

ДЕГРАДАЦИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОХРАНА ПОЧВ

УДК 631.4

ПОЧВЫ НА ОТВАЛАХ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД В ЛЕСОСТЕПНОЙ И ГОРНО-ТАЕЖНОЙ ЗОНАХ КУЗБАССА

© 2014 г. П. С. Брагина, А. С. Цибарт, М. П. Завадская, А. В. Шарапова

Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы
e-mail: polina.bragina.moscow@gmail.com, tsibann@gmail.com, mbulacheva@mail.ru, avsharapova@mail.ru

Поступила в редакцию 16.10.2013 г.

Свойства почв, формирующихся на угольных отвалах, в значительной степени зависят от свойств почвообразующих пород и технологии отвалообразования. В Кузнецком угольном бассейне в качестве вскрышных и вмещающих пород, как в лесостепной, так и в горно-таежной зонах выступают аргиллиты, алевролиты и песчаники, которые обуславливают щелочную реакцию среды, практически во всех изучаемых почвах и однотипный микроэлементный состав. Неселективное отвалообразование и доминирование крупнообломочной фракции в составе слагающих отвалы пород является причиной широкого распространения на их поверхности петроземов и петроземов гумусовых. Наличие в субстратах большого количества угольных частиц и неправильная планировка отвала может являться причиной их самовозгорания, что в значительной степени изменяет состав полициклических ароматических углеводородов в почвах отвалов.

Ключевые слова: породные отвалы, Кузнецкий бассейн, самовозгорание отвалов, микроэлементы, полициклические ароматические углеводороды.

DOI: 10.7868/S0032180X14050037

ВВЕДЕНИЕ

Добыча полезных ископаемых является важным элементом экономического развития России. Однако образование породных отвалов приводит к значительным нарушениям территорий, на которых полностью изменяется почвенный покров. В Кемеровской обл. с ее высокой плотностью горнодобывающих предприятий, площадь земель, нарушенных добычей полезных ископаемых, составляет 91,7 тыс. га [10], что составляет около 1% от площади области. Наибольший вклад вносят угольные предприятия в средней и южной частях области. Породы отвалов выступают в роли почвообразующих, от их свойств зависит направление, скорость почвообразования и восстановления почвенного покрова.

Факторы почвообразования на угольных отвалах довольно сильно отличаются от таковых природных ландшафтов: каменистость и скелетность техногенных пород обуславливает их высокую водопроницаемость, а также значительную влагоемкость за счет мелкоземистого элювия глинистых пород и щебнисто-каменистых фракций аргиллитов [4]. В рельефе доминируют склоны различной крутизны и экспозиции, довольно контрастно выражен экспозиционный эффект, проявления которого отчетливо видны даже на космических снимках. Температурный режим от-

валов своеобразен: в зимний период происходит сдувание снега с поверхности, а летом наблюдаем сильное нагревание поверхности, особенно на южных склонах. Неоднородность растительного покрова объясняется разновременным зарастанием разных частей отвала, а также частичной рекультивацией их отдельных участков. Из-за сочетания всех этих факторов почвы отвалов характеризуются высокой контрастностью химических и физических свойств [15].

Индикатором развития и возраста почв на отвалах выступает мощность и степень развития гумусовых и органогенных горизонтов [3, 22, 25].

Почвообразование на угольных отвалах зачастую замедляется в результате процессов самовозгорания, которые возникают в тех случаях, когда скорость нагревания при окислении органического вещества превышает скорость рассеяния тепла [24].

К настоящему времени накоплен достаточно большой объем литературы, посвященной почвообразованию на отвалах. Изучены отдельные аспекты – состав органического вещества, минералогический состав таких почв [25], особенности их гидрологического режима [18], в отдельных работах угольные отвалы рассматривались как источник загрязняющих соединений в ландшафтах [21]. Исследования проводились в различных

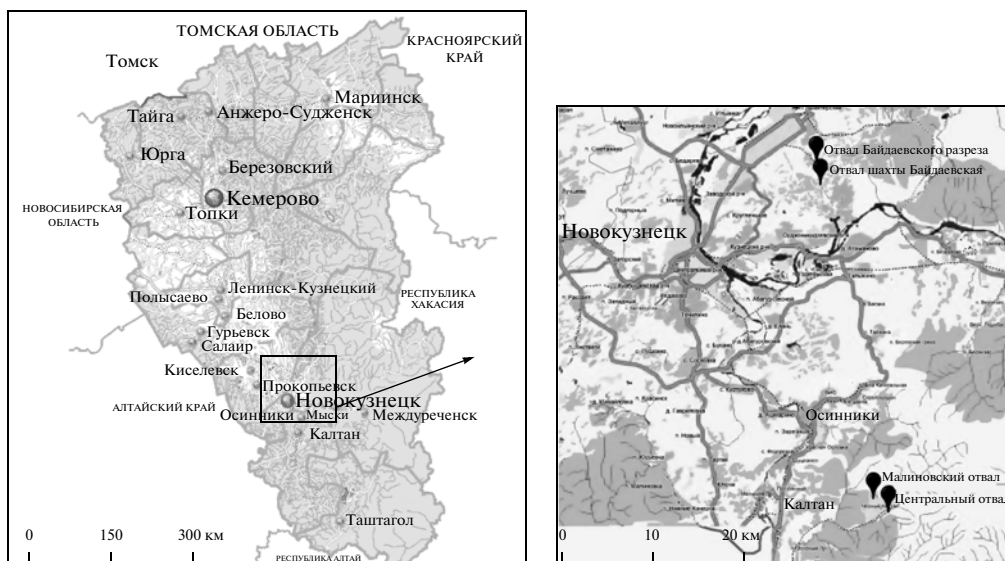


Рис. 1. Расположение объектов исследования.

природных зонах. Однако особенности почвообразования отвалов Кузнецкого угольного бассейна, который является одним из крупнейших месторождений мира и разрабатывается более 150 лет, исследованы не в полной мере.

