

Классификация и свойства почв, образовавшихся на рекультивированных угольных отвалах Кизеловского угольного бассейна

© 2022. Н. В. Митракова, к. б. н., с. н. с., Е. А. Хайрулина, к. г. н., в. н. с.,
Н. В. Порошина, к. х. н., с. н. с., А. А. Перминова, м. н. с.,
Е. Е. Малышкина, инженер-исследователь,
Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Генкеля, д. 4,
e-mail: mitrakovanatalya@mail.ru

Для территории Кизеловского угольного бассейна (КУБ) характерно наличие более 100 породных отвалов, большинство из которых не рекультивировано. Изучены почвы, формирующиеся на отвалах после проведения рекультивации. На выровненном и перекрытом слое глины мощностью 0,5 м отвале КУБ диагностирован литострат глинистый Spolic Epileptic Technosols (Loamic, Carbonic, Densic, Skeletic), на отвале, рекультивированном путём внесения гашёной извести и торфяного материала, – эмбриозём дерновый Spolic Epileptic Technosols (Clayic, Carbonic, Skeletic). Свойства почв отвалов определяются техногенной почвообразующей породой и рекультивационными мероприятиями. Литострат характеризуется нейтральной реакцией среды (рН 6,8); щелочная реакция эмбриозёма (рН 7,9) обусловлена внесением извести. Ёмкость катионного обмена 23–27 смоль/кг в литострате и 19–37 смоль/кг в эмбриозёме превышает фоновые значения. Содержание органического вещества в эмбриозёме варьирует по профилю и превышает его количество в литострате и в фоновой почве в 1,5–4 раза вследствие образования эмбриозёма непосредственно на угольном отвале. Содержание валового железа в почвах различается незначительно, но в 2–4 раза превышает его количество в фоновой почве, что обусловлено минералогическим составом вскрышных пород. Фитотестирование показало удовлетворительное экологическое состояние поверхностных слоёв почв отвалов.

Ключевые слова: почвообразование, угольные отвалы, рекультивация, эмбриозём, литострат.

Classification and properties of soils formed on recultivated coal dumps of the Kizel Coal Basin

© 2022. N. V. Mitrakova ORCID: 0000-0002-5571-7725¹
E. A. Khayrulina ORCID: 0000-0002-9074-8551², N. V. Poroshina ORCID: 0000-0002-1761-6720³
A. A. Perminova ORCID: 0000-0003-1769-7740⁴, E. E. Malyshkina ORCID: 0000-0002-7251-7637⁵
Natural Science Institute of Perm State University,
4, Genkelya St., Perm, Russia, 614990,
e-mail: mitrakovanatalya@mail.ru

Coal mining leads to environmental transformations. It causes the accumulation of a large amount of waste (a source of pollution), land withdrawal, and relief changes. The recultivation of coal dumps and the creation or restoration of soil are important aspects of natural resource management. The Kizel Coal Basin (KCB) has more than 100 rock dumps, the majority of which have yet to be recultivated. The research is aimed at examining the properties of soils in the KCB's recultivated dumps, their classification, and diagnostics. The issues involved in studying the soils in coal-mining regions are both fundamental and practical. The dump soils were studied using standard soil examination methods and phytotoxicity test. Clay lithostrat Spolic Epileptic Technosols (Loamic, Carbonic, Densic, Skeletic) and soddy embryonic soil Spolic Epileptic Technosols (Clayic, Carbonic, Skeletic) were identified on the KCB's surveyed dumps. The soils have a neutral and alkaline reaction (pH 6.8–7.9), a high content of total Fe, and an average absorption capacity (CEC = 23–27 mmol/100 g for the lithostrat and 19–37 for the soddy embryonic soil). The organic matter content of soddy embryonic soil varies along the profile and exceeds background levels 1.5–2.5 times. Dump soils have a total iron content ranging from 19 to 51 g/kg (2–4 times higher than in the background soil). The mobile iron content of the background soil is 1.5–4 times higher. Phytotoxicity test revealed that the upper layers of the dump soils were in good ecological condition. Recultivation and technogenic parent rock determine the properties of dump soils.

Keywords: soil formation, coal dumps, recultivation, soddy embryonic soils, lithostratum.

Горнодобывающая деятельность является мощным фактором трансформации природных экосистем. В процессе подземной разработки месторождений происходит изменение рельефа, оседание грунтов, изъятие земель под отвалы, процессы пыления, самовозгорания отвалов, эрозия и загрязнение почвенного покрова, загрязнение поверхностных и подземных вод, нарушение гидрологического режима [1–6].

Изучению почв в ландшафтах, преобразованных в результате деятельности угледобывающих предприятий, посвящено значительное количество работ. Исследованы почвы отвалов и территорий изливов кислых шахтных вод и стоков с отвалов, при этом почвы отвалов характеризуются нейтральной и щелочной средой, почвы стоков и изливов – сильнокислой [7–9]. Процессы почвообразования на отвалах связаны не только с климатическими условиями, рельефом, но также и с природой техногенной почвообразующей породы [2], которой часто являются непосредственно вскрышные породы. Минералогический состав отвалов объясняет химические свойства образовавшихся на них почв [5, 6].

