

## **ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ КУЗНЕЦКОЙ КОТЛОВИНЫ**

Кемеровская область представляет собой промышленный конгломерат, центральную часть которой занимает территория Кузнецкой котловины с развитой угледобывающей отраслью, создающей мощное техногенное воздействие на компоненты окружающей среды, в частности, на почвенный покров. В работе обосновано экологическое состояние почвенных экосистем (естественных и техногенных), приуроченных к объектам угольной промышленности на территории Кузнецкой котловины. Дана сравнительная характеристика содержания подвижных форм тяжелых металлов (ТМ) (Pb, Cd, Cu, Zn, Mn, Ni, Co, Cr) в почвах естественных и техногенных ландшафтов. Установлено, что степень подвижности тяжелых металлов в почвах естественных экосистем определяется гранулометрическим составом, окислительно-восстановительным потенциалом (ОВП), кислотнo-основными свойствами, содержанием органического вещества. В отличие от естественных почв, основными факторами, обуславливающими уровень содержания подвижных форм тяжелых металлов в почвах техногенных экосистем, являются абиотические условия почвообразования (минералогический состав, соотношение крупнозема и мелкозема в почвенной массе) и степень выраженности органо-аккумулятивных процессов.

Проведена сравнительная оценка инактивирующей способности почв по отношению к поллютантам. Установлено, что почвы естественных и техногенных экосистем в отношении тяжелых металлов характеризуются различной буферной способностью. Меньшими показателями инактивирующей способности обладают почвы техногенных ландшафтов. В ряду техногенных почв минимальные значения буферной способности отмечены для эмбриоземов инициальных.

Полученные данные могут быть использованы в мониторинговых исследованиях с целью наблюдения за уровнем техногенной нагрузки на почвенные экосистемы Кузнецкой котловины и предотвращения негативных процессов в использовании земель.

**Ключевые слова:** Кузнецкая котловина, почвенные экосистемы, подвижные формы тяжелых металлов, буферная способность почв.

### **Актуальность**

Кузбасс – крупнейший из эксплуатируемых сегодня угольных бассейнов России, на долю которого приходится почти 40% общей добычи и более 70% добычи коксующихся углей. Территория Кузнецкой котловины, являясь частью Кузбасса, включает в себя большое количество промышленных комплексов по добыче и переработке полезных ископаемых, служащих источниками техногенного воздействия на компоненты окружающей среды. Одним из составляющих компонентов природного комплекса, подвергающегося более интенсивному влиянию техногенеза при эксплуатации угледобывающих предприятий, являются почвенные экосистемы. Именно этот компонент биосферы оказывается в менее выгодном положении, поскольку воспринимает на себя как механические нагрузки, так и химическое загрязнение. При добыче угля открытым и подземным способом происходит отчуждение почв и их специфическая деградация не только на территориях

горных отводов, но и на прилегающих естественных ландшафтах в результате аэротехногенного поступления токсикантов с угольной и промышленной пылью [1]–[6]. Мелкодисперсные частицы пыли, а вместе с ними токсичные элементы переносятся на десятки километров при ведении буровзрывных работ. В связи с этим, целью работы явились анализ содержания подвижных форм ТМ и выявление факторов и условий, влияющих на их поведение в почвах естественных и техногенных ландшафтов, расположенных вблизи объектов угольной промышленности в пределах Кузнецкой котловины, а также установление иммобилизационной активности исследуемых почв по отношению к загрязнителям.

### **Объекты и методы исследования**

Объектами исследования послужили почвы естественных и техногенных экосистем Кузнецкой котловины. Почвы естественных экосистем представлены, согласно классифика-

ции почв России, дерново-подзолистой глееватой, серой, темно-серой, черноземом глинисто-иллювиальным. Почвы техногенных экосистем, в соответствии с классификацией [7], представлены следующими типами эмбриоземов: инициальным, органо-аккумулятивным, дерновым, гумусово-аккумулятивным. Почвенные пробы отобраны на границах санитарно-защитных зон промышленных предприятий. Подвижные формы ТМ вытеснялись ацетатно-аммонийным буфером с рН 4,8 с последующим их определением атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре АS-3. Для оценки буферной способности почв [8] использованы результаты анализов их гумусово-аккумулятивных горизонтов.

### Обсуждение результатов

Известно, что существенное влияние на подвижность микроэлементов оказывает их химическая природа и свойства почв [9], [10].