В связи с этим весьма актуальной географической задачей представляется изучение свойств почв, формирующихся на поверхности разновозрастных угольных отвалов Кузбасса, и выявление различий между техногенными почвами в лесостепной и горно-таежной зонах. Кроме того, важно выявить особенности почвообразования после проведения рекультивации, а также изменение свойств почв на отвалах, подверженных процессам самовозгорания.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования выбраны почвы на отвалах добывающих предприятий шахта “Байдаевская” и “Байдаевский разрез” в лесостепной зоне Кемеровской обл., а также Малиновский и Центральный отвалы “Калтанского разреза” — в горно-таежной (рис. 1). Изучаемые отвалы имеют сходный породный состав: углевмещающие породы представлены песчаниками, алевролитами и аргиллитами, вскрышные породы — покровными суглинками. Кроме того, в теле отвала повсеместно присутствуют включения обломков угля или мелкие угольные частицы. Наибольшее содержание угольных обломков отмечается в отвале шахты Байдаевской, расположенной в лесостепной зоне, что обуславливает более интенсивное протекание процессов горения в нем.

Объекты в лесостепной зоне. *Байдаевский разрез* находится в 5 км к востоку от г. Новокузнецк, его отсыпка закончилась 20 лет назад и осуществлялась методом неселективного отвалообразования. Отвал занимает площадь 30 га, его длина составляет 1 км, ширина — 0.5 км, он представляет собой плосковершинный холм высотой до 25 метров. Крутизна склонов варьирует от 5°–7° до 25°; поверхность осложнена промоинами и микроповышениями. Согласно классификации промышленных объектов Тарчевского [16], Байдаевский отвал относится к внешним отвалам открытой добычи, среднего возраста. На поверхности отвала отмечается несколько очагов самовозгорания. Локально вдоль бортов отвала проведена биологическая рекультивация: был нанесен слой потенциально плодородных пород (рыхлые суглинистые вскрышные породы) и высажены береза, сосна, кедр. Центральная часть отвала до 2004 г. служила экспериментальной площадкой по применению растительных пород для рекультивации: в разные периоды времени были высажены кедр, осина, береза, посеяны злаки. На участках, оставленных под самозаращивание, встречаются редкие “островки” растительности, в основном представленные польнями и солянкой. По подсчетам авторов, растительностью покрыто 59% площади отвала.

Было заложено 10 почвенных разрезов, критериями выбора их местоположения были: характер рекультивации, мощность слоя суглинистых пород, близость очагов самовозгорания. На выравненной поверхности отвала были заложены разрез. 21, 28 и 30. На склоновой позиции изучены разрез. 23 и 25. Кроме того, в восточной части отвала для детального изучения очага самовозгорания

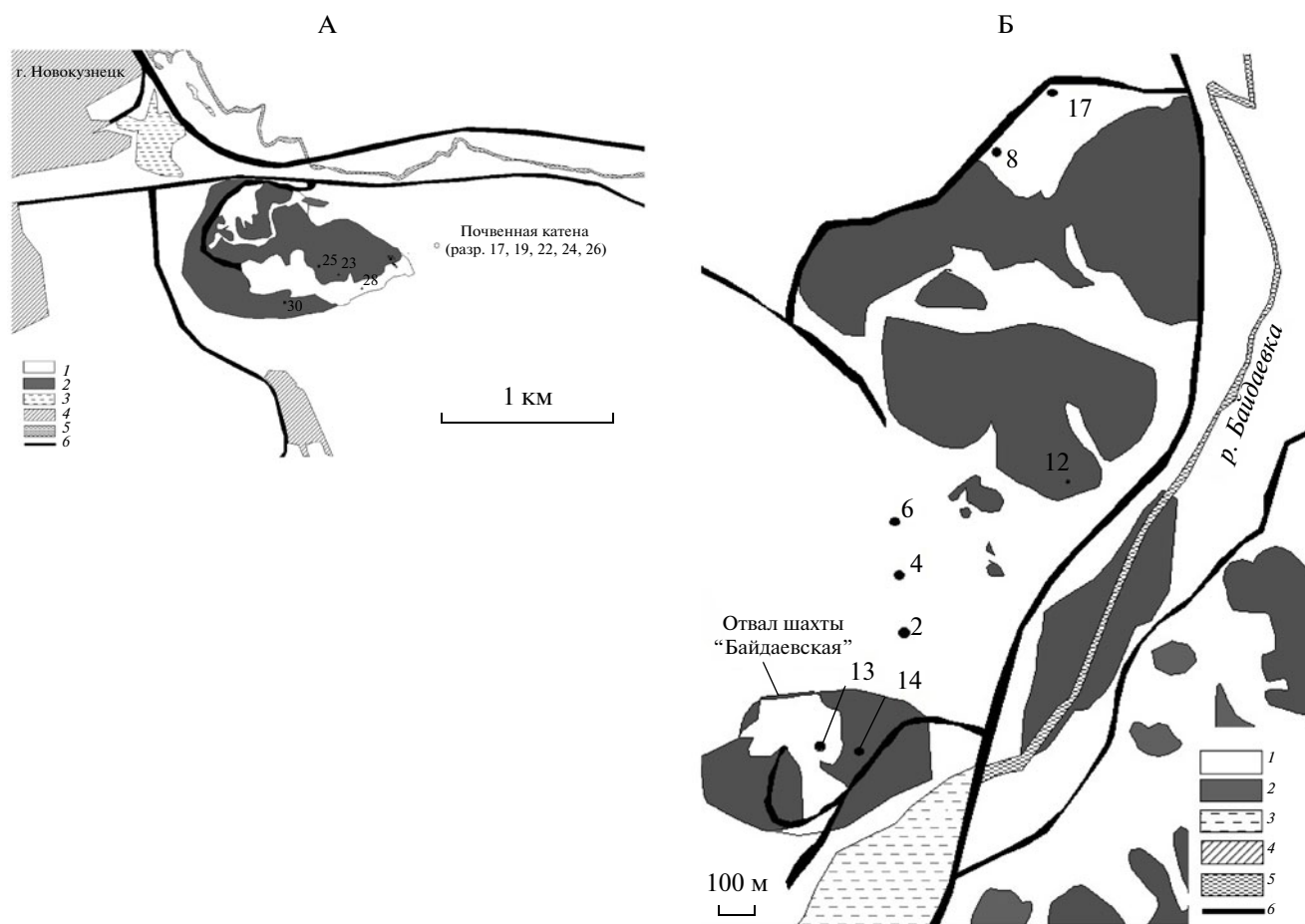


Рис. 2. Схема расположения почвенных разрезов на отвале Байдаевского разреза (А) и Байдаевской шахты (Б). Обозначения: 1 – открытые пространства (лугово-степная растительность); 2 – лесная растительность; 3 – заболоченные участки; 4 – застроенные территории; 5 – водные объекты; 6 – дороги.

