation of Pb and Zn in *Bidens Triplinervia* and *Senecio Sp.* spontaneous species from mine spoils in Peru and their potential use in phytoremediation // *J. Geochem. Explor*. 2012;(123):109–113.
 16. Maiti S. K. *Ecorestoration of the coalmine degraded lands* // Springer Science & Business Media: Berlin / Heidelberg, Germany, 2012; ISBN9788578110796
 17. Prasad M.N.V., de Campos Favas P.J., Maiti S. K. Fly Ash and lime-stabilized biosolid mixtures in mine spoil reclamation // *In Bio-Geotechnologies for Mine Site Rehabilitation*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2018;159–180
 18. Pandey V.C., Singh N. Impact of fly ash incorporation in soil systems // *Agric. Ecosyst. Environ*. 2010;(136):16–27
 19. Mossa A.W., Bailey E. H., Usman A.; Young S.D., Crout N.M.J. The Impact of long-term biosolids application (>100 years) on soil metal dynamics // *Sci. Total Environ*. 2020;(720):137441
 20. Adnan M., Shah Z., Sharif M., Rahman H. Liming induces carbon dioxide (CO₂) emission in PSB inoculated alkaline soil supplemented with different phosphorus sources // *Environ. Sci. Pollut. Res*. 2018;(25):9501–9509
 21. Qu J., Tian X., Zhang X., Yao J., Xue J., Li K., Zhang B., Wang L., Zhang Y. Free radicals-triggered reductive and oxidative degradation of highly chlorinated compounds via regulation of heat-activated persulfate by low-molecular-weight organic acids // *Appl. Catal. B Environ*. 46 2022;(310):121359
 22. Chandra S., Medha I., Tiwari, A. K. The Role of modified biochar for the remediation of coal mining-impacted contaminated soil: a review. *Sustainability*. 2023;(15):3973. <https://doi.org/10.3390/su15053973>
 23. Крупская Л.Т., Голубев Д. А., Растанина Н. К., Филатова М. Ю. Рекультивация поверхности хвостохранилища закрытого горного предприятия Приморского края с использованием биоремедиации // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019. № 9. С. 138–148. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-09-0-138-148> [Krupskaya L. T., Golubev D. A., Rastanina N. K., Filatova M. Yu. Reclamation OF tailings storage surface at a closed mine in the Primorsky krai by bio remediation // *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2019;(9):138–148. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-09-0-138-148> (In Russ.)]
 24. Алексеева Т.П., Бурмистрова Т. И., Сысоева Л.Н., Трунова Н. М., Середина В. П. Технология рекультивации почв угольного отвала с использованием торфяных препаратов // *Экология и промышленность России*. 2016. Т. 20. № 11. С. 39–43. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-11-39-43> [Aleksееva T. P., Burmistrova T. I., Sysoeva L. N., Trunova N. M., Seredina V. P. Process of Soil Remediation at Coal Dump Using Peat Preparations // *Ecology and Industry of Russia*. 2016;20(11):39–43 (In Russ.)]
 25. Патент РФ 2655215С1 Способ иммобилизации свинца в загрязненных почвах, автор Неведров Н. П., 2017 [Patent of the Russian Federation 2655215С1 Method of immobilization of lead in contaminated soils, author N. P. Nevedrov, 2017 (In Russ.)]
 26. Петункина Л.О., Заушинцева А. В., Шатилов Д. И. Оптимальные соотношения рекультиваторов для целевого использования на угледобывающем предприятии // *Экологические проблемы промышленно развитых и ресурсных регионов: пути решения. Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции*, 2016; Кемерово. Кемерово: Кузбасский государственный

