

УДК 631.416.8

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ЛОКАЛЬНОГО ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Тимофеева Я.О.

*Биолого-почвенный институт Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Владивосток, e-mail: timofeeva@biosoil.ru*

Выполнены исследования по изучению влияния выбросов полиметаллического комбината на содержание тяжелых металлов в почвах. Получены данные о содержании валовых (общих) и кислоторастворимых (потенциально доступных) форм тяжелых металлов в двух типах почв, сформированных на разном удалении от источника загрязнения. Содержание тяжелых металлов в почвах превышает природный геохимический фон. Интенсивность поступления и повышенное содержание тяжелых металлов провоцирует формирование экстремальной геохимической аномалии. Основная часть тяжелых металлов накапливается в верхней части почвенного профиля. Почвы ближайшей к предприятию зоны представляют собой модель неустойчивой системы, утратившей способность к самовосстановлению. Почвы, сформированные в 2 км от источника загрязнения, характеризуются самым высоким содержанием поллютантов. По мере удаления от источника загрязнения концентрация и подвижность тяжелых металлов снижается.

Ключевые слова: экология почв, тяжелые металлы, загрязнение почв

ENVIRONMENTAL STATUS OF SOILS IN THE LOCAL POLYMETALLIC POLLUTION

Timofeeva Y.O.

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

The influence of polymetallic complex emissions on the content of heavy metals in soils have been studied. Data on the content of total and acid-soluble (potentially available) heavy metals forms in two soils types, which formed at different distances from the source of pollution are obtained. Concentrations of heavy metals in soils exceeds the natural geochemical background. The intensive input of heavy metals to results to formation of strong geochemical anomaly. Most of heavy metals accumulated in the upper soil profiles. The soils are is the model of unstable system, which had lost the ability to self-healing in the nearest zone of complex. Soils are characterized by the high content of pollutants, formed in 2 km from pollution source. Concentration and mobility of heavy metals is reduced, it depends on the distance of pollutions source.

Keywords: ecology of soil, heavy metals, pollution of soils

Охрана почв, их рациональное использование имеют первостепенное значение для экономического и социального развития страны. Изучение данных о качественном состоянии земель в России показывает, что темпы их деградации прогрессируют [3]. В последнее время наиболее распространенным и серьезным фактором деградации почвенного покрова стало загрязнение тяжелыми металлами. В почве тяжелые металлы взаимодействуют с компонентами и оставляют последствия этого взаимодействия, которые нередко приводят к сокращению продуктивности экосистем.

Особенно ярко последствия увеличения содержания тяжелых металлов проявляются в районах расположения промышленных предприятий. Наглядным примером является почвенный покров, прилегающий к полиметаллическому комбинату на Рудной пристани (район г. Дальнегорска). Территория близлежащего посёлка «Рудная пристань» официально числится в списке пяти самых загрязненных населенных пунктов России [9]. В настоящее время комбинат специализируется на производстве свинцового и цинкового концентратов, но из-за не-

совершенства технологий и оборудования в окружающей среде произошли устойчивые необратимые изменения с нарушением природного равновесия содержания тяжелых металлов. Кроме основных производственных компонентов перерабатываемые полиметаллические руды (галенит, сфалерит, арсенопирит, халькопирит, пирротин, пирит) содержат многочисленные примеси (Fe, Mn, Cd, Cu, As, Sb, Ag и др.), часть которых извлекается на разных стадиях технологического процесса, другая часть выбрасывается в окружающую среду в виде промышленной пыли и попадает в воду, почву и растительность [10]. Оседающие на поверхности почвы пылевые частицы подвергаются процессам преобразования, содержащиеся в них элементы накапливаются преимущественно в верхнем (10 см) почвенном слое [7]. Проводимые здесь на протяжении длительного времени исследования выявили опасный уровень содержания Zn, Cu, Cd, концентрация Pb в почвах превышает установленный опасный уровень загрязнения [5, 9]. При этом анализ имеющегося объема информации не дает ответа на два очень важных вопроса:

1) какой объем тяжелых металлов, поступающих в составе техногенных потоков, задерживается почвой;

2) насколько прочно тяжелые металлы адсорбируются почвами? Решение указанных задач послужило основной целью настоящих исследований.

