

1. Лукашѐв К. И., Кадацкий В. Б. Развитие биосферы в голоцене. Мн.: Наука и техника, 1978. 178 с.
2. Вернадский В. И. Несколько слов о ноосфере // Успехи современной биологии. 1944. Т. 18, № 2. С. 113–120.
3. Кадацкий В. Б., Лукашѐв К. И. Некоторые вопросы техногенного морфогенеза // Геологическое изучение территории Белоруссии. Мн.: Наука и техника, 1979. С. 160–163.
4. Горшков В. В., Горшков В. Г., Данилов-Данильян В. И. и др. Информация о живой и неживой природе // Экология. 2002. № 3. С. 163–169.
5. Турманина В. И. Растения рассказывают. М.: Мысль, 1987. 156 с.

УДК 550.4:631.4

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ГЕОХИМИЮ ЛАНДШАФТОВ (НА ПРИМЕРЕ МИХАЙЛОВСКОГО ГОКА КУРСКОЙ ОБЛАСТИ)

О. В. Кайданова, И. В. Замотаев, С. Б. Суслова, Г. С. Шилькрот

Институт географии РАН, Старомонетный пер. 29, 119017 Москва, Российская Федерация; o.v.kaydanova@igras.ru

Преобразование ландшафтов в районах добычи и переработки руд является одним из самых масштабных воздействий хозяйственной деятельности человека на природу. Наибольшей трансформации в этих условиях подвергаются геоморфологическая структура ландшафтов, а также почвенный и растительный покровы. Важным геохимическим фактором формирования новых техногенных ландшафтов становится выпадение значительного количества атмосферной пыли, образующейся при горнопромышленном производстве, рассеивании пылевого материала с отвалов вскрышных пород и хвостохранилищ. Зона атмотехногенного влияния горно-обогачительных комбинатов, связанная с большим объёмом поступления минеральной пыли, обогащенной тяжёлыми металлами (ТМ), достигает десятков километров [3–5, 8].

Литературные данные последних лет свидетельствуют об интенсивном поступлении ряда химических элементов в окружающие ландшафты от промышленных объектов Михайловского горно-обогачительного комбината (МГОКа), расположенного на северо-западе Курской обл. [2, 6, 7]. В пыли, поступающей от объектов МГОКа, преобладает Fe – 168 500 мг/кг. Высокие концентрации в техногенной пыли были отмечены также для Cu – 70 мг/кг, Mn – 750, Cr – 110, Zn – 350, Ni – 60, Pb – 60, Co – 20 [6].

Такие атмотехногенные нагрузки могут привести к изменению геохимических и гидрохимических характеристик компонентов ландшафтов, нарушению взаимосвязей между ними. В связи с этим были проведены исследования содержания ТМ в почвах геохимически сопряжённых ландшафтов, находящихся под воздействием МГОКа, и донных отложениях рр. Песочной и Черни, в долинах которых расположены все промышленные объекты МГОКа.

Определение в почвенных образцах валовых содержаний ТМ выполнено методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии (РФА) на приборе TEFA-6111 (XRF-analysis), в донных отложениях – методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) на приборе Elan-6100 в лаборатории ЦНИГРИ.

Геохимическая трансформация почв, находящихся под воздействием промышленных объектов МГОКа, оценивалась относительно серых типичных почв водоразделов, изученных в 20 км западнее МГОКа. Содержание ТМ в гумусовом горизонте этих почв принято за фоновое и составило (мг/кг): Cr – 28, Mn – 600, Co – 6,5, Ni – 14, Cu – 15, Zn – 38, Pb – 20. Уровень загрязнения почв ТМ оценивался по значениям  $K_c$  – коэффициенту техногенной концентрации химического элемента, рассчитываемого как отношение содержания химического элемента в исследуемой почве к фоновому.

Проведённые геохимические исследования показали, что уровень загрязнения почв элювиальных ландшафтов промплощадки МГОКа лежит в интервале «минимальный–слабый». Наибольшие  $K_c$  отмечены для Cu (2,7), Cr (1,8), Mn (1,7);  $K_c$  для Co, Ni, Zn и Pb изменяется от 1,2 до 1,5.

Анализ данных по содержанию ТМ в почвах элювиальных ландшафтов, находящихся в 0,3, 3 и 6 км к северу от МГОКа, свидетельствует об ослаблении аэрального поступления Mn и Co в почвы с увеличением расстояния от источников выбросов (табл. 1). В 0,3 км от промплощадки содержание в почвах Co снижается до фонового уровня. В 3 км от МГОКа фоновому уровню соответствуют кон-

центрации Co и Mn. Содержание в почве Cu, Cr, Zn, Ni, Pb с удалением от МГОКа остается на уровне минимального загрязнения ( $K_c < 2$ ).