Рекультивация отвалов, как и динамика восстановления растительности и почв, является важной темой в связи с необходимостью сохранения окружающей природной среды и предотвращения негативных последствий природопользования для экосистем [5, 9, 10].

Так, развитие почвообразования в техногенных ландшафтах Кузбасса рассмотрено в работах [11, 12], на отвалах в фазу посттехногенного развития ландшафта формируются слаборазвитые почвы – эмбриозёмы, стадии развития их зависят от особенностей биологических процессов, протекающих на отвалах. При отсыпке на отвал плодородного почвенного материала и проведения мелиорации

образуются технозёмы. Данная концепция лежит в основе многих работ российских учёных [2, 13–15].

Кизеловский угольный бассейн (КУБ) расположен в восточной части Пермского края, площадь бассейна составляет около 1500 км² [4]. Поверхностные воды и донные отложения территории подробно изучены [4, 16], современное состояние почв отвалов КУБ изучено недостаточно. После закрытия шахт были предприняты попытки исследования, однако вопросы классификации и диагностики почв, а также их химические свойства изучены не в полной мере.

Цель исследования – изучение свойств и экологического состояния почв, сформированных в результате проведения рекультивационных мероприятий на угольных отвалах, а также их классификация.

Объекты и методы исследования

Район исследования относится к Уральской геохимической провинции элювиально-трансаллювиальной области остаточных горных массивов западного склона Среднего Урала, по ландшафтному районированию относится к Верхнеяйвинскому ландшафту высоких грядово-увалистых предгорий на палеозойских карбонатных и частично терригенных породах (рис. 1).

В системе современного почвенно-экологического районирования территория КУБ относится к Западному предгорному району тяжелосуглинистых подзолистых, дерново-подзолистых и заболоченных почв [19].

Добыча угля продолжалась с конца XVIII до конца XX века подземным способом, в начале 2000-х гг. шахты были ликвидированы.

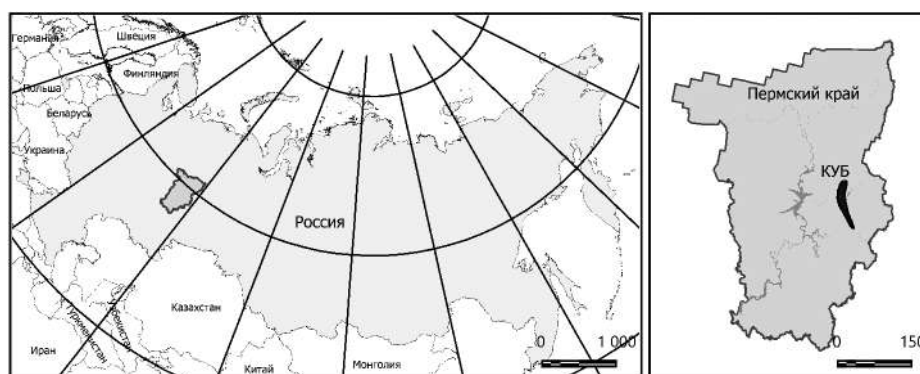


Рис. 1. Географическое положение Кизеловского угольного бассейна
Fig. 1. Geographical location of the Kizel Coal Basin

На территории КУБ присутствует около 100 породных отвалов [4]. На основании анализа спутниковых снимков 2021 г. площадь, занимаемая отвалами, оценивается в 260 га. Вскрышные породы отвалов состоят из песчаников, аргиллитов, алевролитов, углистых сланцев, известняков и каменного угля, песчаники и алевролиты содержат в небольших количествах (около 3–5,5%) примесь пирита [4].

Объектами исследования являлись почвы двух отвалов, пробы которых отобраны в летний период 2021 г.

Разрез № 1 заложен на отвале шахты Центральная в пос. Углеуральский (рис. 2, см. цв. вкладку III), где около 15–17 лет назад проведены рекультивационные мероприятия, заключающиеся в разравнивании и засыпке отвала глинистым материалом мощностью 0,5 м. Отвал плоской формы, на поверхности присутствуют строительные отходы (кирпичный лом, металлические прутья). При обследовании фитоценоза в 2021 г. на отвале обнаружены травянистые виды семейств злаковые Poaceae, бобовые Fabaceae, астровые Asteraceae, мареновые Rubiaceae, подорожниковые Plantaginaceae, проективное покрытие составило более 80%.

