

5. Livinsky I.S., Mitrofanov A.F. & Makarov A.B. Complex geomechanical modeling: structure, geology, reasonable sufficiency. *Gornyj zhurnal*, 2017, (8), pp. 51-55. (In Russ.).
6. Biryuchev I.V., Makarov A.B., Usov A.A. Geomechanical model of underground mine. Part 1. Creation. *Gornyj zhurnal*, 2020, (1), pp. 42-48. (In Russ.).
7. Kuzin E.A. & Khalkechev K.V. Mathematical model for determining the shape of a stable pillar of a polycrystalline structure in carbon-bearing rocks. *Ugol'*, 2020, (2), pp. 22-25. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-2-22-25.
8. Demin V.F., Shontayev D.S., Balgabekov T.K., Shontayev A.D. & Kongkybayeva A.N. Stressed-deformed state of the boundary-carbon array. *Ugol'*, 2020, (5), pp. 63-67. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-5-63-67.
9. Silveira, L.R.C., Lana, M.S., Alameda-Hernández, P. & Santos T.B. A New Methodology for Rockfall Hazard Assessment in Rocky Slopes. *Mining*, 2022, (2), pp. 791-808. Available at: <https://doi.org/10.3390/mining2040044>.
10. Kavvadas M., Roumpos C., Servou A. & Paraskevis N. Geotechnical Issues in Decommissioning Surface Lignite Mines – The Case of Amyntaion Mine in Greece. *Mining*, 2022, (2), pp. 278-296. Available at: <https://doi.org/10.3390/mining2020015/>.
11. Navid Bahrani & Peter K. Kaiser. Influence of degree of interlock on confined strength of jointed hard rock masses. *J. Rock Mech. Geotech. Eng.*, 2020, Vol. 12, (6), pp. 1152-1170.
12. Adeyemi Emman Aladejare & Musa Adebayo Idris. Performance analysis of empirical models for predicting rock mass deformation modulus using regression and Bayesian methods. *J. Rock Mech. Geotech. Eng.*, 2020, Vol. 12, (6), pp. 1263-1271.
13. Liren Ban, Zhigang Tao, Weisheng Du & Yuhang Hou. A consecutive joint shear strength model considering the 3D roughness of real contact joint surface. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2023, Vol. 33, (5), pp. 617-624.

For citation

Boos I.Yu., Patachakov I.V., Shpakov P.S., Redkin D.V., Cherpakova A.A. & Yuronen Yu.P. Justification of the deepening method parameters for open pit mining of ore deposits with account of subsurface geometry and spatial location of rock mass disturbances. *Ugol'*, 2023, (10), pp. 47-51. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-10-47-51.

Paper info

Received July 19, 2023

Reviewed September 14, 2023

Accepted September 26, 2023

Оригинальная статья

УДК 622.271:622.85 © О.И. Подурец, 2023

Пространственная вариабельность содержания тяжелых металлов в почвенном покрове в условиях влияния угледобывающего предприятия

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-10-51-58>

Открытая разработка месторождения динамично трансформирует и усложняет структуру почвенного покрова. Зональные почвы, сохранившие свое естественное сложение, и молодые техногенные почвы – эмбриоземы, формирующиеся в условиях самозаращения на отвалах Талдинского угольного разреза, располагаются в зоне высокой пылевой нагрузки и находятся в близости от источников загрязнения. Для оценки пространственной вариабельности свойств учитывались рН, гумус, фракция физической глины и валовые формы элементов, относимых к критической группе веществ – индикаторов стресса окружающей среды: Hg, Pb, Cd, Zn и As. Из результатов следует, что почвы содержат валовые формы токсичных элементов в количествах, не превышающих нормативные показатели, за исключением As с превышением до 2,6 ПДК в зональных почвах. В эмбриоземах содержание мышьяка ниже нормативных показателей, но высказано предположение, что ще-

ПОДУРЕЦ О.И.

Канд. биол. наук, доцент,
доцент кафедры
естественнонаучных дисциплин
КГПИ ФГБОУ ВО «Кемеровский
государственный университет»
6546041, г. Новокузнецк, Россия
e-mail glebova-podurets@mail.ru

лочная рН почв техногенного ландшафта может проявиться в снижении адсорбции данного рН-зависимого элемента и увеличит его подвижность, что необходимо учитывать при разработке проекта рекультивации данного отвала. Класс вариабельности валового содержания элементов изменяется от сильной к слабой, что можно выразить в следующих рядах: для зональных почв $Cd > As > Pb > Zn$, для эмбриоземов $Pb > As > Zn > Cd$.

Ключевые слова: почвы, техногенный ландшафт, загрязнение, токсичные элементы.

Для цитирования: Подурец О.И. Пространственная вариабельность содержания тяжелых металлов в почвенном покрове в условиях влияния угледобывающего предприятия // Уголь. 2023. №10. С. 51-58. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-10-51-58>.

ВВЕДЕНИЕ

Деятельность предприятий горнодобывающей промышленности приводит к необратимым отрицательным изменениям в природных экосистемах. Технологический процесс разработки месторождений, расширение инфраструктуры горнодобывающего предприятия невозможны без вовлечения дополнительных земельных ресурсов [1]. Наиболее динамично это проявляется при использовании открытого способа разработки месторождения. Трансформация естественных ландшафтов в техногенные проявляется в нарушении ландшафта, вплоть до коренной перестройки геологического фундамента, в полном сведении растительности и почвенного покрова и в нарушении биологической продуктивности экосистем. Данные процессы усугубляются интенсивным загрязнением воздуха, поверхностных и грунтовых вод. Основная доля загрязняющих веществ, поступающих от горнодобывающих предприятий, аккумулируется в почве и со временем распространяется на всю экосистему, что в совокупности приводит к ухудшению экологических условий для населения региона. В Кузбассе технологическое освоение разрабатываемых угольных месторождений осуществляется 132 действующими угледобывающими предприятиями. К 2025 г. общий объем добычи угля планируется увеличить до 270 млн т, соответственно, прогнозная площадь техногенно преобразованных ландшафтов увеличится на 20% к 65 тыс. га уже нарушенных, 50% которых представлены плодородными черноземами и темно-серыми лесными почвами [1, 2].

