

УДК 631.618:631.04: 504.064.

## МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОЧВ НА ОТВАЛАХ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД ПАВЛОВСКОГО УГЛЕРАЗРЕЗА ПРИМОРСКОГО КРАЯ

**Полохин О.В.**

*Биолого-почвенный институт ДВО РАН, Владивосток, e-mail: polokhin@mail.ru*

Представлены основные физико-химические параметры почв, формирующихся на отвалах вскрышных пород Павловского углеразреза Приморского края. Показано, что формирующиеся почвы на вскрышных отвальных породах наследуют пестроту валового содержания микроэлементов от «почвообразующих пород» слагающих тело отвалов. Результатом педогенеза к 30-летнему возрасту в основном является биогенная аккумуляция элементов-биофилов в верхних корнеобитаемых горизонтах. Установлено, что во вскрышных отвальных породах и формирующихся на них почвах содержание валовых и подвижных форм микроэлементов в большинстве случаев не превышает региональные, общероссийские кларки, а также установленные нормы ПДК и ОДК. Выявлено повышенное содержание Pb, Co, Y, Sc, Zr. Исследованные почвы по содержанию подвижных форм тяжелых металлов, растворимых в 1,0 н. растворе HCl, относятся к 1 и 2 группам (низкий уровень загрязненности). Учитывая малый период почвообразования и лесовосстановления на отвалах, можно предположить, что и в дальнейшем эти образования не будут представлять серьезной угрозы окружающей среде.

**Ключевые слова:** микроэлементы, почва, валовое содержание, подвижные формы микроэлементов, ПДК

## TRACE ELEMENT COMPOSITION OF SOILS ON OVERBURDEN DUMPS OF PAVLOVSKY COAL MINE OF THE PRIMORSKY TERRITORY

**Polokhin O.V.**

*Institute of Biology and Soil Sciences, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: polokhin@mail.ru*

The main physicochemical parameters of soils formed on dumps composed of overburden rocks Pavlovsky coal mine of the Primorsky Territory were represented. Emerging soil shall inherit the diversity of the total contents of trace elements from «deep subsoil» which consist of dump rocks was installed. It was shown that the increase in the labile forms of trace elements concentrations in the upper horizons of the embryozems was due to the higher intensity of the biological processes and the active weathering of the rocks transferred to the surface. Their content in the soils is proved not to exceed the regional background and the existing MPC and APC. The content of Pb, Co, Y, Sc, Z revealed to exceed its clarke value for the world soils, which is related to the natural origin of this elements. The contents of mobile forms of heavy metals low.

**Keywords:** trace elements, soil, total content, labile forms of trace elements, maximum permissible concentration

В Приморском крае значительное количество нарушенных земель является результатом применения открытых способов добычи полезных ископаемых, в частности бурого угля. При этом на дневную поверхность выносятся вскрышные и вмещающие породы. Неселективное (валовое) отвалообразование приводит к хаотичному смешению пород, различающихся по гранулометрическому, петрографическому, минералогическому составам. Большая часть отвалов остается под самозарастание и не рекультивируется. Породы, слагающие отвалы, являются литогенной основой и своеобразными «материнскими породами» для формирующихся почв, которые наследуют элементную основу этих пород. Эти породы медленно преобразуются в условиях гипергенеза и малоподатливы к внутрипрофильной дифференциации. В этой связи определение микроэлементного состава формирующихся почв, уровня содержания в них опасных в экологическом и санитарно-гигиеническом отношении элементов

является необходимым при изучении экологических условий проживания человека в районах месторождения [7]. Для Приморского края такие работы единичны [4, 5, 6]. Цель исследований – дать физико-химическую характеристику вскрышных пород, установить содержание подвижных и валовых форм микроэлементов в отвальных породах Павловского угольного разреза и оценить их возможное влияние на состояние природной среды.