Разрез № 2 заложен на отвале шахты Северная, пос. Шахта (рис. 3, см. цв. вкладку III). Рекультивация отвала проведена около 25–30 лет назад, она заключалась в разравнивании отвала с внесением гашёной извести и торфяного материала в верхний слой породного отвала. Торфяной субстрат вносился как источник органического вещества, однако количество его было недостаточным для формирования плодородного слоя. В настоящее время отвал плоский. Древесная растительность представлена берёзами возрастом 10–15 лет, травянистая растительность – представителями семейств злаки Poaceae, осоковые Cyperaceae, астровые Asteraceae, мареновые Rubiaceae, розовые Rosaceae, а также мхами.

Глубина почвенных прикопок на отвалах была 30 см, ниже наблюдалось много каменистого материала, что затрудняло дальнейший отбор проб. В связи с отсутствием генетических горизонтов пробы были отобраны с шагом 10 см. В качестве фона отобраны пробы дерново-элювозёма, прикопка заложена во вторичном мелколиственном лесу.

В почвенных образцах определяли рН водной и солевой (KCl) вытяжек потенциометрическим методом по ГОСТ 26423-85 и ГОСТ 26483-85 соответственно; гидролитическую кислотность – методом Каппена (в 1M CH_3COONa вытяжке); обменную кислот-

ность, обменный алюминий и обменный водород – по методу Соколова. Содержание органического вещества было определено спектрофотометрическим методом по ГОСТ 26213-91, ёмкость катионного обмена (ЕКО) – по методу Бобко-Аскинази-Алешина (ГОСТ 17.4.4.01-84). Содержание обменного кальция и обменного магния определяли комплексонометрическим титрованием по ГОСТ 26487-85, содержание подвижной серы – турбидиметрическим методом по ГОСТ 26490-85, подвижного железа – спектрофотометрическим методом с о-фенантролином по ГОСТ 27395-87, сульфат-ионов – турбидиметрическим методом по ГОСТ 26426-85. Содержание валового железа определяли методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на Elan 900 в Центре коллективного пользования ПГНИУ.

Фитотестирование и оценка состояния почв проведены согласно [20]. В качестве тест-культуры использовали кресс-салат *Lepidium sativum* сорта Весенний, тест-контроль – вермикулит с раствором Кюпа.

Математическую обработку результатов проводили в соответствии с требованиями методик количественного химического анализа.

Результаты и обсуждение

Классификация и диагностика почв.

На рекультивированных отвалах КУБ сформировались техногенные почвы или техногенные поверхностные образования (ТПО). На отвале шахты Центральная (разрез № 1) диагностирован литострат глинистый, в соответствии с WRB [21] почва определена как Spolic Epileptic Technosols (Loamic, Carbonic, Densic, Skeletic) (рис. 2). В литострате горизонты или слои не выделяются, обильны камни и уголь (около 40%), до глубины 10 см отмечаются корни травянистых растений и комковатая структура. Почва плотная, глинистая, буровато-коричневой окраски.

При классификации данной почвы возникали некоторые трудности. По нашему мнению, из-за отсутствия органогенного горизонта и крупнообломочных пород в почвенном профиле её нельзя отнести к литозёмам. Определение «технозём» также не подходит данным почвам в связи с отсутствием насыпного гумусированного слоя, как это описано в [22]. В работе [2] почвы, образованные непосредственно на материале отвала без внесения дополнительного субстрата, выделены как литостраты. Исследованная нами поверхность угольного отвала была отсыпана минеральным

**Н. В. Митракова, Е. А. Хайрулина, Н. В. Порошина,
А. А. Перминова, Е. Е. Малышкина**
**«Классификация и свойства почв, образовавшихся на
рекультивированных угольных отвалах
Кизеловского угольного бассейна». С. 180**