Добыча и переработка полезных ископаемых вызвали совокупность геохимических процессов. Одним из проявлений считается техногенное поступление металлов в почвы, закрепление их в гумусных горизонтах и в почвенном профиле [2, 3, 4, 5]. Постоянное поступление их даже в малых количествах в течение продолжительного времени способно привести к существенному накоплению [5]. Прежде всего изменения затрагивают биологические свойства почвы: снижается общая численность микроорганизмов, сужается их видовой состав (разнообразие), изменяется структура микробиоценозов, падают интенсивность основных микробиологических процессов и активность почвенных ферментов [5, 6, 7]. Интенсивное загрязнение

тяжелыми металлами приводит к изменению и более консервативных признаков почвы, таких как гумусное состояние, структура, потенциал водородного иона (рН) среды и др. [3, 5, 8, 9]. Восстановление биологической продуктивности нарушенных земель становится социальной проблемой, поэтому возрастает актуальность мониторинга их состояния, проведения контроля за содержанием токсичных элементов.

Цель исследования – определить степень относительной вариабельности основных почвенных свойств и валового содержания тяжелых металлов в почвах естественных и техногенных ландшафтов Талдинского угольного разреза АО УК «Кузбассразрезуголь».

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Объектом исследования являются почвы горного отвала угольного разреза. Значительная часть территории характеризуется отсутствием естественного почвенного и растительного покрова, нарушением геологической и геоморфологической структуры и представляет техногенный ландшафт. Некоторая доля площади трансформирована в той или степени в процессе проводимых на действующем разрезе вскрышных работ, что исключает возможность их исследования в данный момент, но представляет интерес в будущем, а также имеются участки с почвами, сохранившими свое естественное сложение.

На сохранившихся естественных ландшафтах объектами выбраны наиболее распространенные типы – чернозем оподзоленный (Чоп), серые лесные почвы (ЛЗ, Л2), лугово-черноземные (Чл), лугово-болотные (Бл) Киселевско-Прокопьевского лесостепного почвенного района «островной» лесостепи с переходом в Кароканско-Талдинский предгорный район [10].

Объектами исследования техногенного ландшафта определены породные отвалы, на которых в данный момент прекращена отсыпка породы и ландшафт находится на посттехногенной фазе развития. Сформированная на предыдущей техногенной фазе каркасная структура постепенно преобразуется в ходе развития естественных биологических и почвообразовательных процессов. Это выражается в формировании техногенных комплексов с молодыми почвенными образованиями – эмбриоземами с сингенетичными им растительными группировками, которые находятся на определенной стадии сукцессии [11, 12]. Почвы относятся к стволу постлитогенных, классу биогенно-неразвитых, типу органо-аккумулятивных эмбриоземов (Эм1, Эм2, Эм3, Эм4, Эм5), характеризуются малопрофильностью, оценка их развития основана на подходах профилно-генетической классификации [11].

Литологический состав вскрышных и вмещающих горных пород представлен мелкозернистыми песчаниками с прослойками светло-серых алевролитов песчанистого состава, темно-серыми глинистыми аргиллитами и алевролитами, содержащими углистый материал и прослойки угольных пластов ерунаковской и ильинской свиты, покрытых субэаральными бескарбонатными глинами и тонкодисперстными желто-бурыми карбонатными лесовидными суглинками мощностью 25-30 м [10, 11, 12, 13].

Рельеф естественных ландшафтов полого-увалистый, расчленен логами с разветвленной сетью речных долин и балок, обеспечивающих хороший дренаж территории, характеризуется небольшим уклоном в северо-восточном направлении с переходом в аккумулятивную слаборасчлененную равнину. Наличие склоновых поверхностей обеспечивает дополнительный приток влаги в лога и создание условий для переувлажнения почв [10, 13].

Климат резко континентальный с коротким жарким летом и продолжительной морозной зимой. Характеризуется следующими основными количественными параметрами: средняя годовая температура почвы изменяется от 3° до 5,5°С, атмосферного воздуха – 0,7°С с сезонными колебаниями 81-87°С; средняя температура июля – +18,8°С (t_{max} +38°С), января – -17,2°С (t_{min} – 50°С); среднегодовое количество осадков варьирует 400-510 мм (за вегетационный период – 363 мм); высота снежного покрова – 15-78 см, с переходом в таежные и горные ландшафты увеличивается [7, 13].

По ботанико-географическому районированию территория расположена в пределах Инско-Томского таежно-лесостепного района, представляет лесостепь с сосново-березовыми лесами и послелесными лугами, луговыми степями с переходом к осиново-березовым и пихтовым лесам предгорий. Лесистость района ранее составляла 30-50%, распаханность почв – более 65% [10], в данный момент естественные растительные сообщества и почвенный покров деградированы либо нарушены.

Район относится к зоне с высокой пылевой нагрузкой [2, 10]. Поступление металлов происходит на поверхность почвенного покрова с газопылевыми выбросами в ходе производимых взрывных работ, поэтому наибольший интерес вызывает оценка содержания элементов на поверхности почв, поэтому отбор образцов проведен на глубине от 0 до 20 см в 5-кратной повторности по каждому типу. Из показателей определяли: рН потенциометрически, валовое содержание гумуса по И.В. Тюрину, азот общий титриметрическим методом, гранулометрический состав ареометрическим методом по Н.К. Качинскому [14], валовое содержание тяжелых металлов методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии

в Испытательном центре ФГБУ ЦАС «Кемеровский» и лабораториях ООО «Научно-проектный ВостНИИ», ОАО «Западно-Сибирский испытательный центр».

Для определения степени variability основных почвенных свойств и элементов-загрязнителей использованы подходы, применяемые для оценки пространственной изменчивости свойств природных почв, которые основаны на расчете коэффициентов вариации [15, 16] с использованием программы «STATISTIKA».