Тяжелый гранулометрический состав исследуемых почв естественных экосистем, в частности, высокое содержание физической глины (43,0-54,6%) и ила (16,4-30,5%) в значительной мере определяют содержание и подвижность ТМ. Максимальная концентрация подвижных форм ТМ наблюдается в более тяжелых по гранулометрическому составу иллювиальных горизонтах, выступающих в качестве сорбционных геохимических барьеров на пути миграции металлов (Pb, Cu, Co), связанных с растворимыми формами гумусовых кислот.

Формы нахождения ТМ и их валентность, способность мигрировать в ландшафтах и в почвенном профиле, усваиваться растениями и выноситься с природными водами определяют реакция среды и ОВП. Исследуемые почвы естественных ландшафтов приурочены к элювиальному ландшафту лесостепного типа с рН раствора от 5,5 до 7,5, в связи с чем в условиях окислительной обстановки можно выделить две ассоциации ТМ: слабоподвижные (Pb, Cd, Ni, Cu, Co, Cr, Mn) и подвижные (Zn). Выявлено влияние щелочного барьера в черноземе глинисто-иллювиальном, возникающего на участках резкого повышения рН среды в слабокислой геохимической обстановке. При увеличении значения рН в карбонатных горизонтах происходит накопление катионогенных

химических элементов, активно мигрирующих в кислой и слабокислой среде (Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd).

Наряду со щелочным барьером, гумусовые горизонты также могут выступать в качестве геохимического барьера на пути миграции элементов за счет процессов комплексообразования [11]. Поскольку в качественном составе гумуса дерново-подзолистой глееватой почвы преобладают фульвокислоты, то именно в этих почвах наблюдается образование фульватных комплексов с ТМ, обладающих повышенной миграционной способностью. Преобладание гуминовых кислот в групповом составе гумуса серых, темно-серых почв и чернозема глинисто-иллювиального способствует образованию сложных гетерополярных солей с ионами тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu, Mn, Co), биогенно аккумулирующихся в верхней части почвенного профиля.

Как известно [12], основными факторами, определяющими уровень содержания и характер распределения микроэлементов в профиле почв техногенных экосистем, являются унаследованные от пород, слагающих отвалы, минералогический, гранулометрический составы, физико-химические и химические свойства, накопление органического вещества, абиотические условия почвообразования. Специфика формирования эмбриоземов определяется особенностями биогенных процессов и зависит от техногенной фазы формирования отвалов. При этом наибольшее значение имеют петрографический, минералогический, химический состав пород и формируемый рельеф.

В морфологическом отношении исследованные типы эмбриоземов характеризуются слабой степенью морфологической дифференциации минеральной части почвенного профиля на генетические горизонты и различаются, главным образом, по морфологии и генезису биогенных горизонтов, которые в молодых почвах являются типодиагностическими. В эмбриоземах инициальных, являющихся начальными стадиями развития почв техногенных ландшафтов, органогенные горизонты отсутствуют. Однако, в связи с их формированием на вскрышных породах, богатых углистыми частицами, содержание углерода достигает значительных величин – 5,3%. В отличие от инициальных, в

профиле органо-аккумулятивных эмбриоземов присутствует органогенный горизонт подстилки древесного и травянистого опада, мощностью не более 1 см. Наряду с углеродом, обусловленным присутствием углистых частиц, в данном типе эмбриоземов происходит биогенное накопление углерода, достигающего 11,7%. На дерновой стадии эволюции эмбриоземов под влиянием процессов гумификации происходит преобразование физических и химических свойств исходного субстрата. Несмотря на присутствие углистых частиц и детрита, которые вносят свою долю в увеличение содержания органического вещества, концентрация гумуса составляет 8,3%. Гумусово-аккумулятивные эмбриоземы – это наиболее развитые эмбриоземы техногенных ландшафтов. Наряду с дерновым горизонтом морфологически выделяется гумусово-аккумулятивный горизонт, в котором в среднем содержится 16% углерода.

По гранулометрическому составу эмбриоземы относятся к среднесуглинистым и легкосуглинистым разновидностям. Тонкие фракции эмбриоземов унаследованы от вскрышных пород, представленных широко распространенными на территории Кузнецкой котловины покровными суглинками и глинистыми отложениями. Эмбриоземы характеризуются среднекислой реакцией среды. Сумма обменных катионов в техногенных почвах колеблется от 9,2 мг\*экв/100 г (инициальный эмбриозем) до 39,5 мг\*экв/100 г

(гумусово-аккумулятивный эмбриозем), что связано с усилением роли гипергенных процессов и одновременным увеличением интенсивности биоаккумулятивных.