была заложена почвенно-геохимическая катена, состоящая из пяти почвенных разрезов (17, 19, 22, 24, 26) (рис. 2А).

Отвал шахты «Байдаевская» находится в черте г. Новокузнецк, его формирование завершено в 1998 г. Он расположен в днище балки, сложен породой из шахты и отходами обогатительной фабрики. Площадь основания отвала составляет 8.4 га, длина около 200 м, ширина – 150 м. Отвал имеет форму холма с террасированными склонами, высота составляет 25 м. Рельеф довольно неоднороден, поверхность осложнена многочисленными микро- и мезоповышениями, встречаются просадочные формы рельефа (воронки проседания, блюдца). Классифицируется как средневозрастной породный отвал при подземной разработке, по форме, как и отвал Байдаевского разреза, представляющий собой поля нарушений с разнообразным мезо- и микрорельефом [16]. Отсыпка велась методом неселективного отвалообразования, однако осуществлялась планировка для предотвращения возгорания: проводи-

лось послойное уплотнение поверхности отвала и послойная заилровка глинистой пульпой. Работы по профилактике возгорания были прекращены в 1993 г., после чего порода отсыпалась хаотично, и с 1998 г. по настоящее время отвал находится в стадии очагового горения. Рекультивация отвала не производилась, он оставлен под самозаращение. Растительный покров в основном представлен рудеральными видами травянистых растений, а также березой и осиной. Ввиду экспозиционного эффекта и активно идущих процессов горения, широкое распространение на южных склонах отвала получили полупустынные виды: солянки и полыни.

Почвенные разрезы на отвале шахты Байдаевской были заложены вблизи участков возгорания (разр. 13, 14). Кроме того, для изучения аэрального переноса полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) были исследованы расположенные на разном удалении (от 20 до 65 м) от очага возгорания ненарушенные черноземы выщелоченные (рис. 2Б).

Отвалы шахты и разреза Байдаевского схожи по своему породному составу, однако существенно отличаются по форме и степени рекультивации.

Объекты в горно-таежной зоне. *Калтанский разрез*, расположенный в 2 км к востоку от п. Малиновка, разрабатывается с 1957 г., его отвалы занимают площадь 390 га, а их форма и размеры сильно варьируют.

Малиновский отвал занимает площадь 335 га, располагается в юго-восточной части рабочей площадки разреза. Разные участки отвала различаются по возрасту (от 5 до 30 лет). Высота отвала достигает 100 м, крутизна склонов варьирует от 1°–2° до 35°, поверхность неоднородная, волнистая, осложнена микро- и мезоповышениями. Отвал имеет форму полей нарушений с различными формами мезо- и микрорельефа, чем он похож на Байдаевский [16]. Частично проводилась биологическая рекультивация, отмечен локальный очаг самовозгорания. Отдельные участки, оставленные под самозарастание, в настоящее время имеют развитый растительный покров, проективное покрытие местами достигает 40–60%; доминанты: ежа сборная, тимopheевка луговая, клевер средний и др. На участках со слабо-развитым растительным покровом распространены полынь серая, донник желтый, одуванчик обыкновенный. Древесная растительность представлена ивой, березой и сосной, высотой до от 0.5 до 5 м. Площадь, покрытая растительностью, составляет 85% от общей площади отвала. На поверхности Малиновского отвала была заложено 5 почвенных разрезов на различных элементах рельефа: на выровненном незадернованном участке отвала (разр. 31), на склонах с различной крутизной (разр. 29, 34), на плоской поверхности в участке самовозгорания (разр. 32), на террасовидном уступе с развитым растительным покровом (разр. 27) (рис. 3).

Центральный отвал занимает площадь 54 га, по классификации Тарчевского [16] характеризуется платообразной формой, имеет средний возраст (25 лет) и относится к высоким отвалам (80 м). Склоны его крутые, местами более 30°. На отвале произведена экспериментальная отсыпка суглинка, мощностью 2 м. На центральной части плоской поверхности отвала был проведен посев трав: ежи сборной, вейника и сныти обыкновенной. На остальной части были посажены береза, осина, черемуха и ива, проективное покрытие составляет 90%. На Центральном отвале было заложено четыре почвенных разреза: в автономной (разр. 35, 36), в склоновой (разр. 38) и в подчиненной (разр. 40) позициях (рис. 3).