Материалы и методы исследований

Район проведения работ расположен в пределах восточного предгорья южного Сихотэ-Алиня, в долине р. Рудная, в поясе дубовых лесов. Почвообразующие породы верхнемелового возраста представлены в основном эффузивными породами. Для рассматриваемого участка характерен сильно расчлененный рельеф. Почвы, сформированные на этой территории, подвержены техногенной нагрузке под воздействием технологически предусмотренных и стихийных выбросов полиметаллического комбината. Почвенные разрезы были заложены в различных условиях поступления тяжелых металлов с нарастающим удалением от источника поллютантов по преобладающему направлению ветров (северо-западное). Ближайший к предприятию разрез заложен на аллювиальной серогумусовой типичной почве в 0,7 км от предприятия. Отмечено угнетение растительного покрова, замедление скорости его роста, некроз и хлороз вегетативных органов. Второй разрез заложен на расстоянии 2 км от предприятия, представлен буроземом типичным. Интенсивное техногенное воздействие привело к угнетению растительного покрова, для которого отме-

чено поражение листьев и суховершинность. Третий разрез заложен на буроземе типичном в 4,5 км. Признаки угнетения растительности проявляются редко.

Отбор почвенных образцов проводился на разной глубине по почвенным генетическим горизонтам. Определение элементного состава (Mn, Zn, Ni, Co, Pb, Cr, Cu, Cd) почв выполнено на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре EDX-800 («SHIMADZU», Япония) и атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Optima 2100 DV («Perkin Elmer», США). В опытном материале было определено содержание валовых (общих) и кислоторастворимых (доступных и потенциально доступных для растений) форм тяжелых металлов по стандартным почвенным методикам [1].

Для выделения техногенной составляющей в общем содержании тяжелых металлов определен коэффициент техногенности (Km) и усредненный коэффициент техногенности (Xm) [6]. Данные, полученные в результате исследований, подвергали статистической обработке с использованием формул и компьютерных программ Statistic и Excel [8].

Результаты исследований и их обсуждение

Общее содержание и варьирование изученных элементов представлено в табл. 1. По величине среднего валового содержания в почвах элементы образуют следующий убывающий ряд: $Mn > Pb > Zn > Cu > Ni > Co > Cr > Cd$.

Таблица 1

Содержание валовых форм тяжелых металлов в почвах (мг/кг)

Почва	Mn	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cu	Cd
Аллювиальная серогумусовая	4829–2168	3745–950	1751–196	169–91	137–90	129–37	881–36	16–1
Бурозем*	6576–5768	4148–1848	3331–1205	190–71	621–126	302–172	1451–331	26–12
Бурозем **	4748–2894	1667–330	1340–515	142–77	186–32	210–84	781–118	8–2

Примечание. * – разрез заложен в 2 км от полиметаллического комбината; ** – разрез заложен в 4,5 км от полиметаллического комбината.

Среднее содержание тяжелых металлов превышает природный геохимический фон, и особенно четко это прослеживается для элементов, являющихся типичными спутниками промышленных производств. Максимальные превышения от 20 до 50 раз отмечены для Cu, Zn, Cd, Pb, что указывает на наличие высокоопасного уровня загрязнения. Концентрация Co превышает фоновый уровень в 5–7 раз, содержание Mn, Cr и Ni в 3–3,5 раза. Интенсивность поступления и повышенное содержание тяжелых металлов обуславливают формирование положительной геохимической аномалии, что в свою очередь приводит к частичной или полной гибели растительности и формированию так называемых техногенных пустынь.

Несмотря на более близкое расположение к источнику загрязнения, валовое

содержание металлов в аллювиальной серогумусовой почве в большинстве случаев уступает концентрациям, характерным для буроземов. Причиной этому служит разное содержание компонентов, отвечающих за адсорбционное закрепление тяжелых металлов (глинистые минералы, гумус, оксиды и гидроксиды Fe, Al, Mn). Фиксация элементов почвами в рассматриваемых условиях имеет свою особую специфику. Например, в зоне гипергенеза месторождений рудные компоненты входят в состав кристаллической решетки глинистых минералов и служат дополнительным источником в общем объеме тяжелых металлов [4]. Аллювиальные серогумусовые почвы содержат значительно меньше глинистых минералов по сравнению с буроземами. Важным фактором в закреплении тяжелых металлов является содержание и состав гумуса. Гу-