- технический университет им. Т. Ф. Горбачева, С. 38 [Petunkina L. O., Zaushintsena A. V., Shatilov D. I. Optimal ratios of reclamation plants for targeted use at a coal mining enterprise // *Environmental problems of industrially developed and resource regions: solutions. Proceedings of the All-Russian youth scientific and practical conference, 2016; Kemerovo. Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev, P. 38 (In Russ.)*]
27. Drozdova M. Yu., Pozdnyakova A. V., Osintseva M. A., Burova N. V., Minina V. I. The microorganism-plant system for remediation of soil exposed to coal mining // *Foods and Raw Materials. 2021; 9(2):406–418.*
<https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-406-418>
28. Бауэр Т.В., Барахов А. В., Минкина Т. М., Латынник Е. С. Оценка степени загрязнения почв техногенных ландшафтов в зоне влияния терриконов угольных шахт Ростовской области // *Материалы Международной научно-практической конференции «Пятые ландшафтно-экологические чтения, посвященные Г. Е. Гришанкову «Природа и общество: интеграционные процессы» Севастополь. 2022. С. 212–217 [Bauer T. V., Barakhov A. V., Minkina T. M., Latsynnik E. S. Assessment of the degree of soil pollution in technogenic landscapes in the zone of influence of coal mine waste heaps in the Rostov region // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «The Fifth Landscape and Ecological Readings Dedicated to G. E. Grishankov «Nature and Society: Integration Processes» Sevastopol. 2022. P. 212–217 (In Russ.)*]
29. Пуликова Е.П., Горовцов А. В., Невидамская Д. Г., Казарян К. А., Минкина Т. М. Влияние хелатирующих агентов на процессы денитрификации в почвах степных ландшафтов районов угледобычи восточного Донбасса // *Мониторинг, охрана и восстановление почвенных экосистем в условиях антропогенной нагрузки. Материалы Международной молодежной научной школы. Ростов-на-Дону—Таганрог. 2022. С. 238–243 [Pulikova E. P., Gorovtsov A. V., Nevidomskaya D. G., Kazaryan K. A., Minkina T. M. Influence of chelating agents on denitrification processes in soils of steppe landscapes of coal mining areas of eastern Donbass // Monitoring, protection and restoration of soil ecosystems under anthropogenic load. Proceedings of the International Youth Scientific School. Rostov-on-Don — Taganrog. 2022. P. 238–243 (In Russ.)*]
30. Amonette J.E., Joseph S. Characteristics of biochar: microchemical properties // In: Lehmann J., Joseph S. (eds.): *Biochar for Environmental Management Science and Technology*. Earthscan: London. 2009. P. 33–43
31. Zimmerman A.R., Gao B., Ahn M. Y. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils // *Soil Biology and Biochemistry. 2011;(43):1169–1179.*
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.02.005>
32. Бурачевская М.В., Минкина Т. М., Бауэр Т. В., Лобзенко И. П., Северина В. И. Влияние биочара из отходов сельского хозяйства на изменение рН почвы при поглощении тяжелых металлов // *Актуальная биотехнология. 2021. № 1(35). С. 208–210 [Burachevskaya M. V., Minkina T. M., Bauer T. V., Lobzenko I. P., Severina V. I. The influence of biochar from agricultural waste on the change in soil pH during the absorption of heavy metals // Actual Biotechnology. 2021;(1):208–210 (In Russ.)*]
33. Минникова Т.В., Минин Н. С., Колесников С. И., Горовцов А. В., Чистяков В. А. Оценка фитотоксичности чернозема обыкновенного при применении *Bacillus* sp. и биочара для стимуляции разложения пожнивных остатков озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // *Агрохимия. 2023. № 5. С. 60–69.*
<https://doi.org/10.31857/S0002188123050058>
[Minnikova T. V., Minin N. S., Kolesnikov S. I., Gorovtsov A. V., Chistyakov V. A. Evaluation of phytotoxicity of common chernozem in the application of bacillus sp. and biochar for stimulation of decomposition of winter wheat harvest residues (*Triticum aestivum* L.) // *Agrochimia. 2023;(5):60–69 (In Russ.)*.
<https://doi.org/10.31857/S0002188123050058>]
34. Zhu W., Wang J., Wu D., Li X., Luo Y., Han C., Ma W., He S. Investigating the heavy metal adsorption of mesoporous silica materials prepared by microwave synthesis // *Nanoscale Research Letters. 2017;12(1): 1–9.*
<https://doi.org/10.1186/s11671-017-2070-4>
35. Vojoudi H., Badieli A., Bahar S., Ziarani G. M., Faridbod F., Ganjali, M.R. A new nano-sorbent for fast and efficient removal of heavy metals from aqueous solutions based on modification of magnetic mesoporous silica nanospheres // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2017;(441):193–203.*
<https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2017.05.065>
36. Черных В. И., Черных А. В. Перспективы использования техногенно нарушенных земель луганского региона // *Экологические проблемы. Взгляд в будущее, сборник трудов IX Международной научно-практической конференции. Под редакцией Ю. А. Федорова; Южный федеральный университет. Ростов-на-Дону—Таганрог. 2020. С. 691–695 [Chernykh V. I., Chernykh A. V. Prospects*

for the use of technogenically disturbed lands in the Luhansk region // Environmental problems. A look into the future, collected papers of the IX International scientific and practical conference. Edited by Yu. A. Fedorov; Southern Federal University. Rostov-on-Don—Taganrog. 2020. P. 691–695 (In Russ.)]