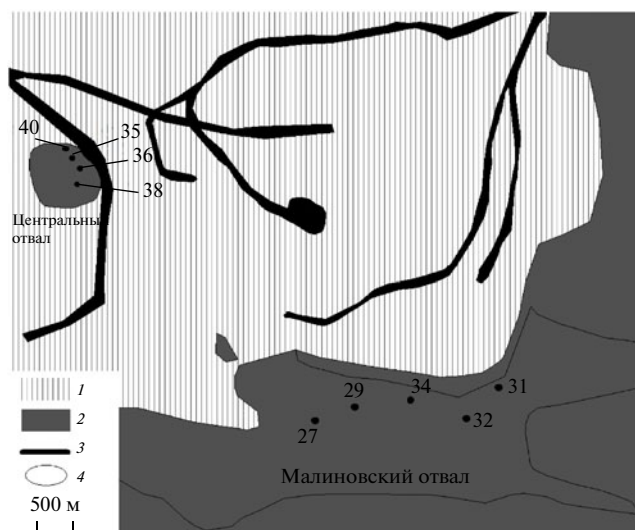


Рис. 3. Схема расположения разрезов на Центральном и Малиновском отвалах (1 – нарушенная территория Калтанского разреза; 2 – лесная растительность; 3 – дороги; 4 – граница отвалов).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве основного подхода при полевых исследованиях был использован метод ключевых участков – на территориях с характерным сочетанием факторов почвообразования, а также наличием технологических особенностей, закладывались почвенные разрезы и проводилось комплексное описание территории. Кроме того, использовался метод почвенно-геохимического профилирования: катены закладывались на однородных участках отвалов от автономной позиции (вершины отвала) к подчиненной (подножию отвала). Отбор образцов выполнен послойно с шагом 10 см и отбором из поверхностных горизонтов. pH определяли лабораторным pH-метром Hanna HI 2211-02, содержание легкорастворимых солей (TDS) – с использованием кондуктометрического метода в водной суспензии на кондуктометре “Seven Easy conductivity Mettler-Toledo”, содержание органического углерода – методом Тюрина, групповой состав гумуса – методом Кононовой–Бельчиковой, содержание карбонатов – газоволюметрическим методом. Валовое содержание микроэлементов (Sr, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb) определяли рентген-флуоресцентным методом на приборе “Спектроскан-МАКС GV”, определение содержания ПАУ проводили с помощью спектрофлуориметра “Fluorolog-3-22 Jobin Ivon” (спектроскопия Э.В. Шпольского при температуре жидкого азота). Было проанализировано 124 почвенных образца.

ПОЧВЫ И ИХ МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Почвенный покров отвалов неоднороден, но его состав и свойства почв в различных природных зонах мало различаются между собой. Почвы на отвалах относятся к отделу слаборазвитых почв; Андроханов с соавт. называют их эмбриоземами и разделяют по характеру верхнего горизонта [9]. Етеревская [6] предлагает называть почвы на отвалах литоземами и техноземами, по наличию или отсутствию на них плодородного слоя суглинистых пород. Первушина с соавт. предлагают название — антропоземы (почвы с искусственно прерванным развитием), техноземы (искусственно созданные почвы) [12]. Описанные выше подходы в целом согласуются с принципами классификации почв России, использованной для описания почв в данной работе [10].

На мелкоземисто-обломочном субстрате в лесостепной и горно-таежной зонах за 20-летний период на нерекультивированных отвалах сформированы петроземы гумусовые. Значительную часть отвалов занимают литостраты, которые преобладают на склоновых поверхностях. В лесостепной и горно-таежной зонах на участках, занятых посадками деревьев и кустарников, без нанесения потенциально плодородных субстратов формируются петроземы. На рекультивированных участках с отсыпкой потенциально плодородных пород при самозарастании формируются пелоземы гумусовые как на субгоризонтальных так и на склоновых поверхностях. В некоторых случаях под посадками деревьев формируются пелоземы, в которых отсутствует гумусовый горизонт, однако развивается подстильно-торфяной гор. О.

На участках горения отвалов высокие температуры препятствуют формированию растительного покрова и, как следствие, развитию почв.

Почвы на делювиально-пролювиальных шлейфах также представлены пелоземами гумусовыми, формирующимися на сильно трансформированных почвах.

Профиль петроземов наполнен обломками пород, в том числе угля, наблюдается их дифференциация по крупности: к нижней части приурочены более крупные обломки, к верхней — более мелкие. В профиле выделяется подстильно-торфяной гор. О, его мощность не превышает 3 см.

Основным диагностическим горизонтом петроземов гумусовых и пелоземов гумусовых является гумусово-слаборазвитый гор. W, мощность которого составляет 2–10 см. Его свойства в значительной степени зависят от почвообразующих пород. В петроземах гумусовых горизонт характеризуется наличием большого количества обломочного материала, содержит угли и мелкодисперсные углистые частицы; обильно пронизан

корнями; структура комковатая, плохо выраженная. Одним из факторов ее формирования является концентрация мелкозема и мелких обломков пород и углей. Гумусово-слаборазвитые горизонты в пелоземах гумусовых, формирующихся на субстратах шлейфов имеют сходные свойства, но содержат больше мелкозема.

В пелоземах гумусовых рекультивированных участков гумусово-слаборазвитые горизонты характеризуются суглинистым составом, практически не содержат обломочного материала; густо переплетены корнями; по сравнению с почвообразующей породой, отличаются более темной окраской; структура обычно комковатая, иногда проявляется техногенная слоистость за счет переуплотнения в результате выравнивания поверхности отвалов с помощью тяжелой техники.

Литостраты на поверхности отвалов двух природных зон сходны по своим характеристикам. Для них характерна слабая задернованность поверхности (встречаются единичные растения, в основном представленные полынью и солянкой), дифференциация обломков разного размера по глубине (более мелкие обломки тяготеют к приповерхностной части отвала), однородная серая окраска обломков пород. Встречаются обильные карбонатные новообразования (выцветы и пятна).

Литостраты на участках самовозгорания существенно отличаются от техногенных поверхностных образований (ТПО) на негорелых участках отвалов: для них характерно полное отсутствие растительности, преобладание в окраске красноватых тонов, наличие большого количества спекшихся обломков пород, а также появление выцветов солей в приповерхностной части.

ХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ

Химические свойства всех образований на поверхности отвалов в значительной степени зависят от свойств субстрата. Большинство почв и ТПО отвалов, как в лесостепной, так и в горно-таежной зонах имеет нейтральную или слабощелочную реакцию среды, что связано с присутствием карбонатных пород в субстрате отвалов.

В лесостепной зоне на отвалах шахты и разреза “Байдаевский” значения pH в литостратах варьируют в пределах от 7.2 до 7.9 и слабо изменяются по профилю. Петроземи и пелоземы характеризуются слабощелочной и щелочной реакцией среды: pH 8.1–8.5, небольшое снижение pH до 7.8–7.9 наблюдается в верхних частях профилей, что связано с развитием растительности на поверхности.

Наиболее низкими значениями pH в лесостепной зоне характеризуется участок самовозгора-

ния на отвале Байдаевского разреза: в нижней части разр. 22, расположенного непосредственно на очаге самовозгорания, рН составляет 7.4, а в верхней части — происходит резкое подкисление среды до 3.1 единиц рН. Приуроченность самых низких значений к верхней части профиля связана с резкими различиями в температуре и давлении приповерхностных горизонтов и основной толщи отвала. Их контрастность приводит к конденсации кислотных продуктов и обуславливает разрушение карбонатов, нейтрализацию и подкисление среды. Подобные явления были описаны Силиным с соавт. на отвалах Донецкого бассейна [14].