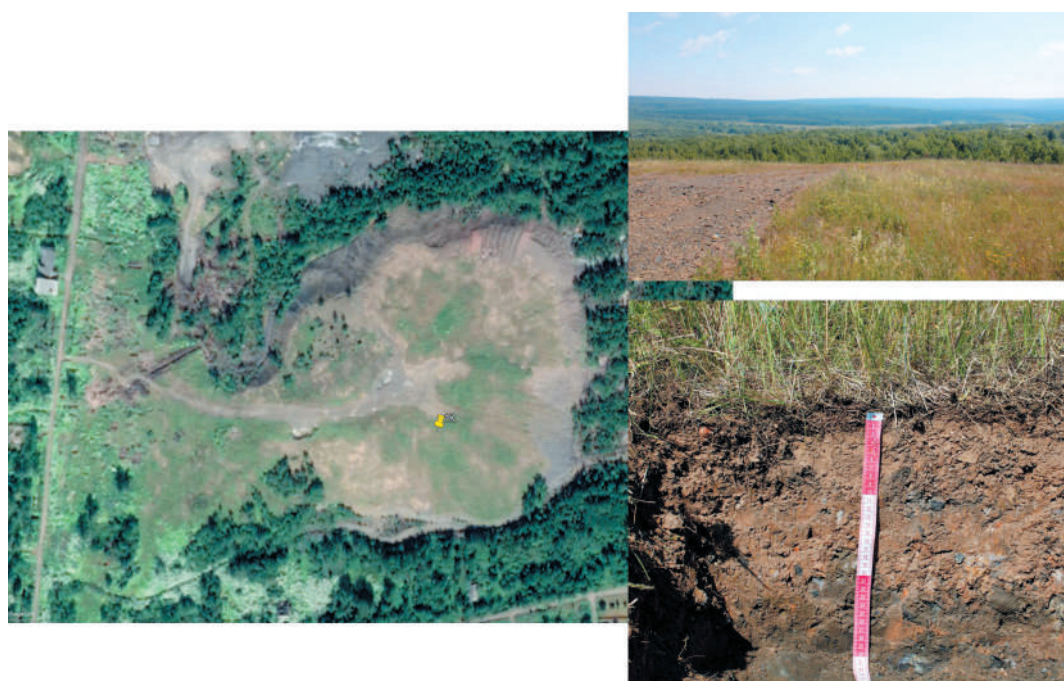


Рис. 2. Отвал шахты Центральная, профиль литострата глинистого
Fig. 2. Dump of the Tsentralnaya mine, profile of clayey lithostrat

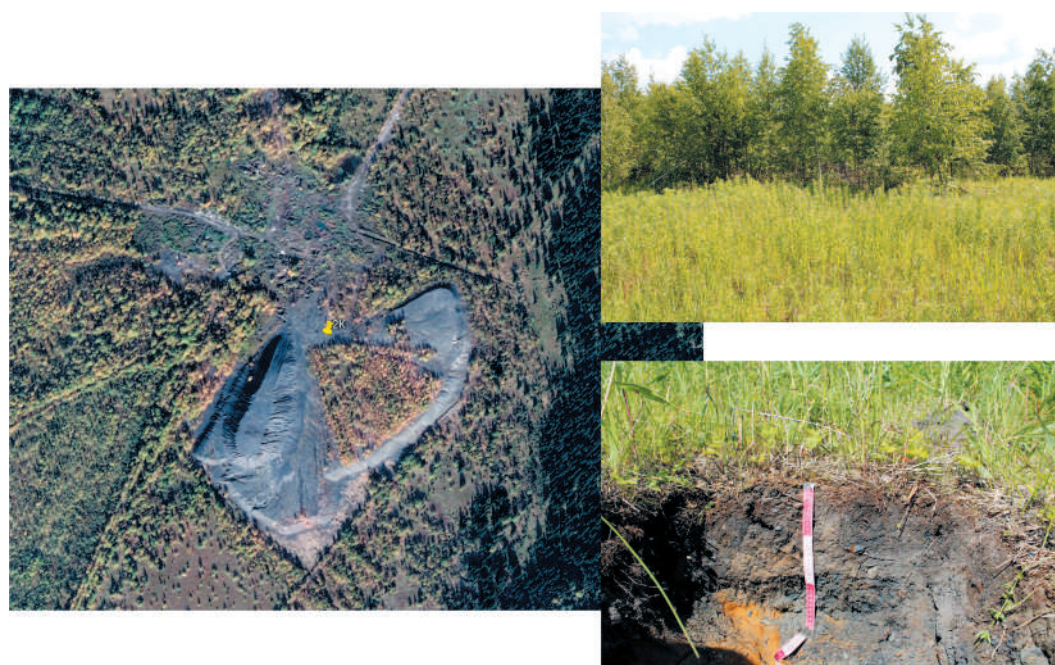


Рис. 3. Отвал шахты Северная, профиль эмбриозёма дернового
Fig. 3. Dump of the Severnaya mine, profile of embryo soddy soil

грунтом глинистого состава, на котором в настоящее время обнаруживаются признаки первичного почвообразования.

На отвале шахты Северная, согласно авторской классификации В.А. Андроханова [11], диагностирован эмбриозём дерновый, по WRB [21] – Spolic Epileptic Technosols (Clayic, Carbonic, Skeletic) (рис. 3, см. цв. вкладку III). Почва с поверхности имеет тёмно-серую окраску, под дерниной выделяется слой мощностью 2 см, характеризующийся комковатой структурой, ниже залегает плотный материал с камнями разного размера, в верхних 10 см отмечено содержание мелкозёма. На отвалах проявляется первичное почвообразование. Его протекание связано с устойчивым растительным покровом: корни растений, а также ежегодно поступающие отмершие остатки растений способствуют разрыхлению верхнего слоя почв и накоплению почвенного органического вещества.

Таким образом, на отвалах сформировались техногенные почвы. При сходных условиях в других регионах образуются аналогичные типы техногенных поверхностных образований [2, 15].

Свойства почв и особенности их формирования. Исследованные почвы образовались в одинаковых климатических условиях, однако место образования, состав породы, и способ рекультивации отвалов определили различия их свойств.