Техногенный ландшафт есть результат техногенной трансформации естественного ландшафта со всем его комплексом почвенных типов. Пространственная структура нативного почвенного покрова связана с проявлением закономерности повторяющихся факторов почвообразования и взаимосвязями их почвенных процессов [10, 13]. Техногенные грунты отвалов угольных разрезов, в отличие от материнских горных пород, на которых формировались в течение длительной эволюции конкретные типы почв, представляют хаотичную смесь вскрышных и вмещающих горных пород, образованную при неселективном способе отвалообразования [2, 11]. Это каркас, который определяет общую пространственную мозаичную структуру формирующегося почвенного покрова техногенного ландшафта, выраженную в неоднородности рельефа и состава почвообразующих пород [11], с парцеллярной структурой растительных группировок, в условиях самозарастания отвалов [12], отличается по своим физико-химическим параметрам от смежных почв нативного ландшафта (табл. 1).

Особенности распределения кислотности почвенной среды, гумусонакопление, гранулометрический состав взаимосвязаны между собой [11, 13, 17, 18], определяют не только генезис и типовые различия почв, но и влияют на аккумуляцию тяжелых металлов [3, 4, 5, 6, 8, 9], наблюдения за которыми обязательны во всех средах как за приоритетными загрязняющими веществами. К ним относят более 40 химических элементов, масса атомов которых составляет свыше 50 атомных единиц массы (а.е.м.) – V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Bi и др. [8] и с плотностью более 8 г/см³ – Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg [19]. Кроме того, к тяжелым металлам относят элементы-неметаллы, например As, Se, а также Be, F и другие элементы, атом-

Таблица 1

Общеэкологические свойства почв естественных и техногенных ландшафтов

General ecological properties of soils of natural and man-made terrains

| Тип почвы | Наименование показателя | | | | |
|-----------|-------------------------|--------------|------------------------|-------------|---|
| | рН (вод) | рН (сол) | Валовое содержание (%) | | Содержание фракции < 0,01 мм (%) / разновидность почв |
| | | | Гумус | Азот общий | |
| Чоп | 6,40 ± 0,23 | 5,28 ± 0,31 | 7,57 ± 1,06 | 0,41 ± 0,02 | 37,9/ среднесуглинистые |
| ЛЗ | 5,96 ± 0,47 | 4,44 ± 1,83 | 6,49 ± 0,82 | 0,45 ± 0,07 | 35,5/ среднесуглинистые |
| Л2 | 5,44 ± 0,27 | 4,07 ± 0,47 | 4,71 ± 1,69 | 0,32 ± 0,03 | 32,7 / среднесуглинистые |
| Чл | 6,52 ± 0,13 | 5,13 ± 0, 23 | 9,16 ± 0,17 | 0,25 ± 0,02 | 40,2 /тяжелосуглинистые |
| Бл | 6,68 ± 0,37 | 5,19 ± 0,45 | 10,73 ± 2,1 | 0,66 ± 0,07 | 33,9 / среднесуглинистые |
| Эм1 | 8,65 ± 0,12 | 7,4 ± 0,1 | 4,52 ± 0,78 | 0,14 ± 0,01 | 31,6 / среднесуглинистые |
| Эм2 | 8,90 ± 0,14 | 7,8 ± 0,1 | 4,06 ± 0,66 | 0,15 ± 0,01 | 25,6 / легкосуглинистые |
| Эм3 | 8,72 ± 0,13 | 7,3 ± 0,1 | 4,40 ± 1,04 | 0,13 ± 0,01 | 44,2 /тяжелосуглинистые |
| Эм4 | 8,96 ± 0,13 | 7,6 ± 0,1 | 3,56 ± 0,75 | 0,11 ± 0,01 | 29,8 / легкосуглинистые |
| Эм5 | 8,88 ± 0,12 | 7,4 ± 0,1 | 4,04 ± 0,66 | 0,14 ± 0,01 | 35,4 / среднесуглинистые |

ная масса которых меньше 50 а.е.м. [8]. В качестве критериев принадлежности используются многочисленные характеристики: атомная масса, плотность, распространенность в природной среде, степень вовлеченности в природные и техногенные циклы [5, 9, 20]. При этом немаловажную роль в определении категории тяжелых металлов играют следующие условия: их высокая токсичность для живых организмов в относительно низких концентрациях, а также способность к биоаккумуляции и биомагнификации [3, 8, 9, 21]. Сорбируясь на поверхности почвенных частиц, металлы связываются с органическим веществом почвы, в частности в виде элементарно-органических соединений, аккумулируются в гидрооксидах железа, входят в состав кристаллических решеток глинистых минералов, находятся в растворенном состоянии в почвенной влаге и в газообразном состоянии почвенного воздуха [3, 4, 5], являются частью почвенной биоты [6].

Из тяжелых металлов выделяют особо токсичные элементы, которые относят к критической группе веществ – индикаторов стресса окружающей среды: Hg, Pb, Cd, Se, Zn, F и As, среди них особо опасные Hg, Pb, Cd [8, 20], являющиеся химическими веществами I класса опасности. Оценка критерия уровня их загрязнения приводится в соответствии с фоновым содержанием и значением их предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) в соответствии с гранулометрическим составом (табл. 2).

Попадая на поверхность почв, тяжелые металлы благодаря наличию ряда почвенных компонентов (глинистые минералы, оксиды железа и марганца, группы органического вещества) могут накапливаться либо рассеиваться в зависимости от характера геохимического барьера, свойственного данной территории [3, 4, 5, 6, 9, 20, 21].