Литостраты на поверхности Малиновского отвала в горно-таежной зоне характеризуются наличием в них двух различных слоев. Реакция в верхнем слое нейтральная (около рН 7.1), в нижнем — щелочная (выше рН 8.3). Для литостратов на участке самовозгорания характерна щелочная реакция среды, в верхней части рН составляет 8.3, в нижней — 8.6. Подкисления, как на горящем участке в лесостепной зоне, не наблюдается. В петроземах и пелоземах горно-таежной зоны в органогенных горизонтах отмечаются более низкие значения рН (6.4–7.0), чем в лесостеппи, а также по сравнению с почвообразующими породами (рН 7.1–7.3). Наблюдается прямая зависимость между мощностью органогенного горизонта и подкислением приповерхностной части профиля: слабокислая реакция (рН 6.4) наблюдается в разр. 29 с самым развитым органогенным горизонтом из всех представленных на данном отвале и нейтральная в разр. 27 (рН 6.7) и 34 (рН 7.0).

Для почв Центрального отвала характерен чуть больший разброс значений рН, отличительной особенностью является форма кривых, сходная с распределением в природных почвах, что говорит о приближении данных почв к естественным. Для органогенных горизонтов — рН колеблется от 5.4 до 7.1, для почвообразующих пород — от 6.0 до 8.5. Наиболее кислая реакция также отмечается в органогенных горизонтах. В почвах на субгоризонтальной поверхности, с малой долей обломочных пород (разр. 36) отмечаются самые низкие значения рН (5.4), в аналогичных по положению почвах, но более щебнистых, значения рН составляют 6.1 (разр. 38). В еще более щебнистой почве на склоне (разр. 35) реакция нейтральная — 7.1.

Содержание легкорастворимых солей на отвалах слабо варьируют в почвах и ТПО, и в целом оно крайне низкое (от 0.02 до 0.05%), что объясняется значительным количеством осадков в исследуемом регионе и хорошей дренированностью, обеспечивающей вынос солей. Однако наблюдается ярко выраженный максимум, который приурочен, так же как и наиболее кислые значе-

ния рН, к почвам на участке самовозгорания в лесостепной зоне, причем максимальное содержание солей (0.5%) отмечается также в верхнем горизонте. Засоление литостратов отмечается и морфологически в виде белесых выцветов на обломках пород в профиле почв. Накопление солей в верхней части профиля на горящем участке объясняется растворением карбонатов, содержащихся в породах отвала, кислотными выпадениями, поступающими из очага горения в составе водяных паров. На горящем участке Малиновского отвала в горно-таежной зоне, увеличения концентрации солей не отмечается.

Содержание углерода в петроземах, литостратах и, в меньшей степени, пелоземах в обеих природных зонах характеризуется широким разбросом значений — от 0.1 до 20.5%. Такая неоднородность, как в латеральном, так и в радиальном направлениях свидетельствует о неоднородности сложения пород в отвалах и о большом количестве включений обломков угля, что также подтверждается морфологическими исследованиями. Для литостратов вблизи очагов самовозгорания характерны наиболее высокие концентрации углерода (10–20%), что объясняет появление очага именно на данном участке отвала, в месте скопления обломков угля.

Почвы изучаемых территорий характеризуются однотипным микроэлементным составом, который определяется региональными особенностями пород и их приуроченностью к распространению угольных формаций. В них отмечается повышенное содержание мышьяка и свинца, в несколько раз превышающее кларковые значения (табл. 1, 2). Содержание других микроэлементов в основном, характеризуется значениями, близкими к кларковым.

По замечаниям, приводимым Querol [24], вымывание микроэлементов в молодых угольных отвалах, чаще всего происходит слабо, но в старых выветрелых отвалах может усиливаться, так как в кислой среде, способность к выщелачиванию элементов возрастает. В исследованном нами случае кислая реакция среды наблюдалась в почвах участков возгорания, в связи с чем увеличилась подвижность свинца и мышьяка, и отмечен их вынос в подчиненные позиции. Сходный тренд увеличения содержания мышьяка при сжигании угля в прилегающих к отвалам почвам, показан в работе Кабата-Пендиас с соавт. [8]. При этом в самих породах отвалов при их возгорании, возможно снижение содержания мышьяка и свинца [2], так как они могут удаляться в атмосферу в виде газообразных соединений [7, 21].

В почвах, развитых на отвалах, не подверженных горению, фиксируется меньшее содержание микроэлементов, чем в породах отвала.

Таблица 1. Содержание микроэлементов в почвах отвалов

Зона (шахта или разрез)	Почвы	Повышенное содержание	Околосларковое содержание	Пониженное содержание
Лесостепная (“Байдаевская”)	Петроземы	As, Pb	Sr, V, Co, Cr, Ni, Cu, Zn	Co
	Черноземы выщелоченные	As, Pb	V, Co, Cr, Ni, Cu, Zn	Sr
Лесостепная (“Байдаевский”)	Пелоземы	As, Pb, Co	Sr, V, Cr, Ni, Cu, Zn	Sr
	Петроземы	As, Pb	Sr, V, Cr, Ni, Cu, Zn	Co
Горно-таежная (“Калтанский”)	Дерново-подзолистые	As, Pb, Co	V, Cr, Ni, Cu, Zn	Sr
	Пелоземы	As, Pb, Co	V, Cr, Ni, Cu, Zn	Sr
	Петроземы	As, Pb	V, Cr, Ni, Cu, Zn	Sr, Co