Поверхностные слои литострата и эмбриозёма характеризуются нейтральной и щелочной реакцией $pH_{\text{водн}}$ 6,8 и 7,9 соответственно, с глубиной почвы становятся кислыми и сильнокислыми (табл.). Такое распределение кислотности в литострате обусловлено внесением глинистого материала, который представляет собой минеральные горизонты местных кислых почв. Щелочная реакция эмбриозёма связана с внесением извести в верхний слой отвала при рекультивации. Внесение извести – распространённый приём при рекультивации отвалов [9, 23]. Нейтральная и слабощелочная среда характерна для почв каменноугольных отвалов Кузбасса [2], в то время как поверхностные слои почв угольного отвала на лёссовом плато в Китае щелочные [24].

Обменная кислотность и содержание обменного алюминия соответствуют актуальной и гидролитической кислотности, наибольшая величина обменной кислотности в пробах литострата обусловлена глинистым составом почвенного слоя. Величина обменной кислотности в почвах на отвалах значительно ниже, чем в фоновой почве (табл.).

Содержание органического вещества значительно варьирует в почвах и по слоям (табл.). Высокое содержание органического вещества в литострате в слое 20–30 см обусловлено частыми включениями углей. В эмбриозёме по всему профилю наблюдается высокое содержание органического вещества, что обусловлено образованием данной почвы непосредственно на угольном отвале (табл.). Высокое содержание органического вещества в почвах угольных отвалов, связанное с наличием углистых частиц, которые обладают высокой радиальной и латеральной миграционной способностью, отмечено в [25].

Ёмкость катионного обмена в почвах отвалов в целом характеризуется средней величиной. Максимальное значение ЕКО 37 смоль/кг отмечено в верхнем десятисантиметровом слое эмбриозёма, вероятно, за счёт внесения торфяного субстрата во время рекультивации отвала.

В обеих почвах на отвалах количество валового железа в 2–4 раза выше, чем в фоновой почве, при этом количество подвижного железа в 1,5–2 раза ниже, чем в фоновой почве. Высокое количество валового железа объясняется минералогическими особенностями вскрышных пород, основная часть минералов которых представлена неустойчивыми и хорошо растворимыми сульфатами железа, алюминия, кальция [26]. В отличие от молодых почв, в зональных почвах содержание как валового, так и подвижного железа незначительно различается по глубине. Это объясняется исходной неоднородностью минералогического и химического состава пород отвалов. Относительно высокая подвижность железа в фоновой почве по сравнению с почвами на отвалах может быть обусловлена более кислой реакцией среды, высоким содержанием гидроксидов железа в составе глинистых минералов, а также более развитым процессом почвообразования и наличием гумусового горизонта [27, 28].

Вскрышные породы отвалов богаты серой, преимущественно пиритной, которая может находиться в сульфидной, органической, сульфатной и элементной формах [26]. В водной вытяжке из почв преобладают сульфат-ионы, их содержание варьирует от 0,6 до 1,7 смоль/кг, максимальное значение характерно для нижнего слоя литострата. Увеличение содержания сульфат-ионов, как и подвижной серы, в литострате с глубиной, вероятно, связано с перемешиванием нижнего слоя почвы со вскрышными породами отвала, обогащён-

Таблица / Table

Химические свойства почв угольных отвалов / Chemical properties of soils of coal dump

Почва Soil	Слой, см Layer, cm	pH _{H₂O}	pH _{KCl}	H _{нк} H _{гк}	OK ⁺ OK	ЕКО СЕС	Al ^{общ.} Al ^{exch.}	Ca ^{общ.} Ca ^{exch.}	SO ₄ ²⁻	Органическое вещество Organic matter	мг/кг / mg/kg		
											Fe ^{подв.} Fe ^{mobile}	Fe ^{вал.} Fe ^{total}	S ^{подв.} S ^{mobile}
											%		
Литострат	0-10	6,8±0,1	5,3±0,1	3,9±0,3	0,08±0,02	23±5	0,010±0,001	10±1	0,65±0,06	2,43±0,36	250±25	23800 ±1300	17,3±1,3
	10-20	6,1±0,1	4,7±0,1	4,7±0,28	0,07±0,01	24,0±0,5	0,030±0,004	7,6±0,8	0,60±0,06	3,1±0,5	200±22	28000 ±1500	109±8
	20-30	3,3±0,1	2,6±0,1	16,3±1,5	2,3±0,5	27±5	2,20±0,33	1,75±0,20	1,7±0,2	8,9±1,4	260±25	51900 ±2100	253±19
Эмбриозём дерновый	0-10	7,9±0,1	6,9±0,1	1,2±0,1	-	37±7	-	5,8±0,6	0,8±0,1	12,1±1,8	90±10	24900 ±1300	211±16
	10-20	7,4±0,1	6,3±0,1	1,2±0,1	-	22±4	-	6,1±0,6	1,0±0,1	7,7±1,2	220±20	19100 ±1000	163±12
	20-30	5,0±0,1	4,3±0,1	2,5±0,2	0,06±0,01	19,0±3,8	0,12±0,02	4,3±0,5	1,0±0,1	9,2±1,4	110±10	31200 ±1700	54±4
Дерново- элювизём (фон)	0-10	4,5±0,1	3,5±0,1	26,4±2,1	5,0±1,0	13,0±2,6	4,8±0,7	3,3±0,4	0,50±0,02	5,0±0,8	430±60	13500 ±700	12,9±1,0
	10-20	4,6±0,1	3,5±0,1	21,4±1,9	5,9±1,2	21±4	5,8±0,9	2,25±0,28	0,50±0,02	5,1±0,8	430±60	13300 ±700	4,6±0,5
	20-30	4,7±0,1	3,6±0,1	20,8±1,6	5,9±1,2	19,0±3,8	5,8±0,9	2,75±0,34	0,50±0,02	6,1±0,9	360±70	11600 ±600	0,20±0,05