Проведенный анализ не выявил превышение ПДК по валовым формам Hg, Pb, Cd, Zn во всех исследуемых

почвах, что подтверждает полученные ранее данные [7, 19], за исключением мышьяка. Превышение As отмечено только для почв естественных ландшафтов: чернозем оподзоленный – 1,4 ПДК, темно-серая лесная – 2 ПДК, серая лесная – 2,2 ПДК, лугово-черноземная – 2,5 ПДК, лугово-болотная – 2,6 ПДК, что объясняется несколькими причинами. Почвы естественных ландшафтов находятся более длительное время под влиянием техногенного прессинга, почвы техногенных ландшафтов являются более молодыми образованиями (не более 10 лет), возраст которых исчисляется от момента завершения отсыпки отвала [11]. Мышьак найден во всех компонентах окружающей среды и образует различные органические (метиларсениды) и неорганические (арсенат и арсенит) соединения, формы которых определяются условиями редукции [3, 9, 21]. В незагрязненных почвах его количество меньше 6 мкг/кг, в горных породах – глинах – 3-12 мг/кг, в ариллитах – 3-10 мг/кг [21]. Мышьак как подвижный элемент подвержен различным физико-химическим процессам. В переувлажненных условиях или подъеме уровня грунтовых вод образуются восстановительные условия, что увеличивает концентрацию мышьяка [9, 21]. Темно-серые и серые лесные почвы приурочены к нижним частям пологих склонов, лугово-черноземные и болотные почвы занимают межувальные пониженные элементы рельефа балок и логов, что определяет условия их переувлажнения и способствует аккумуляции мышьяка. В эмбриоземах техногенного ландшафта превышение ПДК не отмечено, но его присутствие определяет необходимость ведения контроля за его содержанием, что связано рН-зависимостью As и способностью к снижению адсорбции в условиях изменения рН в щелочную сторону [21].

Степень подвижности тяжелых металлов зависит от геохимической обстановки и уровня техногенного воз-

Таблица 2

Содержание валовых форм химических элементов в почвах естественных и техногенных ландшафтов с учетом фона (в мг/кг)

Content of bulk forms of chemical elements in soils of natural and man-made terrains with account of background quantities (in mg/kg)

| Тип почвы | Наименование показателя | | | | |
|--|-------------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| | Ртуть | Свинец | Кадмий | Цинк | Мышьак |
| Чоп | < 0,1 | 11,67 ± 0,65 | 0,11 ± 0,02 | 64,25 ± 8,91 | 6,96 ± 2,84 |
| Л3 | < 0,1 | 16,01 ± 2,50 | 0,34 ± 0,16 | 90,64 ± 5,27 | 10,19 ± 0,81 |
| Л2 | < 0,1 | 16,99 ± 1,43 | 0,45 ± 0,06 | 83,62 ± 2,58 | 10,82 ± 0,48 |
| Чл | < 0,1 | 15,90 ± 2,67 | 0,25 ± 0,02 | 83,08 ± 2,98 | 12,62 ± 1,07 |
| Бл | < 0,1 | 12,94 ± 0,38 | 0,11 ± 0,01 | 78,19 ± 1,95 | 13,19 ± 1,31 |
| Эм1 | < 0,1 | 12,22 ± 3,61 | 0,09 ± 0,01 | 51,88 ± 1,16 | 3,50 ± 0,69 |
| Эм2 | < 0,1 | 10,15 ± 0,94 | 0,08 ± 0,01 | 50,46 ± 5,38 | 3,46 ± 0,73 |
| Эм3 | < 0,1 | 18,78 ± 0,96 | 0,12 ± 0,01 | 44,78 ± 6,50 | 3,72 ± 0,71 |
| Эм4 | < 0,1 | 12,72 ± 2,30 | 0,11 ± 0,01 | 49,60 ± 7,19 | 3,24 ± 0,72 |
| Эм5 | < 0,1 | 13,76 ± 4,29 | 0,33 ± 0,02 | 49,76 ± 5,20 | 3,30 ± 0,76 |
| ПДК (мг/кг) | 2,1 | He уст. | He уст. | He уст. | He уст. |
| ОДК песчаных и супесчаных | He уст. | 32,0 | 0,5 | 55 | 2,0 |
| ОДК кислых, рН КСІ < 5,5 суглинистых и глинистых | He уст. | 65,0 | 1,0 | 110 | 5,0 |
| ОДК рН КСІ > 5,5 близкие к нейтральным, нейтральные, суглинистые и глинистые | He уст. | 130,0 | 2,0 | 220 | 10,0 |

действия. Тяжелый гранулометрический состав и высокое содержание органического вещества приводят к закреплению тяжелых металлов. В окислительных условиях в кислой среде Cu, Zn, Ni, Hg, Pb более подвижны, чем в нейтральной или щелочной, а Mo, Se, V более подвижны в щелочной [5, 8]. Рост pH-среды для большинства элементов увеличивает подвижность и миграционную способность. Для понимания взаимосвязи общехимических свойств почв и элементов-загрязнителей необходима оценка пространственного изменения. Мерой абсолютной вариабельности почвенных свойств является дисперсия или корень из дисперсии, стандартное отклонение. Однако эти показатели имеют размерность квадрата случайной величины, что не позволяет сравнивать по степени вариабельности разноименные величины, поэтому наиболее корректен коэффициент вариации [15]. Установлено, что коэффициенты вариации для физических свойств ниже, чем для химических, также менее вариабельны такие стабильные почвенные свойства, как структура, минералогический состав, мощность и другие, поэтому расчет произведен по показателям, которые отнесены к разным классам вариабельности [16] (табл. 3).

Высокая вариабельность отмечена для почв техногенных ландшафтов по содержанию физической глины в 1,7 раза, что связано с крайней неоднородностью гранулометрического состава вскрышных и вмещающих пород отвалов угольных разрезов в зоне почвообразования [11], и по содержанию гумуса в 1,2 раза, что объясняется асинхронностью обогащения техногенных элювиев органическим веществом, мозаичностью количества поступающей фитомассы, сформированной в ходе сукцессии сингенетичной растительной группировки [12], а также хаотичностью наличия примесей углстого материала в породах отвала [2, 11]. Новообразованные гумусовые вещества стабилизируются путем связывания с минеральными и органоминеральными частицами, наибольшую часть концентрирует ил и физическая глина [8, 11, 17, 18]. Высокая вариативность фракции физической глины в эмбриоземах определила высокую степень относительной вариации по токсичным элементам – по свинцу – в 1,9, цинку – в 1,3, и мышьяку – в 3,6 раза.