Образцы почв отвалов исследовали также на содержание в них ПАУ. На горящих участках отвалов Байдаевской шахты и Байдаевского разреза в пределах профилей почв суммарное содержание 12 ПАУ составляет 200–500 нг/г, местами оно достигает 2400 нг/г (табл. 3). Качественный состав ПАУ в почвах отвала представлен наиболее легкими соединениями: 2-ядерными нафталинами, местами 3-ядерными фенантеном и ретенном. При этом с глубиной не происходит резкого уменьшения их концентраций. Интенсивное накопление ПАУ в этих почвах связывается скорее не с процессами сгорания угля, а с температурным преобразованием углистых обломков, содержащихся по всему профилю. Местами, в самых верхних горизонтах (разр. 13) отсутствует максимум полиаренов, что также указывает на их поступление не из атмосферы, а на образование в профиле. В петроземах, сформированных на отвале Байдаевского разреза (разр. 22), ПАУ распределены неравномерно, в пределах профиля, их содержание изменяется от 10 до 2400 нг/г, с максимумами на глубине 5–10 и 20–30 см. Это распределение может быть связано с неоднородностью пород, слагающих отвал, и разным количеством в них углистых частиц. В образцах, со-

держащих минимальные количества ПАУ, могло произойти полное выгорание углей, а окружающая масса, где отмечалось только температурное воздействие на органическое вещество углистых обломков без их полного сгорания, напротив, обогащена полиаренами.

В почвах, прилегающих к отвалу, выражен поверхностный максимум полиаренов, что указывает на их атмосферное поступление с выбросами от горящих отвалов. При удалении до фонового участка (около 1 км) состав ПАУ не изменяется: преобладают нафталины, пирен, и сумма 12 соединений составляет не более 10–15 нг/г, что соответствует количеству этих соединений в других фоновых регионах [17].

Согласно литературным данным, возгорание отвалов является основным фактором поступления ПАУ в ландшафты угледобывающих районов. В одном из исследований, проведенных Sun с соавт., доминирующими соединениями в породном отвале, содержащем обломки битуминозных углей, были фенантены и нафталины, при этом их концентрация постепенно уменьшалась при удалении от отвала [19]. Состав ПАУ в почвах отвалов, представленных в этой работе Sun с соавт., соответствует полученным нами результатам. По данным Рожковой [13] для Кизеловского, Подмосковного и Воркутинского угольных бассейнов, в техногенных почвах, напротив, увеличивается доля многоядерных ПАУ, которые привносятся с техногенными наносами. Преобладание в почвах отвалов соединений наиболее легких по молекулярному весу объясняется термическим преобразованием углей. Вероятно, эти структуры формируются при высвобождении ароматических компонентов из исходного угля [20], а более

Таблица 2. Отношение фактического содержания к кларку мышьяка и свинца в почвах Кузнецкого угольного бассейна

Почвы	Лесостепная зона		Горно-таежная зона	
	As	Pb	As	Pb
Фоновые почвы	5.3–6.7	1.9–3.1	6.0–8.4	2.4–4.4
Петроземы	8.6–10.5	4.2–5.2	6.2–7.9	2.8–3.9
Пелоземы	6.2–7.7	2.8–3.8	6.4–7.6	3.0–3.9

Таблица 3. Содержание ПАУ (нг/г) в почвах отвалов Байдаевской шахты и Байдаевского разреза

Глубина, см	Флуорен	Нафталин	Гомологи нафталина	Фенантрен	Хризен	Пирен	Антрацен	Тетрафен	Бенз(а)пирен	Бенз(ghi)перилен	Ретен	Бенз(е)пирен	Коронен	Сумма ПАУ
Байдаевская шахта														
Разр. 13														
0–10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
10–20	22.1	0.0	121.0	0.0	0.0	7.3	1.8	0.8	0.2	0.3	0.0	0.0	1.7	155.2
20–30	18.9	0.0	72.1	0.0	6.0	7.8	1.2	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	107.1
30–40	26.1	0.0	68.7	0.0	0.0	8.9	0.8	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	105.1
0–10	84.3	0.0	219.6	187.9	0.0	26.5	3.6	2.6	0.6	2.4	0.0	8.5	0.0	536.2
10–20	61.3	0.0	225.9	16.6	15.4	48.8	7.0	7.5	3.5	5.6	0.0	10.4	0.0	401.9
20–30	113.5	0.0	244.0	0.0	0.0	18.1	3.8	3.3	0.7	0.0	0.0	0.0	0.8	384.2
30–40	68.0	0.0	196.4	0.0	0.0	6.1	3.0	0.0	0.0	1.0	0.0	2.7	0.0	277.3
Разр. 12														
0–10	119.4	95.1	286.3	0.0	40.0	27.8	3.6	29.3	0.3	2.7	0.0	4.7	0.0	609.2
10–20	29.9	0.0	125.4	0.0	3.5	10.8	2.7	1.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	173.6
20–30	41.1	0.0	95.7	35.2	7.5	56.3	9.0	6.9	1.3	1.0	0.0	8.8	0.0	262.7
30–40	3.9	44.8	18.9	21.1	3.9	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.1
40–50	5.6	30.9	41.4	0.0	97.5	41.2	1.5	11.1	4.2	3.1	0.0	74.9	0.0	311.4
50–60	7.3	0.0	92.3	0.0	0.0	3.2	0.0	0.2	0.0	0.0	57.4	0.0	0.0	160.4
60–70	3.5	21.8	26.2	0.0	2.7	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5	0.0	0.0	69.8
70–80	31.3	53.1	40.7	11.7	5.8	2.5	0.0	0.2	0.0	0.0	74.6	0.0	0.0	220.2
80–90	38.2	53.7	48.1	15.1	0.0	1.2	0.0	0.5	0.0	0.0	64.9	0.0	0.0	222.2
90–100	60.8	35.5	45.2	8.9	0.0	9.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	160.0
100–110	15.0	19.4	81.8	18.8	12.1	52.0	6.0	8.3	1.9	1.8	0.0	6.3	0.2	223.6
Разр. 17														
0–10	1.6	0.0	4.9	0.5	2.2	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3
10–20	0.0	3.2	9.2	0.0	4.5	6.0	0.0	1.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	24.5
20–30	0.8	2.5	4.6	0.0	0.0	0.5	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1
30–40	0.4	1.7	4.9	0.0	0.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7
40–50	0.4	0.0	8.3	0.5	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1
50–60	0.6	1.3	4.5	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1
60–70	0.6	0.0	4.6	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9
70–80	1.0	5.5	5.5	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6
80–90	0.6	0.0	11.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5
90–100	0.7	0.0	7.9	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.6
100–107	0.5	1.7	3.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1