Примечание: H_{нк} – гидролитическая кислотность, OK⁺ – обменная кислотность; «-» – ниже предела обнаружения метода.
 Note: H_{гк} – hydrolytic acidity, OK – exchangeable acidity; “-” – below the detection limit of the method.

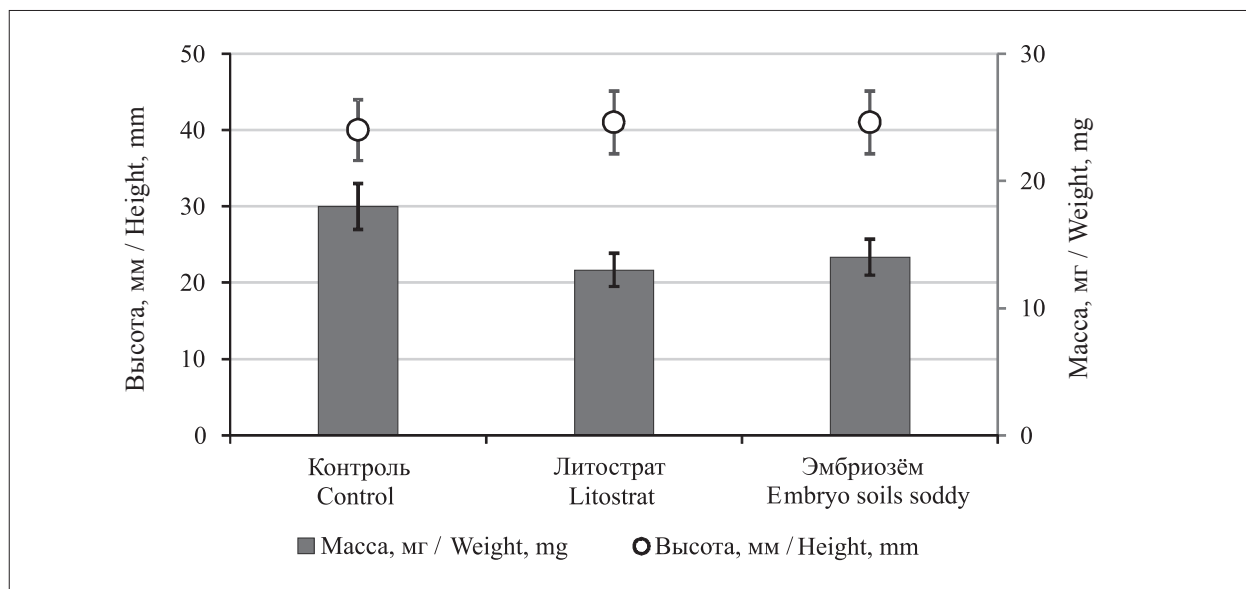


Рис. 4. Фитотестирование поверхностных слоёв почв
Fig. 4. Phytotesting of the surface layers of soils

ными сульфидными минералами, а именно, пиритом. В пробах эмбриозёма с глубиной содержание подвижной серы уменьшается.

Для оценки токсичности формирующихся почв было проведено фитотестирование поверхностных почвенных слоёв глубиной 0–10 см. Фитотестирование показало отсутствие различий в высоте растений относительно контрольного варианта на вермикулите (рис. 4).

Масса кресс-салата, выращенного на литострате, ниже на 34% относительно контроля, что может быть объяснено тяжёлым гранулометрическим составом почвы. Масса кресс-салата, выращенного на верхнем слое эмбриозёма, ниже, чем в контроле. В целом, для поверхностных слоёв исследованных почв характерно удовлетворительное экологическое состояние.

Заклучение

После рекультивации угольных отвалов КУБ на их поверхности образуются почвы. Техногенная почвообразующая порода, длительность периода почвообразования и способы рекультивации определяют их свойства и классификационную принадлежность. Отсутствие дифференциации на горизонты или слои указывает на молодость таких почв и их техногенный характер.