По кислотности почв и содержанию валового кадмия в соотношении усредненных коэффициентов вариации картина обратная. Наиболее стабильные условия среды характерны для эмбриоземов (все образцы сильнощелочной pH) и по кадмию. Данный элемент аккумуля-

лируется в гумусовом горизонте почв, и вынос его за пределы почвенного профиля невелик. Характер его распределения имеет много общего с распределением свинца [5, 8]. Однако кадмий закрепляется в профиле менее прочно. Максимальная адсорбция кадмия свойственна нейтральным и щелочным почвам с высоким содержанием гумуса и высокой емкостью поглощения [5], соответственно, в почвах легкого гранулометрического состава и обедненных гумусом процессы миграции кадмия усиливаются.

Степень вариабельности не определялась по ртути. Валовое содержание данного элемента не превышало ПДК и не изменялось по всем почвам, хотя рядом авторов ранее было выявлено во вмещающих породах угольных разрезов Кузбасса превышение валовых форм ртути в 3,4 ПДК [19].

Представление о пространственном варьировании содержания рассматриваемых тяжелых металлов дают их квантили как эффективный способ качественного анализа почвенных данных [15]. Показатель характеризует общий размах валовых форм загрязняющих веществ, обладающих разной подвижностью в почвенных растворах, так и непосредственно связанных с ними потенциально подвижных соединений этих же веществ в составе твердых фаз. Содержание последних характеризует способность загрязняющих веществ переходить в вытяжки разбавленных кислот, растворов солей и комплексообразователей [3, 5, 9, 21]. Различия в динамике поступления токсичных элементов и их закрепление вызывают большие различия в диапазоне размаха их содержания даже в географически сопряженных почвах (см. рисунок).

Пространственная вариабельность зависит от специфики почвообразовательных процессов и их баланса в пространстве и времени [15, 16]. Различия в материнских породах, в водном режиме, биологической активности, антропогенный фактор могут вызывать высокую вариабельность того или иного процесса. Величина изменчивости размахов валовых форм токсичных элементов выявлена с наибольшим асимметричным характером распределения для зональных почв нативного ландшафта.

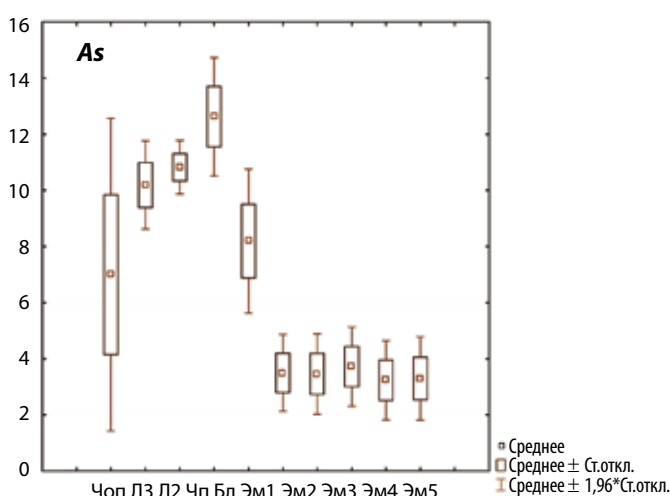
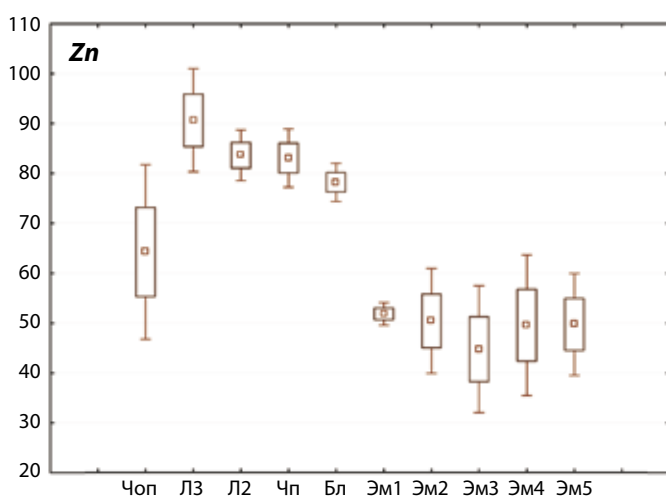
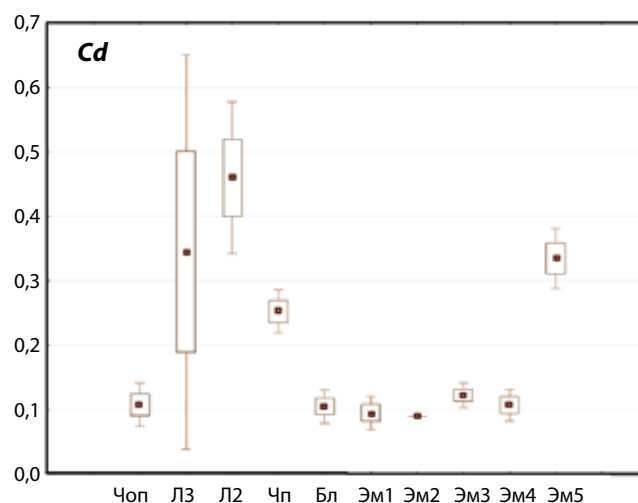
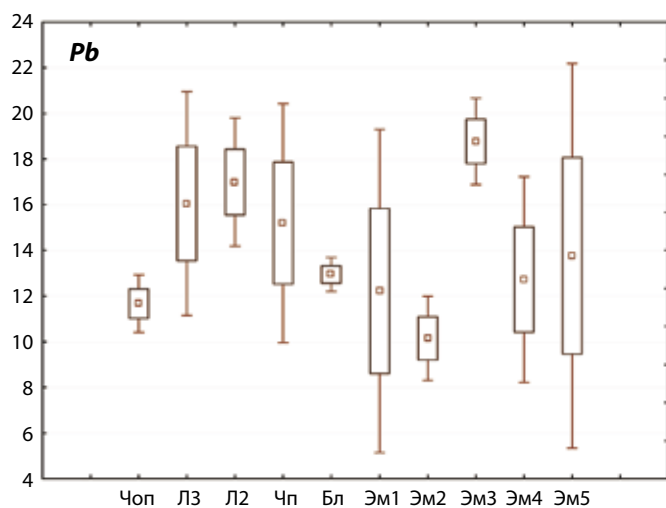
Для эмбриоземов резкий разброс и размах выявлены по валовой форме свинца. Это довольно широко распространенный элемент в природе, в органических почвах его средний срок исчисляется до тысяч лет, возможный диапазон колебаний составляет 2-200 мг/кг [8]; среднее содержание в земной коре – 16 мг/кг; усредненный пока-