### Материалы и методы исследования

Объектами исследований являлись почвы, сформированные на внешних 20-летнем и 30-летнем отвалах угольного разреза «Павловский-2», расположенного в Приморском крае в 20 км к северу от г. Уссурийска. Разрез разрабатывается открытым способом. 20-летний отвал геоморфологически представляет собой невысокие гряды гребневой формы и рассматривается как техногенная формирующаяся катена [8]. Отбор образцов осуществлялся на 20-летнем отвале на трансаккумулятивных (Р 1-11 Трансакк) и аккумулятивных (Р 2-11 Акк) элементах рельефа. 30-летний отвал был спланирован и представляет

собой бугристую плакорную возвышенность высотой 11–15 метров, отбор образцов произведен на уплотненной вершине отвала (Р 8-11). Содержание валовых форм микроэлементов определялось на рентгенофлуоресцентном спектрометре Shimadzu EDX 800 (Япония). Подвижные формы элементов определялись в 1,0 н солянокислой вытяжке на атомно-абсорбционном спектрофотометре Hitachi-0,5.

### Результаты исследования и их обсуждение

Избыточное содержание элементов-токсикантов (ТМ) и их соединений в почве оказывает угнетающее и токсическое действие на биоту. Вопрос о нормировании содержания ТМ в почве сложен и дискусионен. Один и тот же элемент, в зависимости от его вхождения в состав различных химических соединений, может оказывать разное воздействие на живые организмы. С учетом максимально возможного уровня опасности в России разработаны классы загрязняющих веществ по степени их опасности (ГОСТ 17.41.02–83): 1 класс – высокоопасные (Hg, Cd, Pb, Zn, As, Se, F); 2 класс – умеренно опасные (Cu, Co, Ni, Mo, Cr, В, Sb); 3 класс – малоопасные (V, W, Mn, Sr, Ba). Тяжелый гранулометрический состав и высокое содержание органического вещества приводят к связыванию ТМ почвой. Немаловажное значение имеют окислительно-восстановительные условия и уровень кислотности почвы [6].

Породы вскрыши Павловского углераза представлены четвертичными глинами, аллювиальными песчано-галечниковыми отложениями суйфунской свиты, аргиллитами, алевролитами, разнозернистыми песчаниками и пластами угля устьядавыдовской свиты [12]. Реакция среды от кислой до слабокислой. Степень насыщенности основаниями 60–85%. По гранулометрическому составу породы тяжелосу-

О (0–3 см) + Ад (3–7 см) + А1 (7–23 см) + ВС (23–30 см) +  
+ С1 (30–65 см) + С2 (65–100 см).

Дифференциация отмечается в основном в корнеобитаемом (0–20 см) горизонте. Переходные горизонты трудноопределяемые при морфологическом исследовании. Это объясняется, с одной стороны, слабым развитием процессов, а с другой – наличием в породах, слагающих отвалы, высокого содержания углистых частиц. Органическое вещество, образовавшееся на отвальных породах, способно прочно связывать тяжелые металлы, снижая их подвижность и тем самым уменьшая миграционные потоки их в окружающую среду. Плотность сложения верхних горизонтов 0,7–0,9 г/см<sup>3</sup> (0–10 см), вглубь увеличивается до 1,4 г/см<sup>3</sup>. Содержание

глинистые, легко и среднеглинистые [9, 10]. Такой гранулометрический состав пород резко снижает подвижность микроэлементов, что обусловлено удерживающей способностью пылевой и илистой фракций.