Исследование содержания ТМ в почвах трансэлювиальных ландшафтов (в 3 км к северо-востоку и в 6 км к югу от МГОКа) показало, что их значения очень близки к таковым в почвах водораздельных позиций. Полученные результаты говорят о незначительном латеральном переносе ТМ в геохимическом сопряжении: элювиальный–трансэлювиальный ландшафт.

Таблица 1 – Содержание ТМ в гумусовых горизонтах серых типичных почв на разном удалении от МГОКа, мг/кг

| Расстояние от МГОКа, км | Микроэлементы |       |    |    |    |    |    |
|-------------------------|---------------|-------|----|----|----|----|----|
|                         | Cr            | Mn    | Co | Ni | Cu | Zn | Pb |
| 0,3                     | 40            | 1 000 | 5  | 10 | 30 | 40 | 30 |
| 3                       | 60            | 600   | 4  | 10 | 35 | 40 | 30 |
| 6                       | 50            | 600   | 6  | 15 | 30 | 50 | 30 |

Хвостохранилище МГОКа занимает часть русла р. Песочной. Тяжёлые металлы, накопленные в хвостохранилище за многие годы его существования, могут во время паводков поступать в составе взвесей в сопредельные ландшафты, а в растворённых формах проникать в грунтовые воды и мигрировать с ними, задерживаясь на геохимических барьерах в трансаккумулятивных ландшафтах. Для оценки загрязнения ТМ трансаккумулятивных ландшафтов были изучены почвы поймы р. Песочной выше и ниже хвостохранилища.

Исследование аллювиальных серогумусовых глееватых почв трансаккумулятивных ландшафтов верховья р. Песочной выше хвостохранилища (в 1 км к северу) выявило незначительное накопление ТМ (Cr, Mn, Cu, Zn, Pb) во всех почвенных горизонтах, соответствующее минимальному уровню загрязнения ( $K_c < 2$ ).

Ниже хвостохранилища, в 500 м к востоку от его южной окраины, ТМ исследовались в аллювиальной торфяно-глеевой почве, сформировавшейся в понижении с близким залеганием уровня почвенно-грунтовых вод. О влиянии хвостохранилища на содержание ТМ в этой почве свидетельствует загрязнение всех горизонтов Ni ( $K_c = 3,3-3,7$ ) и Zn ( $K_c = 2,5$ ).

В аллювиальных серогумусовых почвах прирусловой части поймы р. Песочной при впадении её в р. Свапу (11 км к югу от хвостохранилища) зафиксированы наиболее высокие содержания Mn. Содержание этого элемента в горизонте C3g на глубине 100–110 см, постоянно испытывающем воздействие почвенно-грунтовых вод, в 5 раз выше фонового содержания, что соответствует среднему уровню загрязнения. В вышележащем глеевом горизонте профиля отмечено также накопление Cr, Co, Cu и Zn (табл. 2).

Таблица 2 – Коэффициенты концентраций ( $K_c$ ) в аллювиальных серогумусовых почвах. 50 м от устья р. Песочной, 11 км ниже хвостохранилища

| Горизонты | Глубина, см     | Микроэлементы |     |     |     |     |     |     |
|-----------|-----------------|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|           |                 | Cr            | Mn  | Co  | Ni  | Cu  | Zn  | Pb  |
| AУ        | 0–10            | 1,8           | 1   | 1,2 | 1,1 | 2,7 | 1,6 | 1,5 |
| AУ        | 25–30           | 2,1           | 0,8 | 1,2 | 1,4 | 2,7 | 1,3 | 1,5 |
| C1g       | 75–80           | 2             | 0,8 | 1,2 | 1,4 | 2,7 | 2,1 | 1,5 |
| C2g       | 90–95           | 2,9           | 3,3 | 1,5 | 1,1 | 3,3 | 2,6 | 1,5 |
| C3g       | 100–110... вода | 2,9           | 5   | 1,5 | 1,1 | 2   | 2,1 | 1,5 |

В целом общий фон загрязнения почв ТМ в зоне воздействия МГОКа характеризуется как минимальный–слабый. В почвах ТА ландшафтов в нижних глеевых горизонтах, испытывающих влияние грунтовых вод, связанных с акваторией хвостохранилища, выявлены повышенные концентрации ТМ, соответствующие среднему уровню загрязнения: Ni ( $K_c = 3,7$ ), Mn ( $K_c = 5$ ), Cr ( $K_c = 7$ ). Накопление ТМ связано с их осаждением на окислительно-восстановительных и седиментационных геохимических барьерах.