Таблица 3

Коэффициент вариации некоторых свойств почв и валовых форм токсичных элементов, %

Coefficient of variation of some soil properties and bulk forms of toxic elements, %

| Показатели | Типы почв | | | | | | | | | |
|------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Чоп | ЛЗ | Л2 | Чл | Бл | Эм1 | Эм2 | Эм3 | Эм4 | Эм5 |
| pH водная | 3,66 | 8,01 | 4,96 | 1,99 | 5,54 | 1,49 | 1,58 | 1,49 | 1,49 | 1,64 |
| Гумус | 14,06 | 12,57 | 35,87 | 1,89 | 19,16 | 17,09 | 16,21 | 23,56 | 21,08 | 16,75 |
| Фракция < 0,01мм | 6,35 | 4,56 | 2,92 | 0,66 | 3,18 | 2,84 | 10,08 | 13,15 | 0,92 | 2,96 |
| Pb | 5,54 | 15,58 | 8,45 | 17,56 | 2,93 | 29,54 | 9,26 | 5,15 | 18,09 | 31,22 |
| Cd | 15,86 | 45,18 | 13,04 | 6,76 | 12,29 | 13,58 | 0,01 | 7,81 | 11,71 | 7,10 |
| Zn | 13,87 | 5,81 | 3,09 | 3,59 | 2,50 | 12,24 | 10,66 | 14,53 | 14,50 | 10,45 |
| As | 40,62 | 7,87 | 4,49 | 8,52 | 15,95 | 19,89 | 21,10 | 19,32 | 22,21 | 22,97 |



Квантили валового состава токсичных элементов в почвах естественных и техногенных ландшафтов: Чоп – чернозем оподзоленный, ЛЗ – темно-серая лесная, Л2 – серая лесная, Чл – лугово-черноземная, Бл – лугово-болотная, Эм1, Эм2, Эм3, Эм4, Эм5 – эмбриоземы.

Quantiles of the bulk composition of toxic elements in soils of natural and man-made terrains: Чоп – podzolized black earth soil, ЛЗ – dark gray forest soil, Л2 – gray forest soil, Чл – meadow-black earth soil, Бл – meadow-bog soil, Эм1-Эм5 – embryonic soils

затель по всем почвам России – 10 мкг/кг [9]; в черноземах Сибири – 17 мг/кг [5]; во вскрышных породах угольных разрезов Кузбасса – в пределах 10-51,7 мг/кг, во вмещающих – 2-22,6 мг/кг [19]. В почвах Pb проявляет сродство с различными компонентами. В малогумусных почвах органофильность Pb низкая [3, 9], и концентрация зависит от глинистых минералов и гранулометрического состава [5, 6]. Сильная вариабельность содержания фракции физической глины в эмбриоземах техногенных ландшафтов определила асимметричность распределения свинца на их поверхности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Антропогенные процессы, связанные с производством, приводят к существенной трансформации нативного почвенного покрова и усложнению структуры комбинации почвенных типов, формирующихся в современных условиях. Воздействие технологического процесса по разработке угольного месторождения реализуемое разрезом «Талдин-

ский» АО УК «Кузбассразрезуголь» будет проявляться не только в нарушении ландшафта, но и в загрязнении почв горного отвода токсичными элементами, а прилегающих территорий осажденными выбросами и в результате поступления с поверхностным стоком. Степень подвижности элементов зависит от геохимической обстановки и уровня техногенного воздействия. Многие металлы образуют довольно прочные комплексы с органикой. Тяжелый гранулометрический состав и высокое содержание органического вещества приводят к закреплению тяжелых металлов. С увеличением содержания фракции физической глины в ходе естественного разрушения и выветривания горных пород отвалов с постепенным накоплением органического вещества при существующей техногенной нагрузке возникает риск закрепления токсичных элементов. Опасность связана и со способностью металлорганических комплексов мигрировать в природных водах на весьма значительные расстояния, поэтому одной из главных задач системного комплексного подхода к исследованию почв

является изучение структуры системы, совокупности ее составных частей и выявление связи между ними.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Зональные почвы характеризуются высоким содержанием гумуса (4,71-10,73%) преимущественно с нейтральной и близкой к нейтральной реакцией среды, содержанием физической глины не ниже 30%, что определяет их буферную способность по отношению к тяжелым металлам.

2. Из почвенных свойств наибольшая степень вариабельности отмечена по содержанию гумуса у серых лесных почв, по кислотности – у темно-серых лесных, по содержанию фракции физической глины у эмбриоземов.

3. Почвы естественных и техногенных ландшафтов угольного разреза содержат валовые формы токсичных элементов (Hg, Pb, Zn, Cd) в количествах, не превышающих нормативные показатели ПДК.

4. Выявлено превышение ПДК валового As в зональных почвах в пределах 1,4-2,6 ПДК по следующему ряду: чернозем оподзоленный < темно-серая лесная < серая лесная < лугово-черноземная < лугово-болотная. В эмбриоземах содержание мышьяка ниже нормативных показателей, но щелочная рН почв техногенного ландшафта может проявиться в снижении адсорбции данного рН-зависимого элемента и увеличить его подвижность.