миновые кислоты обладают большой адсорбирующей способностью, однако, учитывая постоянное обновление органо-минерального почвенного комплекса, в закреплении тяжелых металлов, поступающих в составе техногенных потоков, решающая роль принадлежит именно «молодым» соединениям. Для растительности, под пологом которой сформированы аллювиальные серогумусовые почвы, характерно угнетение роста и развития, в результате чего привнос в почву свежего органического вещества уменьшен, а процессы гумификации ослаблены. Способность к адсорбционному закреплению элементов оксидами и гидроксидами Fe, Al, Mn в почвах, длительное время подвергающихся интенсивному техногенному воздействию, как правило, полностью реализована, поэтому в процессах детоксикации могут участвовать только недавно образовавшиеся гидроксидные соединения, доля которых в общем запасе невелика.

Профильное распределение большинства тяжелых металлов отличается характерным максимумом в верхней части профиля и постепенным снижением в нижележащих слоях. Максимальное содержание Zn (1751,36 мг/кг) приурочено к средней части, которая в 2 раза, по сравнению с верхней, обогащена этим элементом. Распределение кислоторастворимых форм металлов в аллювиальной серогумусовой почве в целом соответствует распределению их валовых форм. Аномально высокое содержание кислоторастворимых форм отмечается на протяжении всего почвенного профиля. Степень извлечения Mn, Zn, Cr и Cd снижается вниз по профилю. Экстрагируемость Pb и Ni увеличивается в нижней части профиля. Слабая степень закрепления Cu отмечена в средней части профиля (66%). Содержание кислоторастворимых соединений Co на протяжении всего профиля остается в пределах 30–35% и существенно не меняется.

Специфика элементного состава буроземов обусловлена различной интенсивностью воздействия техногенных потоков. Со-

держание элементов максимально в пробах, отобранных на расстоянии 2 км от источника загрязнения, по мере удаления их концентрация закономерно снижается. Наиболее высокое содержание Mn, Zn, Co, Cr, Cu и Cd в буроземах, сформированных в 2 км от предприятия, отмечается в верхних органо-генных горизонтах. С глубиной их содержание уменьшается. В кислоторастворимой форме в этой почве находится до 60% Pb, Zn, Cu, около 50% Ni, Cr, Co и 13% Cd. Их высокое содержание способствует накоплению в биомассе, вызывая угнетение, а в некоторых случаях частичную гибель растительности.

При снижении степени техногенного воздействия в буроземе, расположенном на расстоянии 4,5 км от источника загрязнения, концентрация элементов наиболее заметно уменьшается в верхней части профиля. Основные отличия профильного распределения элементов касаются Zn, Co и Cr, накопление которых установлено в горизонте A1B. Также для этих почв отмечается достоверное снижение концентрации и степени извлечения кислоторастворимых форм всех изученных тяжелых металлов. Профильное распределение кислоторастворимого Mn обнаруживает 2 пика увеличения его концентрации, первый – в горизонте A1B и второй – в горизонте B2. Максимальное содержание кислоторастворимых форм Zn приурочено к переходному горизонту A1B. Наибольшая концентрация остальных элементов обнаружена в гумусо-аккумулятивном горизонте.

Длительное накопление тяжелых металлов и их включение в почвообразовательные процессы, несомненно, привело к геохимической трансформации почвенного покрова. Результаты расчета коэффициента техногенности (K_m) приведены в табл. 2. Несмотря на достаточно весомое превышение величины средних региональных значений, уровень K_m отдельных тяжелых металлов не превышает 2, тогда как в сильно загрязненных условиях K_m таких элементов, как Cu, Zn, Pb, может достигать 5–10 единиц [2, 6].