Угольные отвалы состоят из обломков вскрышных пород разного размера – от 1 до 150 мм, что обеспечивает разный уровень скелетности почвы, поэтому способ рекультивации опреде-

ляет не только химические, но и физические свойства. Присутствие сульфидных минералов (пирита) в породах отвала обуславливает кислую реакцию почвенного раствора, повышенное содержание подвижной серы и валового железа.

На рекультивированном отвале шахты Центральная в результате разравнивания и отсыпки на поверхность глинистого материала сформировался литострат глинистый или Spolic Epileptic Technosols (Loamic, Carbonic, Densic, Skeletic), который характеризуется отсутствием дифференциации по профилю, наличием гальки и угля в нижней части профиля, нейтральной реакцией, средней ЕКО.

После разравнивания угольного отвала шахты Северная и внесения в поверхностный слой известки и торфяного материала за 30-летний период почвообразования к настоящему времени сформировался эмбриозём дерновый или Spolic Epileptic Technosols (Clayic, Carbonic, Skeletic), отличающийся щелочной реакцией и высокой ёмкостью поглощения. Формирование почвы непосредственно на угольном отвале обеспечило высокое количество углерода в почве, что отразилось на результатах определения содержания органического вещества, оно оказалось высоким по всему профилю почвы.

По сравнению с фоновыми почвами на угольных отвалах характеризуются пониженной кислотностью, низким содержанием обменного алюминия, более высокой ёмкостью

поглощения. Содержание валового железа в литострате и эмбриоземе почти не отличается, но в 2–4 раза превышает его количество в фоновой почве, что связано с минералогическим составом пород отвалов, содержащих растворимые сульфаты железа и пирит.

Согласно результатам фитотестирования исследованные почвы характеризуются удовлетворительным экологическим состоянием.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ, проект FSNF-2020-0021.

References

- Tozsin G. Hazardous elements in soil and coal from the Oltu coal mine district, Turkey // International Journal of Coal Geology. 2014. V. 131. P. 1–6. doi: 10.1016/j.coal.2014.05.011
- Bragina P.S., Tsibart A.S., Zavadskaya M.P., Sharapova A.V. Soils on overburden dumps in the forest steppe and mountain taiga zones of the Kuzbass // Eurasian Soil Science. 2014. V. 47. P. 723–733. doi: 10.1134/S1064229314050032
- Cheng H., Li M., Zhao C., Li K., Peng M., Qin A., Cheng X. Overview of trace metals in the urban soil of 31 metropolises in China // Journal of Geochemical Exploration. 2014. V. 139. P. 31–52. doi: 10.1016/j.gexplo.2013.08.012
- Maksimovich N.G., Pyankov S.V. Kizelovsky Coal Basin: environmental problems and solutions. Perm: Perm State Research University, 2018. 288 p. (in Russian).
- Arefieva O., Nazarkina A.V., Gruschakova N.V., Skurikhina J.E., Kolycheva V.B. Impact of mine waters on chemical composition of soil in the Partizansk Coal Basin, Russia // International Soil and Water Conservation Research. 2019. V. 7. No. 1. P. 57–63. doi: 10.1016/j.iswcr.2019.01.001
- Chen X., Jiang C., Zheng L., Zhang L., Fu X., Chen S., Chen Y., Hu J. Evaluating the genesis and dominant processes of groundwater salinization by using hydrochemistry and multiple isotopes in a mining city // Environmental Pollution. 2021. V. 283. Article No. 117381. doi: 10.1016/j.envpol.2021.117381
- Kolomenskiy G.Yu., Gipich L.V., Kolomenskaya V.G., Mikhalev S.A., Sedletskiy V.I. Ecological consequences of the liquidation of the mines of the Eastern Donbass and the need to improve the eco-monitoring system // Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Sciences. 2006. No. 2. P. 79–82 (in Russian).
- Kostin A.S., Krechetov P.P., Chernitsova O.V., Terskaya E.V. Data on physico-chemical characteristics and elemental composition of gray forest soils (Greyzemic Phaeozems) in natural-technogenic landscapes of Moscow Brown Coal Basin // Data in Brief. 2021. V. 35. Article No. 106817. doi: 10.1016/j.dib.2021.106817
- Fernández-Caliani J.C., Giráldez M.I., Waken W.H., Del Río Z.M., Córdoba F. Soil quality changes in an Iberian pyrite mine site 15 years after land reclamation // Catena. 2021. V. 206. Article No. 105538. doi: 10.1016/j.catena.2021.105538
- Li J., Yan X., Cao Z., Zhen Y., Liang J., Ma T., Liu Q. Identification of successional trajectory over 30 years and evaluation of reclamation effect in coal waste dumps of surface coal mine // Journal of Cleaner Production. 2020. V. 269. Article No. 122161. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122161
- Androkhonov V.A., Kurachev V.M. Principles of assessment of the soil-ecological state of technogenic landscapes // Contemporary Problems of Ecology. 2009. V. 2. P. 642–644. doi: 10.1134/S199542550906023X
- Mikheeva I.V., Androkhonov V.A. Physical properties of technosols at brown coal mine wastes in Eastern Siberia // Soil and Tillage Research. 2022. V. 217. Article No. 105264. doi: 10.1016/j.still.2021.105264
- Shipilova A.M., Semina I.S. Features of physical properties of soil of technogenic landscapes of forest-steppe zone of Kuzbass // News of the Ural State Mining University. 2016. V. 3. No. 43. P. 25–28. doi: 10.21440/2307-2091-2016-3-25-28
- Tupikova G.S., Shergina O.V., Egorova I.N., Tupitsyna Yu.S. The study of plants and embryozem soils on the technogenic dumps aimed to the improvement of the monitoring and remediation in industrial zones // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 908. No. 1. Article No. 012040. doi: 10.1088/1755-1315/908/1/012040
- Bespalov A.N., Sokolova N.A., Sokolov D.A. Specifics of biogeocenoses restoration during overgrowth of coal-mine dumps of the Gorlovsky Basin // Theoretical and Applied Ecology. 2022. No. 2. P. 159–164 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2022-2-159-164
- Ushakova E., Menshikova E., Blinov S., Osovetsky B., Belkin P. Environmental assessment impact of acid mine drainage from Kizel Coal Basin on the Kosva Bay of the Kama Reservoir (Perm Krai, Russia) // Water. 2022. V. 14. No. 5. Article No. 727. doi: 10.3390/w14050727
- Berdinskikh S.Yu., Botalov V.S., Romanov A.V., Zaytsev A.G. Agrochemical characteristics of the top layer of soil on coal waste heaps and the effect of clayey on their natural overgrowth (on the example of the Kizelovsky Coal Basin) // Ekologicheskaya bezopasnost v usloviyakh antropogennoy transformatsiya prirodnoy sredy. Perm: PSU, 2022. P. 437–441 [Internet resource] <https://elis.psu.ru/node/642906?fragment=page-1> (Accessed: 21.10.2022).
- Karakulieva A.A., Kondrateva M.A. Properties of embryozemes of coal mines dumps of the Kizelovsky Basin // Antropogenetic transformation of environment. 2018. No. 4. P. 156–159 (in Russian).
- Korotaev N.Ya. Soils of the Perm Region. Perm: Permskoe knizhnoe izdatelstvo, 1962. 278 p. (in Russian).
- Eremchenko O.Z., Mitrakova N.V. Method for assessment of biological activity and toxicity of soil and