5. Степень вариабельности валового содержания тяжелых металлов изменяется в широких пределах: кадмий – темно-серые лесные (max 45,18%); цинк – чернозем оподзоленный (max 13,87%) и эмбриоземы с варьированием 10,45 – 14,53%; мышьяк – чернозем оподзоленный (max 40,62%) и эмбриоземы с варьированием 19,89 – 22,97%; свинец – эмбриоземы (max 31,22%).

6. Класс вариабельности валового содержания элементов изменяется от сильной к слабой, что можно выразить в следующих рядах: для зональных почв – Cd > As > Pb > Zn, для эмбриоземов – Pb > As > Zn > Cd.

7. Полученные данные определяют необходимость организовать систему наблюдений по мониторингу почв с целью выявления изменений состояния почвенного покрова под влиянием антропогенной деятельности. Результаты могут быть полезны при разработке проекта рекультивации данного отвала.

Список литературы

1. Подурец О.И. Современное состояние земельных ресурсов Кемеровской области и их использование // Региональные проблемы преобразования экономики. 2018. № 10. С. 146-155.
2. Пути повышения эффективности и экологической безопасности открытой добычи твердых полезных ископаемых. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2010. 254 с.
3. Водяницкий Ю.Н. Природные и техногенные соединения тяжелых металлов в почвах // Почвоведение. 2014. № 4. С. 420-432.
4. Sorption of heavy metals by humic acids of chestnut soil / A.N. Sabitova, B.B. Bayakhmetova, B.Kh. Mussabayeva et al. // Bulletin of the Karaganda University. Chemistry Series. 2020. № 3. P. 88-98.
5. Оценка экотоксичности почв в условиях загрязнения тяжелыми металлами / И.О. Плеханова, О.А. Золотарева, И.Д. Тарасенко и др. // Почвоведение, 2019. № 10. С. 1243-1258.
6. The accumulation of heavy metals by macromycetes in Brest region of the Republic of Belarus / T.N. Myslyva, N.V. Mikhanchuk, Yu.A. Bilyavskiy et al. // Mycology and Phytopathology. 2019. Vol. 53. No 4. P. 197-209.
7. Яковченко М.А., Каплина Е.В. Исследование содержания тяжелых металлов в почвенном покрове и изучение растительности на территориях угольных предприятий Кемеровской области / Глобализация экологических проблем: прошлое, настоящее и будущее: сб. материалов науч.-практич. конфер. Кемерово: Издательство КузГТУ, 2017. С. 236-240.
8. Справочник по оценке почв / В.Ф. Вальков, Н.В. Елисеєва, И.И. Имгрунт и др. Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2004. 236 с.
9. Водяницкий Ю.Н., Плеханова И.О. Биогеохимия тяжелых металлов в загрязненных переувлажненных почвах (аналитический обзор) // Почвоведение. 2014. № 3. С. 273-282.
10. Подурец О.И. Структура почвенного покрова нативного и техногенно трансформированного ландшафта Талдинского угольного разреза Кузбасса / Фундаментальные и прикладные аспекты устойчивого развития ресурсных регионов: сб. материалов науч. конфер. Новокузнецк, 2023. С. 111-114.
11. Андроханов В.А., Курачев В.М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.
12. Podurets O.I. Breed dumps of coal mining production, as an object of study of post-technogenic soil-forming and phytocenotic processes // Norwegian Journal of development of the International Science. 2017. Vol. 1. No 4. P. 10-14.
13. Хмелев В.А., Танасиенко А.А. Почвенные ресурсы Кемеровской области и основы их рационального использования. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2013. 477 с.
14. Аринушкина Е.М. Руководство к химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 596 с.
15. Самсонова В.П. Пространственная изменчивость почвенных свойств: на примере дерново-подзолистых почв. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 160 с.
16. Wilding L.P., Bouma J., Don W. Goss Impact of spatial variability on interpretive modeling. Quantitative modeling of soil forming processes / SSSA Special Publication 39. 1994. PP. 62-75.
17. Гуркова Е.А., Соколов Д.А. Влияние гранулометрического состава на гумусообразование в почвах сухих степей Тувы // Почвоведение. 2022. № 1. С.106-118.
18. Shahbaz M., Kuzyakov Y., Heitkamp F. Decrease of soil organic matter stabilization with increasing inputs: Mechanisms and controls // Geoderma. 2017. Vol. 304. P. 76-82.
19. Содержание токсичных элементов во вскрышных и вмещающих породах угольных месторождений Кемеровской области / Н.В. Журавлева, О.В. Иваныкина, З.Р. Исмагилов и др. // Горный информационный аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 3. С.187-196.
20. Санитарные правила и нормы. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. СанПиН 2.1.7.3685-21. 2021. 469 с.
21. Путилина В.С., Галицкая И.В., Юганова Т.И. Поведение мышьяка в почвах, горных породах и подземных водах. Трансформация, адсорбция / десорбция, миграция: аналитический обзор. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2011. Сер. Экология. Вып. 97. 249 с.

Original Paper

UDC 622.271:622.85 © O.I. Podurets, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 10, pp. 51-58
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-10-51-58>

Title

SPATIAL VARIABILITY OF THE CONTENT OF HEAVY METALS IN THE SOIL COVER UNDER THE INFLUENCE OF A COAL MINING ENTERPRISE

Authors

Podurets O.I.¹¹ KSPI FGBOU VO "Kemerovo State University", Novokuznetsk, 6546041, Russian Federation

Authors Information

Podurets O.I., PhD (Biological), Associate Professor,
 Associate Professor of the Department of Natural Sciences,
 e-mail: glebova-podurets@mail.ru

Abstract

Open field development dynamically transforms and complicates the structure of the soil cover. Zonal soils, which have retained their natural composition, and young man-made soils – embryozems, formed under conditions of self-pasting on the dumps of the Taldinsky coal mine, are located in the zone of high dust load and are located in the vicinity of pollution sources. To assess the spatial variability of properties, pH, humus, fraction of physical clay and gross forms of elements belonging to the critical group of substances – indicators of environmental stress: Hg, Pb, Cd, Zn and As were taken into account. It follows from the results that soils contain gross forms of toxic elements in quantities not exceeding the normative indicators, with the exception of As with an excess of up to 2.6 MPC in zonal soils. The content of arsenic in embryozems is lower than the normative indicators, but it has been suggested that the alkaline pH of the soils of the technogenic landscape may manifest itself in reducing the adsorption of this pH-dependent element, and increase its mobility, which must be taken into account when developing a project for the reclamation of this dump. The variability class of gross element content varies from strong to weak, which can be expressed in the following rows: for zonal soils Cd > As > Pb > Zn, for embryozems Pb > As > Zn > Cd.