37. Кизилев О.А., Байкин Ю.Л., Овчинников П.Ю. Применение минеральных сорбентов при загрязнении почв тяжелыми металлами // Вестник биотехнологии. 2017. № 1(11). С. 16–18 [Kizilov O. A., Baikin Yu.L., Ovchinnikov P. Yu. Application of mineral sorbents for soil contamination with heavy metals // Bulletin of Biotechnology. 2017;(1):16–18 (In Russ.)]

Сведения об авторе

Башкин Владимир Николаевич: доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН

Количество публикаций: более 400

Область научных интересов: геоэкологические риски, газовая промышленность, биогеохимия

ResearcherID: J-4621-2018

Scopus Author ID: 7005340339

SPIN-код: 2345-6161

Контактная информация:

Адрес: 142292, Московская обл., г. Пушкино, ул. Институтская, д. 2–1, ИФХБПП РАН

vladimirbashkin@yandex.ru

Статья поступила в редакцию: 28.03.2025

Одобрена после рецензирования: 11.04.2025

Принята к публикации: 18.04.2025

Дата публикации: 30.06.2025

The article was submitted: 28.03.2025

Approved after reviewing: 11.04.2025

Accepted for publication: 18.04.2025

Date of publication: 30.06.2025



4-5 сентября 2025 года

XXII Профессиональный форум

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ – НОВЫЕ ВЫЗОВЫ

Сочи, отель «Голден Тюлип Роза Хутор» (набережная Панорама, 3)

Приглашаем руководителей и специалистов в области риск-менеджмента, страхования, внутреннего контроля и аудита на самый известный ежегодный форум по управлению рисками в России.

На сессиях и круглых столах ключевые вопросы ФОРУМА:

- Теория и практика диагностики уровня зрелости систем управления рисками (СУР) в российских компаниях нефинансового сектора. Итоги исследования АО «ДРТ» и АРМ «РусРиск».
- Ретроспективы и перспективы совместных проектов по созданию и совершенствованию СУР на производствах России.
- Управление кросс-функциональными рисками при реализации проектов.
- Новый Кодекс корпоративного управления Банка России. Место управления рисками и внутреннего контроля.
- Управление рисками непрерывности деятельности.
- Эффективность страховой защиты, ее критерии.
- Взаимное страхование-эффективный инструмент организации страховой защиты.
- Формирование центров компетенции по страхованию.
- Альтернативные страхованию способы и формы передачи риска
- Практические аспекты экономической безопасности: скоринги, выявление связей, интеграция и импортозамещение.
- Опыт перехода с SAP GRC на отечественные системы управления рисками.
- Движение к цели НОЛЬ. Единый цифровой инструмент управления рисками безопасности производств и персонала на всех уровнях: аппаратчик, мастер смены, начальник цеха, директор.
- Применение ИИ в управлении рисками. Практика и возможности.
- Разработка предупредительных мероприятий по предотвращению рисков.
- Технические и производственные риски.
- Модели интеграции климатического риска в кредитный риск банковского портфеля.

НА ФОРУМЕ ПРЕДПОЛАГАЕТСЯ УЧАСТИЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ:

МЧС России, РСПП, ТПП РФ, ПАО «Газпром», ПАО ГМК «Норильский никель», ГК «Автодор»; ООО «РК Страховой брокер», ПАО «АФК «Система», Банка России, «ПМ СОФТ», ПАО «РусГидро», ПАО «Совкомфлот», ПАО «НК «Роснефть», АО «ИнфоТеКС», Группа «Интерфакс». ООО «Дайнемик Сан», ООО «Квадриум системы», ООО «СБ «Нобилис», ООО «Страховой брокер «ССГ», ООО «Страховые брокеры АСТ», РНПК, АО СК «Турикум», СК «РЕСО-Гарантия», МГИМО МИД России, Финансового университета при Правительстве РФ, МГУ, Вятского госуниверситета и др.

Участие в Форуме бесплатное.

Заявка на сайте www.rrms.ru

Тел/факс: +7(916) 164-39-29 или E-mail: vt@rrms.ru