Анализ полученных результатов по содержанию подвижных форм ТМ в эмбриоземах (табл. 1) позволяет сделать заключение о том, что интенсивного накопления ТМ в почвах техногенных экосистем не происходит. Их концентрации не превышают значений ПДК, что обусловлено невысоким содержанием мелкозема в составе почвенной массы, слабой степенью выраженности гумусово-аккумулятивных процессов и малой емкостью катионного обмена. Кроме того, на уровень и характер накопления ТМ большое влияние оказывает состав горных пород исследуемой территории [13].

Основываясь на данных об инактивирующем влиянии свойств и состава почвы, проведена оценка показателя эколого-геохимического состояния почвенных экосистем – иммобилизационной активности почв по отношению к ТМ, выраженной в баллах (табл. 2). Этот параметр позволяет оценить способность почв выступать в качестве буфера на пути миграции поллютантов как в радиальном, так и латеральном направлениях.

На основе расчетных данных, учитывающих гранулометрический состав почв, количество органического вещества, кислотность почвенного раствора, содержание полторных

Таблица 1 – Содержание подвижных форм ТМ в эмбриоземах, мг/кг

Горизонт	Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Ni	Co	Cr
Эмбриозем инициальный								
C	2,23	0,13	2,30	12,5	25,2	0,51	0,24	0,71
Эмбриозем органо-аккумулятивный								
A0	Не опред.							
C1	1,16	0,04	0,08	0,11	0,73	0,11	0,40	0,25
C2	0,78	0,01	0,07	0,05	0,81	0,49	0,52	0,85
Эмбриозем дерновый								
Ad	0,88	0,03	0,09	1,54	38,6	0,24	0,90	0,63
C1	2,43	0,04	0,08	1,45	38,0	0,47	1,22	0,73
C2	1,75	0,06	0,07	0,82	27,7	0,69	1,53	0,61
Эмбриозем гумусово-аккумулятивный								
Ad	1,89	0,08	0,06	1,06	34,1	0,31	0,04	0,68
A1	1,15	0,04	0,07	0,75	28,1	0,30	0,07	0,26
C	0,77	0,05	0,07	0,18	37,1	0,40	0,67	0,19
ПДК подвижных форм ТМ в почвах, мг/кг (ГН 2.1.7.2041-06)								
	6,0	1,0	3,0	23,0	100-140	4,0	5,0	6,0

Таблица 2 – Буферная способность почв естественных и техногенных ландшафтов по отношению к ТМ

Почвы	Сумма баллов	Степень буферности	Сумма баллов	Степень буферности
	для элементов, подвижных в кислой среде (Zn, Pb, Cd, Ni, Hg, Cu, Sr, Mn, Co)		для элементов, подвижных в щелочной среде (Mo, Cr, As, V, Se)	
дерново-подзолистая глееватая	22,5	средняя	30	средняя
серая	33	повышенная	35,5	повышенная
темно-серая	33,5	повышенная	41	высокая
чернозем глинисто-иллювиальный	36	повышенная	38,5	повышенная
эмбриоземы: инициальный	20	низкая	27,5	средняя
органно-аккумулятивный	24	средняя	31,5	повышенная
дерновый	20,5	средняя	33	повышенная
гумусово-аккумулятивный	21,5	средняя	34	повышенная

оксидов и карбонатов, можно заключить, что исследованные почвы естественных экосистем Кузнецкой котловины в основном обладают повышенной способностью противостоять загрязнению ТМ. Степень буферности к элементам, подвижным в щелочной среде, изменяется в диапазоне от средней в дерново-подзолистой глееватой почве до высокой в темно-серой. Показатели устойчивости к загрязнению для элементов, подвижных в кислой среде, возрастают в ряду от почв подзолистого типа почвообразования к черноземам и изменяются в диапазоне от 22,5 до 36 баллов.

В условиях техногенеза почвы выступают в качестве мощной буферной системы, сдерживающей антропогенное нарушение баланса химических элементов в биосфере [14], [15]. Экологический потенциал почв, с одной стороны, обеспечивает необходимый резерв питательных элементов, а с другой, – способствует сохранению, за счет инактивации поступающих загрязняющих веществ, необходимую экологическую среду обитания. Инактивирующая способность почв техногенных ландшафтов по сравнению с естественными почвами оценивается более низкими показателями (табл. 2). Буферная способность почв техногенных экосистем увеличивается в направлении от эмбриозем

ма инициального к гумусово-аккумулятивному, что обусловлено усилением вклада в данном эволюционном ряду содержания мелкозема и органической компоненты.

#### Заключение

Основываясь на проведенном эколого-геохимическом анализе почв естественных экосистем Кузнецкой котловины, можно заключить, что степень подвижности ТМ определяется гранулометрическим составом, ОВП, кислотно-основными свойствами, содержанием органического вещества. В отличие от естественных почв, основными факторами, определяющими уровень содержания подвижных форм ТМ в почвах техногенных экосистем, являются абиотические условия почвообразования (минералогический состав, соотношение крупнозема и мелкозема в почвенной массе), степень выраженности органно-аккумулятивных процессов.