technogenic soils // Patent RU 2620555 C1. Application: 2016113050, 05.04.2016. Date of publication: 26.05.2017. Bull. 15 (in Russian).

21. Lúcia A., Gaistardo C.C., Deckers J., Dondeyne S., Eberhardt E., Gerasimova M., Harms B., Jones A., Krasilnikov P., Reinsch T., Vargas R., Zhang G. World reference base for soil resources // World reference base for soil resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: FAO, 2015. 203 p.

22. Eterevskaya L.V. Systematics and classification of technogenic soils // Plants and industrial environment. Sverdlovsk: UrGU, 1984. P. 14–21 (in Russian).

23. Nekrasova A.E., Bobrenko E.G., Knych A.I., Sologaev V.I. Reclamation of waste dump open joint-stock Company “Mine” Capital” of the Kemerovo Region // Bulletin of Omsk State Agrarian University. 2016. No. 1 (21). P. 154–160 (in Russian).

24. Guan Y., Zhou W., Bai Z., Cao Y., Huang Y., Huang H. Soil nutrient variations among different land

use types after reclamation in the Pingshuo opencast coal mine on the Loess Plateau, China // Catena. 2020. V. 188. Article No. 104427. doi: 10.1016/j.catena.2019.104427

25. Menshikova E.A., Osovetsky B.M. Carbonaceous particles in the environment // Problemy regionalnoy ekologii. 2014. No. 5. P. 83–88 (in Russian).

26. Maksimovich N.G. Geochemistry of coal deposits and the environment // Bulletin of Perm University. Geology. 1997. No. 4. P. 171–185 (in Russian).

27. Kiseleva N.D., Dvurechenskiy V.G. Forms of iron in soils of natural landscapes of Upper Preangaria (East Siberia) // The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology. 2021. V. 37. P. 89–100 (in Russian). doi: 10.26516/2073-3372.2021.37.89

28. Litvinovich A.V., Lavrishchev A.V., Bure V.M., Pavlova O.Yu., Kovaleva A.O. Studying the dynamics of mobile iron content in sod-podzolic light loam soil ameliorated by dolomite // Agrohimiya. 2019. No. 3. P. 44–53 (in Russian). doi: 10.1134/S0002188119030098