Keywords

Soils, Technogenic landscape, Pollution, Toxic elements.

References

- Podurets O.I. The current state of land resources of the Kemerovo region and their use. *Regionalnye problemy preobrazovaniya ekonomiki*, 2018, (1), pp. 146-155. (In Russ.).
- Ways to improve the efficiency and environmental safety of open mining. Novosibirsk: publishing house SB RAS, 2010, 254 p. (In Russ.).
- Vodyanitsky Yu.N. Natural and technogenic compounds of heavy metals in soils. *Pochvovedenie*, 2014, (4), pp. 420-432. (In Russ.).
- Sabitova A.N., Bayakhmetova B.B., Mussabayeva B.Kh., Orazhanova L.K. & Ganiyeva K.G. Sorption of heavy metals by humic acids of chestnut soil. *Bulletin of the Karaganda University. Chemistry Series*, 2020, (3), pp. 88-98.
- Plekhanova I.O., Zolotareva O.A., Tarasenko I.D. & Yakovlev A.S. Assessment of ecotoxicity of soils in conditions of heavy metal pollution. *Pochvovedenie*, 2019, (10), pp. 1243-1258. (In Russ.).
- Myslyva T.N., Mikhalechuk N.V., Bilyavskiy Yu.A. & Nadtochiy P.P. The accumulation of heavy metals by macromycetes in Brest region of the Republic of Belarus. *Mycology and Phytopathology*, 2019, Vol. 53, (4), pp. 197-209.
- Yakovchenko M.A. & Kaplina E.V. Investigation of the content of heavy metals in the soil cover and the study of vegetation on the territories of coal enterprises of the Kemerovo region. Globalization of environmental problems: past, present and future: collection of materials of scientific and practical conference. Kemerovo, KuzSTU Publishing House, 2017, pp. 236-240. (In Russ.).
- Valkov V.F., Eliseeva N.V., Imgrunt I.I., Kazeev K.Sh. & Kolesnikov S.I. Handbook of soil assessment. Maykop, GURIPPE «Adygea» Publ., 2004, 236 p. (In Russ.).

9. Vodyanitsky Yu.N., Plekhanova I.O. Biogeochemistry of heavy metals in polluted waterlogged soils (analytical review). *Pochvovedenie*, 2014, (3), pp. 273-282. (In Russ.).

10. Podurets O.I. The structure of the soil cover of the native and technogenically transformed landscape of the Taldinsky coal mine of Kuzbass. Fundamental and applied aspects of sustainable development of resource regions: collection of materials of the scientific conference. Novokuznetsk, 2023, pp. 111-114. (In Russ.).

11. Androkhonov V.A. & Kurachev V.M. Soil-ecological state of technogenic landscapes: dynamics and assessment. Novosibirsk, Publishing house SB RAS, 2010, 224 p. (In Russ.).

12. Podurets O.I. Breed dumps of coal mining production, as an object of study of post-technogenic soil-forming and phytocenotic processes. *Norwegian Journal of development of the International Science*, 2017, Vol. 1, (4), pp. 10-14.

13. Khmelev V.A. & Tanasienko A.A. Soil resources of the Kemerovo region and principles of their rational use. Novosibirsk, Publishing house SB RAS, 2013, 477 p. (In Russ.).

14. Arinushkina E.M. Guide to chemical analysis of soils. Moscow, Publishing House of Moscow University, 1970, 596 p. (In Russ.).

15. Samsonova V.P. Spatial variability of soil properties: On the example of sod-podzolic soils. Moscow, LKI Publishing House, 2008, 160 p. (In Russ.).

16. Wilding L.P., Bouma J. & Don W. Goss Impact of spatial variability on interpretive modeling. Quantitative modeling of soil forming processes. SSSA Special Publication 39, 1994, pp. 62-75.

17. Gurkova E.A. & Sokolov D.A. The influence of granulometric composition on humus formation in the soils of the dry steppes of Tuva. *Pochvovedenie*, 2022, (1), pp. 106-118. (In Russ.).

18. Shahbaz M., Kuzyakov Y. & Heitkamp F. Decrease of soil organic matter stabilization with increasing inputs: Mechanisms and controls. *Geoderma*, 2017, (304), pp. 76-82.

19. Zhuravleva N.V., Ivanykina O.V., Ismagilov Z.R. & Potokina R.R. Content of toxic elements in overburden and containing rocks of coal deposits of the Kemerovo Region. *Mining Information Analytical Bulletin*, 2015, (3), pp. 187-196. (In Russ.).

20. SanPiN 2.1.7.3685-21. Sanitary rules and regulations. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans. Approved by the Ministry of Justice of the Russian Federation, 2021, 469 p. (In Russ.).

21. Putilina V.S., Galitskaya I.V. & Yuganova T.I. Behavior of arsenic in soils, rocks and groundwater. Transformation, adsorption/desorption, migration: an analytical review. Novosibirsk, GPNTB SB RAS Publ., 2011, Ecology series, Is. 97, 249 p. (In Russ.).

For citation

Podurets O.I. Spatial variability of the content of heavy metals in the soil cover under the influence of a coal mining enterprise. *Ugol'*, 2023, (10), pp. 51-58. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2023-10-51-58](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-10-51-58).

Paper info

Received May 29, 2023

Reviewed September 14, 2023

Accepted September 26, 2023