На отвалах Павловского углераза к 20-летнему возрасту на аккумулятивных позициях (Р 1-11) сформировались грубогумусово-аккумулятивные эмбриоземы под сомкнутыми сообществами со значительным участием рудеральных видов (клеверо-полынно-тростниково-разнотравное сообщество с преобладанием клевера лугового и тростника японского). Проективное покрытие 65–75%. На трансаккумулятивных позициях (Р 2-11) развиты гумусово-аккумулятивные эмбриоземы под вейниково-клеверо-полынно-разнотравными сообществами с проективным покрытием 80–85% и преобладанием вейника наземного и клевера лугового. Под данными типами растительности сформировались гумусово-аккумулятивные эмбриоземы с развитым гумусовым горизонтом небольшой мощности. Его образование сопровождалось агрегированием субстрата, дифференцированностью толщи пород по химическим, физико-химическим и физическим свойствам. Содержание гумуса в верхних горизонтах 3,9–4,1% с резким уменьшением в глубину до 1% в слое 15–20 см плотность сложения 0,69–0,81 (0,5 см), глубже увеличивается до 1,25–1,32 г/см<sup>3</sup>.

На 30-летнем отвале микрорельеф мелкобугристый с западинами. Отвал с юга, востока и севера окружен грядами увалов и конусовидными холмами из вскрышных и вмещающих пород, карьерные выемки между которыми заполнены водой. К 30-летнему возрасту на отвале сформировался лесной тип растительности с преобладанием тополя дрожащего. Формула профиля

гумуса по профилю уменьшается от 7% в слое 3–5 см до 1,1% на глубине 15 см. Кривая распределения общего органического углерода по профилю имеет вогнутый характер с резким падением с глубиной (аккумулятивный тип распределения). Верхние горизонты обеднены полуторными оксидами и обогащены оксидами биофильных элементов.

Было проведено определение 14 микроэлементов в мелкоземных почвах изучаемых отвалов. На основе полученных результатов были вычислены кларки концентраций элементов по отношению среднего содержания элементов в породах отвалов к среднему их содержанию в осадочных породах [1].

Таблица 1

Кларки концентраций (Кк) микроэлементов в почвах отвалов Павловского углеразреза

	F	Pb	Zn	Co	Ni	Cu	Cr	Sr	Ba	V	Mn	Y	Zr	Sc
P 1-11	0,66	<b>1,55</b>	0,76	<b>1,22</b>	0,30	0,57	0,94	0,26	0,64	0,71	0,92	<b>3,23</b>	<b>1,15</b>	<b>1,08</b>
P 2-11	0,66	<b>1,42</b>	0,74	<b>1,20</b>	0,29	0,57	0,98	0,28	0,63	0,67	0,84	<b>3,27</b>	<b>1,17</b>	<b>1,09</b>
P 8-11	0,70	0,59	0,93	0,73	0,19	0,19	0,88	0,16	0,50	0,39	<b>1,09</b>	<b>4,02</b>	<b>1,15</b>	–

Содержание валовых форм элементов сравнивалось с разработанными ПДК для России (ГН 2.1.7.2041–06) и ПДК для почв Дальнего Востока разработанными Головым В.И. [2, 3, 11], а также с ОДК (ГН 2.1.7.020–94) для кислых суглинистых и глинистых почв с  $pH_{КСЛ} < 5,5$ . Полученные результаты показывают, что на 20-летнем отвале в повышенных количествах (по сравнению с кларком в осадочных породах) находятся свинец (Кк 1,42–1,55) и кобальт (1,20–1,22) (табл. 1). На 30-летнем – марганец (1,09). В обоих отвалах повышено содержание иттрия (3,23–4,02), циркония (1,15–1,17) и скандия (1,09). Если сравнивать среднее содержание валовых форм

микроэлементов во вскрышных породах отвалов Павловского углеразреза с фоновыми для Приморского края [2, 3, 11], то наибольшие кларки концентраций отмечены для меди (Кк 0,86–1,65), кобальта (Кк 1,2–1,36), цинка (Кк до 1,06) и в отдельных случаях свинца (Кк может достигать значений 1,40). Содержание валовых форм микроэлементов не превышает установленных норм ПДК и ОДК.

Остальные микроэлементы находятся в количествах ниже их общероссийских кларков в осадочных породах и региональных средних содержаний валовых форм микроэлементов для почв Приморья.