Почвы естественных и техногенных экосистем обладают различной буферной способностью по отношению к ТМ. Установлено, что меньшая инактивирующая способность характерна для почв техногенных ландшафтов. В ряду техногенных почв минимальные значения буферной способности отмечены для эмбриозем инициальных.

12.09.2017

**Список литературы:**

1. Овсянникова С.В. Региональный мониторинг почв Кузнецкого угольного бассейна по накоплению подвижных форм тяжелых металлов / С.В. Овсянникова, В.П. Середина // Вестник КрасГАУ. – № 10. – 2014. – С. 49-54.
2. Середина В.П. Особенности поведения подвижных форм тяжелых металлов в почвах Кузбасса / В.П. Середина, А.Н. Шайхутдинова, С.В. Овсянникова // Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы Южного Урала» (Оренбург, 22-23 октября 2015 г.). – 2015. – № 10. – С. 236-239.
3. Guisti L. Heavy metals in urban soils of Bristol (UK). Initial screening for contaminated land / L. Guisti // J. Soils Sediments. – 2011. – V. 11. – P. 1385-1398.
4. Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability / edited by Brian J. Alloway. Imprint: Springer. – 2013. – 613 p.
5. Soil Degradation, Conservation and Remediation / edited by Khan Towhid Osman. Imprint: Springer. – 2014. – 237 p.
6. Shirkin L.A. The heavy metals migration from industrial wastes in soils / L.A. Shirkin, T.A. Trifonova, N.V. Selivanova, D. Gruzdkov // The International Conference on Soils Urban Industrial, Traffic and Mining Areas, Nanjing, China. – 2007. – P. 18-27.
7. Курачев В.М. Классификация почв техногенных ландшафтов / В.М. Курачев, В.А. Андроханов // Сибирский экологический журнал. – 2002. – № 3. – С. 255-261.
8. Ильин В.Б. Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам / В.Б. Ильин // Агрохимия. – 1995. – № 10. – С. 109-113.
9. Hooda P.S. A special issue on heavy metals in soils: editorial foreword / P.S. Hooda // Adv. Environ. Res. – 2003. – V. 8. – P. 1-3
10. Linde M. Effects of changed soil conditions on the mobility of trace metals in moderately contaminated urban soils / M. Linde, I. Oborn, J.P. Gustafsson // Water Air Soil Poll. – 2007. – V. 183. – P. 69-83.
11. Gillet S. Humus forms and metal pollution in soil / S. Gillet, J.F. Ponge // European Journal of Soil Science. – 2002. – V. 53. – P. 529-540.
12. Клышевская С.В. Исследование микроэлементного состава почв естественных и нарушенных экосистем / С.В. Клышевская // Регионы нового освоения: экологическая политика в стратегии развития. Хабаровск. – 2013. – С. 208-210.
13. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири / А.И. Сысо // Новосибирск : Изд-во СО РАН. – 2007. – 274 с.
14. Brown G.E. Mineral surface and bioavailability of heavy metals: A molecular scale perspective / G.E. Brown, A.L. Foster, J.D. Ostergren // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 1999. – V. 96. – P. 3388-3395.
15. Villen-Guzman M. Effects of the buffering capacity of the soil on the mobilization of heavy metals. Equilibrium and kinetics / M. Villen-Guzman, J.M. Paz-Garcia, G. Amaya-Santos, J.M. Rodriguez-Maroto, C. Vereda-Alonso, C. Gomez-Lahoz // Chemosphere. – 2015. – V. 131. – P. 78-84.

**Сведения об авторах:**

**Акинина Анастасия Нургалиевна**, аспирантка кафедры почвоведения и экологии почв  
Национального исследовательского Томского государственного университета  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, Биологический институт

**Середина Валентина Петровна**, профессор кафедры почвоведения и экологии почв  
Национального исследовательского Томского государственного университета,  
доктор биологических наук, профессор  
E-mail: Seredina\_V@mail.ru

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, Биологический институт, тел. (3822)529654

**Овсянникова Светлана Васильевна**, доцент кафедры автомобильных дорог и городского кадастра  
Кузбасского государственного технического университета им. Н.Ф. Горбачева,  
кандидат биологических наук, доцент  
E-mail: sv\_ovsyannikova@mail.ru

650000, Россия, г. Кемерово, ул. 50 лет Октября, 19, Строительный институт, тел. (3842)396322