Таблица 3. Продолжение

Глубина, см	Флуорен	Нафталин	Гомологи нафталина	Фенантрен	Хризен	Пирен	Антрацен	Тетрафен	Бенз(а)пирен	Бенз(ghi)перилен	Ретен	Бенз(е)пирен	Коронен	Сумма ПАУ
Разр. 14														
0–10	2.1	0.0	5.2	0.6	2.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9
10–20	0.6	2.4	4.0	1.1	9.8	4.6	0.0	1.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	24.1
20–30	0.3	2.0	2.3	0.4	1.5	1.2	0.0	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	8.3
30–40	0.2	0.0	3.3	0.0	0.7	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6
40–50	0.2	0.0	4.5	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5
50–60	0.0	1.6	2.3	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8
60–70	0.2	0.0	5.6	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8
70–80	0.6	4.3	6.4	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.3
80–90	0.1	1.0	2.9	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6
90–100	0.2	2.7	2.5	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3
100–107	0.0	0.0	6.5	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4
Разр. 02														
0–10	39.4	0.0	130.1	29.7	0.0	19.3	6.0	0.0	0.0	29.5	0.0	0.0	0.0	254.1
10–20	1.5	0.0	23.7	3.3	5.6	7.6	1.0	1.8	2.3	0.0	189.6	5.8	0.0	242.2
20–30	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
30–40	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
Разр. 04														
0–10	0.9	0.0	3.6	2.1	6.9	7.4	0.0	2.1	0.5	0.0	0.0	2.2	0.0	25.6
10–20	0.3	0.0	0.0	0.8	4.0	3.4	0.0	1.2	0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	10.2
20–30	0.9	0.0	2.1	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9
30–40	1.3	0.0	2.9	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0
40–50	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
50–60	0.4	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2
Разр. 06														
0–10	1.1	0.0	5.4	1.1	16.0	12.2	1.6	5.7	4.5	25.0	0.0	2.9	0.0	75.4
10–20	6.0	0.0	25.7	2.8	1.4	2.0	1.3	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	39.8
20–30	0.5	0.0	4.0	0.7	0.8	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1
30–40	0.7	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6
Разр. 08														
0–10	11.3	0.0	56.0	15.8	72.2	74.8	9.6	15.7	12.8	0.0	0.0	38.1	0.0	306.3
10–20	0.0	0.0	36.8	10.6	49.7	52.4	0.0	16.9	4.3	36.8	0.0	0.0	0.0	207.4
20–30	0.0	0.0	35.4	26.9	43.1	36.9	4.9	9.9	3.3	12.6	0.0	0.0	0.0	173.1
30–40	1.2	0.0	20.3	0.0	10.0	7.2	0.7	1.8	0.3	4.3	0.0	0.0	0.0	45.7

Таблица 3. Окончание

Глубина, см	Флуорен	Нафталин	Гомологи нафталина	Фенантрен	Хризен	Пирен	Антрацен	Тетрафен	Бенз(а)пирен	Бенз(ghi)перилен	Ретен	Бенз(е)пирен	Коронен	Сумма ПАУ
Байдаевский разрез														
Разр. 21														
0–8	32.3	0.0	53.4	0.0	15.7	13.0	1.6	3.5	0.8	0.0	0.0	2.2	0.0	122.4
10–20	2.4	1.9	20.0	1.1	2.8	2.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.8
50–60	0.8	2.8	14.4	0.8	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.7
Разр. 22														
0–5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	11.4
5–10	378.1	0.0	858.9	202.6	0.0	33.5	0.0	0.9	0.0	0.0	932.2	0.0	0.0	2406.2
10–20	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9	0.0	1.0	12.4
20–30	0.0	0.0	533.9	76.9	0.0	14.4	0.0	0.1	0.0	0.0	738.7	5.6	0.0	1369.6
Порода	106.7	0.0	472.5	215.0	4.8	13.2	2.5	0.0	0.0	0.0	172.9	0.0	0.0	987.5
40–50	36.2	0.0	206.9	0.0	0.0	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	50.3	0.0	0.0	300.9
Разр. 17														
0–10	42.3	0.0	108.4	0.0	2.0	2.8	0.0	0.0	0.0	1.6	179.6	2.1	0.0	339.4
10–20	8.4	0.0	34.0	0.0	3.1	2.2	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.6	0.0	48.6
20–30	29.5	0.0	83.4	0.0	1.5	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	116.0
30–40	0.2	1.7	6.4	0.6	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.6
40–50	3.9	2.9	14.6	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.0
50–60	0.1	0.0	6.8	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5
60–70	0.0	0.0	11.7	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.3
70–80	6.7	0.0	18.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.8
Разр. 19														
0–10	0.4	47.8	0.0	0.0	0.8	2.2	0.0	0.3	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	52.0
10–20	0.6	0.0	14.5	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	16.8
20–30	1.0	0.0	71.7	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	73.4
40–50	9.3	0.0	23.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	33.6

крупные молекулы разрушаются при высоких температурах горения.

ВЫВОДЫ

1. Техногенные поверхностные образования породных отвалов Кемеровской обл. в лесостепной и горно-таежной зонах относятся к литостратам и характеризуются каменистостью, наличием включений угольных частиц в профиле. Реакция среды нейтральная или слабощелочная, содержание солей низкое, не превышает 0.03%, концентрация углерода сильно варьирует, что связано с включениями обломков угля.

2. Исключительные химические и морфологические свойства проявляются у литостратов на участках с очагами самовозгорания. В профиле данных ТПО преобладают красные тона, встречаются прогоревшие обломки пород. Наиболее сильные изменения в химических свойствах отмечаются в лесостепной зоне, где значения рН водной вытяжки в результате конденсации кислых продуктов в приповерхностной части профиля опускаются до 3.1. Засоление проявляется как химически (содержание солей 0.5%), так и морфологически в виде выцветов. Содержание углерода достигает на данном участке максимальных концентраций (20.5%). В горно-таежной зоне ярко выраженного подкисления и засоления не отмечено.