По кларкам концентрации исследованные микроэлементы образуют следующий ряд:

$$Y > Pb > Zr > Co > Sc > Mn > Cr > Zn > F > Ba = V > Cu > Ni > Sr.$$

Таблица 2

Содержание валовых форм элементов в эмбриоземах техногенных ландшафтов и подвижность элементов (мг/кг/% от валового содержания)

Разрез	Глубина, см	Co	Ni	Zn	Cu	Mn	Pb
P 1-11 20 лет АКК	0–2	21,6/16,3	32,4/10,4	75,5/9,2	43,2/12,0	741,1/36,4	32,4/21,8
	2–5	22,0/11,7	22,0/13,5	66,1/7,0	44,1/11,8	673,7/37,2	33,1/19,4
	5–10	32,8/6,1	20,0/15,7	65,5/7,7	43,7/16,7	735,4/29,4	43,7/14,4
	10–15	32,8/5,2	21,9/13,1	65,6/7,0	43,7/11,8	744,2/28,5	21,9/25,9
	15–20	32,8/4,4	65,7/4,1	43,8/11,6	32,8/17,3	720,4/18,1	32,8/16,5
	20–30	21,4/7,6	32,1/8,1	53,5/9,4	21,4/21,5	571,7/19,8	32,1/14,6
	30–40	10,4/13,4	20,9/7,1	52,2/9,1	10,4/38,3	331,5/19,7	31,3/12,0
P 2-11 20 лет Тран-акк	0–2	23,0/15,3	23,0/17,3	68,9/16,8	23,0/25,6	595,8/42,4	34,5/19,3
	2–5	21,7/12,5	21,7/12,2	54,3/7,5	21,7/16,7	504,5/37,2	10,9/27,9
	5–10	21,4/8,0	32,1/7,3	53,5/9,1	32,1/14,7	472,5/39,1	32,1/16,2
	10–15	21,4/9,3	–/–	53,6/11,3	42,9/10,2	497,9/38,5	21,4/27,2
	15–20	32,1/7,1	32,1/8,5	64,2/9,3	42,8/12,3	753,6/31,5	42,8/13,8
P 8-11 30 лет	3–5	11,8/32,3	11,8/24,9	94,0/19,0	–/–	855,1/15,8	11,8/18,4
	5–10	10,7/16,0	21,4/6,3	64,3/13,7	10,7/23,6	356,9/30,8	11,8/–
	10–15	–/–	–/–	–/–	–/–	204,1/34,1	–/–
	15–20	21,3/3,4	21,3/3,7	63,9/15,5	10,6/38,6	337,7/28,8	–/–
ПДК /ОДК Россия		50	45/40	100/110	55/66	1500	200/65
ПДК ДВ		70	100	150	100	4000	300
ПДК, мг/кг 1н НСI подвижные (по Чулджиян и др., 1988)		12	36	60	50	600	60

Несмотря на пестроту вещественного состава пород и малый период почвообразования, наблюдается биогенная аккумуляция в корнеобитаемых горизонтах меди, марганца и цинка, физиологически важных для растений микроэлементов.

Наиболее информативным показателем экологической оценки почвенного покрова является содержание подвижных форм микроэлементов, способных, при определенных условиях, переходить из твердых фаз почв в почвенные растворы и мигрировать. Подвижные формы элементов, определяемые в 1,0 н солянокислой вытяжке, которая показывает фактор емкости (потенциально доступные формы), отражающий в первую очередь потенциальную опасность загрязнения растительной продукции, инфильтрационных и поверхностных вод. Это характеризует общую загрязненность почвы, но не отражает степени доступности элементов для растений. Эти данные показывают общее количество подвижной формы металла. В табл. 2 представлены результаты исследования почв по подвижным формам микроэлементов в эмбриоземах Павловского угольного разреза.

По величине средней подвижной концентрации микроэлементы образуют ряд:  $Mn > Pb > Cu > Ni > Zn > Co$ .