Таблица 2

Коэффициент техногенности тяжелых металлов в почвах, сформированных под воздействием выбросов полиметаллического комбината

Почва	Mn	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cu	Cd
Аллювиальная серогумусовая	0,6–0,3	0,5–0,2	0,5–0,1	0,4–0,1	0,4–0,1	0,5–0,4	0,4–0,1	0,6–0,2
Бурозем*	0,6–0,4	1,0–0,2	1,4–0,4	1,3–0,4	1,4–0,9	1,1–0,9	1,5–0,6	0,5–0,2
Бурозем**	0,6–0,4	1,6–0,4	1,1–0,3	0,8–0,1	0,4–0,2	0,9–0,3	0,7–0,3	0,2–0,1

Примечание. * – разрез заложен в 2 км от полиметаллического комбината; ** – разрез заложен в 4,5 км от полиметаллического комбината.

Величина *K_m* подавляющей части тяжелых металлов, за исключением Cd, в аллювиальной серогумусовой почве уступает величине показателя в буроземах. Гумусо-аккумулятивный горизонт обогащен Mn, Zn, Ni, Cr и Cd, поступающими в составе техногенных потоков. В буроземах, сформированных на расстоянии 2 км от источника загрязнения, отмечается нарастание *K_m* в 2–2,5 раза. Наиболее активно влияние техногенных факторов проявляется в пополнении содержания Zn, Ni, Co и Pb. При этом верхняя часть профиля уже не является местом техногенного накопления основного объема металлов, что может быть результатом усиления их растворимости и миграционной способности. Самые высокие уровни *K_m* Co, Cr, Cu, Cd приурочены к нижней части профиля, Pb – к средней. Буроземы, на 4,5 км удаленные от предприятия, характеризуются снижением доли техногенной составляющей. Вместе с тем, величины *K_m* этих почв превышают значения в аллювиальной серогумусовой. Судя по величине *K_m*, основная часть Mn и Cu, поступившая с продуктами выбросов предприятия, сосредоточена в нижней части профиля, остальные элементы – в верхней и средней.

В соответствии с величиной *K_m* просматривается отчетливо выраженная закономерность. В буроземах происходит увеличение содержания техногенных соединений тяжелых металлов. Это может быть либо результатом увеличения поглощательной способности почв, приводящей к накоплению техногенных форм в почвенном профиле, либо происходит за счет увеличения аэрального поступления элементов. В условиях исследуемой территории аэральные потоки характеризуются содержанием широкого круга тяжелых металлов, но ведущую роль среди них занимают Pb, Zn, Cd. Основными носителями этих элементов в составе атмосферных выпадений являются тонкодисперсные частицы, способные переноситься на дальние расстояния [3, 11]. Нарастание геохимической атмосферной нагрузки также отчасти объясняет увеличение содержания кислоторастворимых форм элементов в буроземах. По данным П.В. Елпатьевского (1993), от 30 до 60% годового количества техногенных элементов выводится из аэрального потока дождями и поступает на поверхность почвы в растворенной фазе, пополняя, тем самым, запас подвижных и потенциально подвижных фракций.

Заключение

Эколого-химическая обстановка почв рассматриваемой территории наглядно демонстрирует изменения, происходящие в почвах при продолжительном влиянии техногенных потоков, и отражает глубину ее преобразования. Приведенные данные, прежде всего, свидетельствуют о том, что в почвах, близко прилегающих к полиметаллическому комбинату, происходит активная аккумуляция элементов-загрязнителей. При этом способность почв противостоять техногенному давлению ведет к накоплению основной массы металлов в верхних горизонтах и ограничению их поступления в почвенно-грунтовые воды и литосферу. В зоне интенсивного воздействия почвы практически полностью исчерпали возможность по ограничению миграции металлов. Рассматривая проблему изменения химического состава почвенного покрова, следует отметить, что перестройка физико-химических свойств первичных природных почв в сторону их ухудшения неизбежно ведет к снижению почвенного плодородия и деградации. Полученные экспериментальные данные следует использовать экологическим службам для принятия своевременных мер.

Работа выполнена при поддержке грантов Президиума ДВО РАН №12-III-B-09-192, №12-III-D-09-035, №12-III-B-06-086.