3. Петроземы и петроземы гумусовые, формирующиеся на нерекультивированных участках породных отвалов, характеризуются высокой степенью каменистости, слабым развитием органических горизонтов, мощность которых не превышает 10 см. Реакция среды — щелочная или слабощелочная, с подкислением в верхних частях профилей. Наибольшее подкисление отмечается на отвалах Калтанского разреза, в горно-таежной зоне, в виду лучшего развития растительности на их поверхности. Петроземы (гумусовые) не засолены, концентрация углерода как и в литостратах сильно варьирует по поверхности отвалов.

4. В профиле пелоземов и пелоземов гумусовых, сформированных на участках с проведенной биологической рекультивацией, отмечается наличие большего количества мелкозема в профиле. Органогенные горизонты достигают мощности 10 см и характеризуются довольно прочной структурой. Реакция среды пелоземов (гумусовых) варьирует от слабокислых значений в органических горизонтах, до щелочных значений — в горизонтах почвообразующей породы. Засоления не отмечается, концентрация углерода варьирует меньше по сравнению с петроземами и литостратами.

5. Микроэлементный состав изучаемых почв определяется региональными особенностями по-

род и их приуроченностью к распространению угольных формаций. В них отмечается повышенное содержание мышьяка и свинца, в несколько раз превышающее кларковые значения.

6. Процессы горения отвалов обуславливают образование ПАУ в литостратах, среди соединений преобладают 2–3-ядерные соединения, которые можно считать индикаторными для процессов сгорания угля, что подтверждает единичные литературные данные, полученные для других регионов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумов Е.В., Гагарина Э.И. Почвообразование в посттехногенных экосистемах карьеров на Северо-Западе Русской равнины. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2006. 208 с.
2. Алехин В.И., Мигуля П.С., Проскурня Ю.А. Минералогическо-петрографические и эколого-геохимические особенности пород терриконов Донбасса (на примере Донецко-Макеевского промышленного района) // Сб. научн. тр. НГА Украины. Днепропетровск, 1998. Т. 5. № 3. С. 35–39.
3. Андроханов В.А., Куляпина Е.Д., Курачев В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 205 с.
4. Баранник Л.П. Гидротермические условия отвально-карьерных ландшафтов и их влияние на приживаемость и рост лесных культур. Новосибирск: Наука, 1977. 9 с.
5. Баранник Л.П. Естественное зарастание угольных отвалов в Кузбассе (на примере Байдаевского карьера). Охрана горных ландшафтов Сибири. Новосибирск, 1973. С. 52–58.
6. Етеревская Л.В. Почвообразование и рекультивация земель в техногенных ландшафтах Украины. Автореф. дис. ... докт. с.-х. н. Харьков, 1989. 25 с.
7. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Справочник. В 6 кн. / Под ред. Э.К. Буренкова. М.: Недра, 1994. 303 с.
8. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях (пер. с англ.) М.: Мир, 1989. 439 с.
9. Курачев В.М., Андроханов В.А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. 2002. № 3. С. 255–261.
10. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
11. Манаков Ю.А. Нарушенные земли Кузбасса. Путь решения проблемы — фонд рекультивации // Промышленная экология. 2008. № 4. С. 29–34.
12. Первушина В.М., Суханов А.П. К вопросу о создании единой классификации почв и других поверхностных непочвенных образований // Тез. докл. II Съезда общ-ва почвоведов. СПб., 1996. Кн. 2. С. 110–111.
13. Рожкова М.И. Изучение трансформации органических веществ почв, загрязненных в процессе добычи угля. Автореф. дис. ... канд. хим. н. М., 1986. 28 с.

14. Силин А.А., Выборов С.Г., Проскурня Ю.А. Экологические последствия структурно-вещественных преобразований отвальных пород терриконов // Сб. тез. межд. геолого-экологической конф. Донецк: ДонНТУ, 2009. С. 58–64.
15. Таранов С.А., Кандрашин Е.Р. и др. Парцеллярная структура фитоценоза и неоднородность молодых почв техногенных ландшафтов // Почвообразование в техногенных ландшафтах. Новосибирск: Наука, 1979. С. 19–57.
16. Тарчевский В.В. Классификация промышленных отвалов // Растительность и промышленные загрязнения. Свердловск, 1970. Вып. 7. С. 84–89.
17. Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Полициклические ароматические углеводороды в почвах: источники, поведение, индикационное значение (обзор) // Почвоведение. 2013. № 7. С. 788–802.
18. Brom J., Nedbal V., Procházka J., Pecharovác E. Changes in vegetation cover, moisture properties and surface temperature of a brown coal dump from 1984 to 2009 using satellite data analysis // Ecological Engineering. 2012. V. 43. P. 45–52.
19. Finkelman R.B. Potential health impacts of burning coal beds and waste banks // International J. of Coal Geology. 2004. V. 59. P. 19–24.
20. Frouz J., Novakova A. Development of soil microbial properties in topsoil layer during spontaneous succession in heaps after brown coal mining in relation to humus microstructure development // Geoderma. 2005. V. 129. P. 54–64.
21. Liu G., Niu Z., Niekerk D., Xue J., Zheng L. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from coal combustion: emissions, analysis and toxicology // Rev. Environ. Contam. Toxicol. 2008. V. 192. P. 1–28.
22. Misz-Kennan M., Fabiańska M. Thermal transformation of organic matter in coal waste from Rymer Cones (Upper Silesian Coal Basin, Poland) // International J. of Coal Geology. 2010. V. 81. P. 343–358.
23. Querol X., Izquierdo M., Monfort E., Alvarez E., Font O., Moreno T., Alastuey A., Zhuang X., Lud W., Wang Y. Environmental characterization of burnt coal gangue banks at Yangquan, Shanxi Province, China // International J. of Coal Geology. 2008. V. 75. P. 93–104.
24. Sun Y., Fan J., Qin P., Niu H. Pollution extents of organic substances from a coal gangue dump of Jiulong Coal Mine, China // Environ Geochem Health. 2009. V. 31. P. 81–89.
25. Uzarowicz Ł., Skiba S. Technogenic soils developed on mine spoils containing iron sulphides: Mineral transformations as an indicator of pedogenesis // Geoderma. 2011. V. 163. P. 95–108.