Большой подвижностью среди высокоопасных элементов выделяется свинец с содержанием подвижных форм элементов от 12 до 27% от валового. Количество подвижных форм цинка достигает 22% от валового содержания. Из второго класса опасности наибольшей подвижностью обладает медь, до 38% от валового содержания. Подвижность кобальта составляет в отдельных случаях до 32%, в основном же около 12% от валового содержания элемента. Среди элементов 3 класса опасности наибольшей подвижностью обладает марганец, до 42% от валового содержания. Высокое содержание подвижных форм свинца, цинка, меди, кобальта, при снижении значений рН, малом содержании гуминовых кислот могут негативно отразиться на геохимической обстановке прилегающих территорий. Тем не менее содержание подвижных форм всех исследуемых элементов не превышает предельно допустимых концентраций (Чулджиян и др., 1988). Так же, как и для почвообразующих пород юга России, можно отметить меньшую подвижность у цинка, по сравнению с медью и марганцем.

### Заключение

Формирующиеся почвы на вскрышных отвальных породах наследуют пестроту валового содержания микроэлементов от «по-

чвообразующих пород» слагающих тело отвалов. Результатом педогенеза к 30-летнему возрасту в основном является биогенная аккумуляция элементов-биофилов в верхних корнеобитаемых горизонтах.

Во вскрышных отвальных породах и формирующихся на них почвах содержание валовых и подвижных форм микроэлементов в большинстве случаев не превышает региональные, общероссийские кларки, а также установленные нормы ПДК и ОДК.

В техногенных ландшафтах Павловского угольного разреза почвы формируются на породах с невысокой санитарно-токсикологической опасностью. Учитывая малый период почвообразования и лесовосстановления на отвалах, можно предположить, что и в дальнейшем эти образования не будут представлять серьезной угрозы окружающей среде.

### Список литературы

1. Войткович Г.В. и др. Краткий справочник по геохимии. – М.: Недра, 1977. – 280 с.
2. Голов В.И., Асеева Т.А. Возможности оптимизации круговорота биофильных элементов на примере агроэкосистем Дальнего Востока // Вестник Российской Академии с/х наук. – 2010. – № 6. – С. 19–22.
3. Голов В.И. Круговорот серы и микроэлементов в основных агроэкосистемах Дальнего Востока. – Владивосток: Дальнаука, 2004.
4. Клышевская С.В. Исследование микроэлементного состава почв естественных и нарушенных экосистем // Регионы нового освоения: экологическая политика в стратегии развития. — Хабаровск, 2013. – С. 208–210.
5. Костенков Н.М., Клышевская С.В. Влияние тяжелых металлов отвальных пород угольных месторождений на окружающую среду бассейна р. Амур // Экологический риск и экологическая безопасность. Материалы III всероссийской научной конференции с международным участием. – Т. 2. – Иркутск. 2012. – С. 257–259.
6. Костенков Н.М., Клышевская С.В. Экологическая оценка содержания тяжелых металлов в отвальных породах Бикинского месторождения // Проблемы региональной экологии. – 2011. – № 6. – С. 76–80.
7. Махонина Г.И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. – 356 с.
8. Полохин О.В. Специфика преобразования минеральных форм фосфатов при почвообразовании в техногенных ландшафтах // Сибирский экологический журнал. – 2007. – № 5. – С. 843–847.
9. Полохин О.В., Пуртова Л.Н., Сибирина Л.Н., Клышевская С.В. Сингенетичность почв и растительности техногенных ландшафтов юга Приморья // Естественные и технические науки. – 2010. – № 5. – С. 164–166.
10. Пуртова Л.Н., Сибирина Л.А., Полохин О.В. Запасы растительного органического вещества и процессы гумусообразования в почвах техногенных ландшафтов на юге Приморья // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 3. – Вып. 3. – С. 535–538.
11. Характеристика агроземов Приморья. – Уссурийск: ФГУ ГЦАС «Приморский», ДВО ДООП РАН, 2001. – 172 с.
12. Шкабарня Н.Г., Гарбузов С.П. Сопутствующие полезные компоненты Павловского бурогоугольного месторождения (Приморье) // Вологодские чтения. – 2002. – № 24. – С. 16–17.