Список литературы

1. Булатов А.И., Макаренко П.П., Шеметов В.Ю. Справочник инженера-эколога по методам анализа загрязнителей окружающей среды. Ч. 2: Почва. – М.: Недра-Бизнесцентр, 1999. – 634 с.
2. Васильева Л.И., Кадацкий В.Б. Формы тяжелых металлов в почвах урбанизированных и заповедных территорий // Геохимия. – 1998. – № 4. – С. 426–429.
3. Геохимия природных и техногенно-измененных биогеосистем [под ред. Е.В. Филатова]. – М.: Научный мир, 2006. – 280 с.
4. Елпатьевский П.В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах. – М.: Наука, 1993. – 253 с.
5. Елпатьевская В.П. Роль горнодобывающего производства и трансформация окружающей среды (юг Дальнего Востока) // География и природные ресурсы. – 1996. – № 3. – С. 53–62.
6. Кадацкий В.Б., Васильева Л.И., Тановицкая Н.И., Головатый С.Е. Распределение форм тяжелых металлов в естественных ландшафтах Беларуси // Экология. – 2001. – № 1. – С. 33–37.
7. Качур А.Н., Кондратьев И.И., Перепелятников А.В. Эколого-геохимические проблемы сухопутных и прибрежно-морских ландшафтов береговой зоны российской части бассейна Японского моря // Вестник ДВО РАН. – 2001. – № 5. – С. 53–71.

8. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1990. – 344 с.

9. Шаров П.О. Загрязнение свинцом пос. Рудная пристань и его влияние на здоровье детей. – Владивосток: Дальнаука, 2005. – 132 с.

10. Braun M.C Environmental Lead Contamination in the Rudnaya Pristan Dalnegorsk mining and Smelter District, Russian Far East // Environmental research. – 2002. – № 88-A. – P. 164–173.

11. Duce R.A., Arimoto R., Ray B.J. Atmospheric trace elements at Enewetak atoll: Concentration, sources and temporal variability // Geophys. Res. – 1983. – Vol. 88, № 9. – P. 5321–5342.

References

1. Boolatov A.I., Makarchenko P.P., Shemetov V.Yu. *Spravochnik injenera-ecologa po metodam analiza zagryazniteley okrujayushey sredy. Ch. 2. Pochva.* [Directory of environmental engineers on methods of analysis environmental contaminants. P.2. Soil]. Moscow, Nedra-Bisnescentr, 1999. 634 p.

2. Vasilyeva L.I., Kadatsky V.B. Geochemistry, 1998, no 4, pp. 426–429.

3. *Geokhimiya prirodnykh i tekhnogenno-izmenennykh biogeosistem* [Geochemistry of natural and man-amended biogeosystems]. Moscow, Naychnyi mir, 2006. 280 p.

4. Elpatyevsky P.V. *Geokhimiya migrationnykh potokov v prirodnykh i prirodno-tekhnogennykh geosistemakh* [Geochemistry of migration flows in natural and man-amended geosystems]. Moscow, Nauka, 1993. 253 p.

5. Elpatyevskaya V.P. Geography and natural resources, 1996, no 3, pp. 53–62.

6. Kadatsky V.B., Vasilyeva L.I., Tanovitskaya N.I. Ecology, 2001, no 1, pp. 33–37.

7. Kachur A.N., Kondratyev I.I., Perepelyatnikov A.V. Bulletin of the FEB RAS, 2001, no 5, pp. 53–71.

8. Lakin G.F. *Biometriya* [Biometrix]. Moscow, Vicschaya shkola, 1990. 344 p.

9. Sharov P.O. Zagryaznenie svintsom pos. Rydnaya pristan i ego vliyanie na zdorovyе detey [Lead contamination of Rudnaya Pristan and its impact on children's health]. Vladivostok, Dalnauka, 2005. 132 p.

10. Braun M.C Environmental Lead Contamination in the Rudnaya Pristan Dalnegorsk mining and Smelter District, Russian Far East // Environmental research. 2002. no. 88-A. pp. 164–173.

11. Duce R.A., Arimoto R., Ray B.J. Atmospheric trace elements at Enewetak atoll: Concentration, sources and temporal variability // Geophys. Res. 1983. Vol. 88, no. 9. pp. 5321–5342.

Рецензенты:

Бузолева Л.С., д.б.н., зав. лабораторией экологии патогенных бактерий НИИ ЭМ СО РАМН, профессор кафедры общей экологии ДВФУ, г. Владивосток;

Пшеничников Б.Ф. д.б.н., профессор кафедры почвоведения ДВФУ, г. Владивосток.

Работа поступила в редакцию 09.08.2012.