13. Polokhin O.V., Purtova L.N., Semal V.A., Sibirina L.A., Klyshevskaya S.V. Specifics of soil forming and vegetation restoration of man-made landscapes of the south of the Far East of Russia // *Life Science Journal*. – 2014. – Vol. 11. – № 12s. – P. 438–441.

### References

1. Vojtkovich G.V. *Kratkij spravochnik po geohimii*. M.: Nedra. 1977.

2. Golov V.I., Aseeva T.A. Possibilities of optimization of circulation the biofilnykh of elements on the example of agroecosystems of the Far East, *Bulletin of the Russian Academy of agricultural sciences*, 2010, no. 6, pp. 19–22.

3. Golov V.I. *Krugovorot sery i mikroelementov v osnovnykh agrojekosistemah Dal'nego Vostoka*. Vladivostok, Dal'nauka, 2004.

4. Klyshevskaja S.V. Research of the microelement composition of soils in natural and disturber ecosystems, *Conference with International Participation «Regions of New Development: Ecological Policy in Development Strategies»*, Khabarovsk, IWEP FEB RAS, 2013, pp. 208–209.

5. Kostenkov N.M., Klyshevskaja S.V. Vlijanie tzhzhelyh metallov otval'nyh porod ugol'nyh mestorozhdenij na okruzhajushhuju sredu bassejna r. Amur. Jekologicheskij risk i jekologicheskaja bezopasnost'. *Materialy III vsrossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem*. V. 2. Irkutsk, 2012, pp. 257–259.

6. Kostenkov N.M., Klyshevskaja S.V. Environmental assessment of heavy metals in the rocks dump Bikin field. *Reguonal environmental issues*, 2011, no. 6. pp. 76–80.

7. Mahonina G.I., *Jekologicheskie aspekty pochvoobrazovaniya v tehnogennykh jekosistemah Urala*. Ekaterinburg: Izdvo Ural. un-ta, 2003.

8. Polokhin O.V. Specific Features of the Transformation of Mineral Forms of Phosphates During Soil Formation in Industry-Related Landscapes, *Contemporary Problems of Ecology*, 2007, no. 5: pp. 843–847.

9. Polokhin O.V., Purtova L.N., Sibirina L.N., Klyshevskaja S.V. Soils syngenetic and vegetation of man-affected landscapes of the south of Primorski, *Estestvennye i tehniczeskie nauki*, 2011, no. 5, pp. 164–166.

10. Purtova L.N. Sibirina L.A., Polokhin O.V. Stock of plant organic matter and humus accumulation processes in soil of man-made landscapes in the south Primorye, *Fundamental'nye issledovaniya*, 2012, no. 3(3), pp. 535–538.

11. *Harakteristika agrozemov Primor'ja*. Ussurijsk: FGU GCAS «Primorskij», DVO DOP RAN, 2001.

12. Shkabarnja N.G., Garbuzov S.P. Sopotstvujushhie poleznye komponenty Pavlovskogo burougol'nogo mestorozhdenija (Primor'e), *Vologdinskie chtenija*, 2002, no.24. pp. 16–17.

13. Polokhin O.V., Purtova L.N., Semal V.A., Sibirina L.A., Klyshevskaja S.V. Specifics of soil forming and vegetation restoration of man-made landscapes of the south of the Far East of Russia, *Life Science Journal*. 2014, Vol. 11. no. 12s. pp. 438–441.

### Рецензенты:

Пуртова Л.Н., д.б.н., зав. сектором органического вещества почвы Биолого-почвенного института ДВО РАН, г. Владивосток;

Голов В.И., д.б.н., главный научный сотрудник сектора биогеохимии Биолого-почвенного института ДВО РАН, г. Владивосток.

Работа поступила в редакцию 05.12.2014.