Процесс накопления ТМ в донных отложениях определяется их адсорбцией на тонкодисперсных глинистых и песчаных частицах, органическом веществе и Fe-Mn образованиях. В донных отло-

жениях р. Песочной, в 1 км выше хвостохранилища, было выявлено максимальное содержание практически всех микроэлементов. По-видимому, отчасти это обусловлено замедленным водообменном, связанным с созданием и функционированием хвостохранилища, и формированием гидродинамической зоны подпора подземных вод [1].

В пробах донных отложений в 8 км к югу от хвостохранилища, содержание микроэлементов, кроме Cu и Zn, заметно уменьшается. Содержание же Cu здесь возрастает практически в 4 раза, относительно высоким остаются концентрации Zn. Полученные результаты исследований свидетельствуют о большой подвижности соединений Cu и Zn в водной системе р. Песочная – хвостохранилище (табл. 3).

Таблица 3 – Содержание ТМ в иловых речных отложениях, мг/кг сухого вещества, 2015–2016 гг.

| Объект                                   | Fe     | Ti    | Cr   | Mn    | Co   | Ni   | Cu   | Zn    | Pb   |
|--|--------|-------|------|-------|------|------|------|-------|------|
| р. Песочная, 1 км выше хвостохранилища   | 12 615 | 3 159 | 30,8 | 434   | 6,2  | 17,9 | 17,1 | 55,6  | 12,3 |
| р. Песочная, 1,5 км ниже хвостохранилища | 11 312 | 2 401 | 18,9 | 281   | 4,5  | 10,8 | 6,6  | 23,7  | 12,1 |
| р. Песочная, 8 км ниже хвостохранилища   | 6 883  | 909   | 9,0  | 296   | 1,9  | 6,9  | 32,9 | 35,4  | 9,3  |
| р. Чернь, 1 км ниже промплощадки         | 16 047 | 2267  | 21,5 | 1 029 | 13,1 | 13,1 | 9,9  | 25,8  | 12,7 |
| р. Чернь, 0,5 км ниже отвалов            | 30 676 | 4 646 | 65,4 | 1 233 | 15,5 | 30,5 | 29,6 | 122,3 | 25,8 |
| р. Чернь, 6 км ниже всех объектов МГОКа  | 7 910  | 817   | 10,9 | 118,3 | 2,4  | 3,4  | 3,1  | 26,8  | 5,9  |

Аквальные ландшафты р. Чернь, находящиеся в сфере непосредственного влияния промплощадки МГОКа, карьера и отвалов вскрышных пород, несут наибольшую техногенную нагрузку по сравнению с другими акваландшафтами, о чём свидетельствуют повышенные концентрации микроэлементов в их донных отложениях (табл. 3). Наибольшие концентрации всех ТМ отмечаются в донных отложениях р. Чернь в 0,5 км к югу от отвалов. Ниже по течению реки, в 6 км ниже всех объектов МГОКа, содержание ТМ в донных отложениях существенно снижается – в 5–10 раз.

Таким образом, проведенные исследования показали, что многолетнее воздействие предприятий Михайловского ГОКа на окружающие ландшафты привело к разной степени геохимической трансформации их компонентов. При этом наиболее уязвимыми к загрязнению являются трансаккумулятивные и аквальные ландшафты, находящиеся под воздействием хвостохранилища и отвалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН П 15.

1. Бугреева М. Н., Титов Р. И. Гидрогеохимическая оценка подземных вод Михайловского промрайона КМА // Вестн. Воронеж. ун-та. Геология. 2002. № 2. С. 123–129.

2. Гонеев И. А., Кумани М. В. Влияние полевых выбросов Михайловского ГОКа на загрязнение земель тяжелыми металлами // Вестн. Воронежского гос. ун-та. Сер. Геогр., Геоэкол. 2010. С. 66–70.

3. Джувеликян Х. А. Экологическое состояние природных и техногенных ландшафтов Центрального Черноземья.. Петрозаводск, 2007. 50 с.

4. Замотаев И. В., Иванов И. В., Михеев П. В., Белобров В. П. Трансформация и загрязнение почв в районах добычи железных руд (обзор литературы) // Почвоведение. 2017. № 3. С. 370–384.

5. Лисецкий Ф. Н., Чендев Ю. Г., Голусов П. В., Чепелев О. А. Загрязнение почв тяжелыми металлами в зоне влияния Курской магнитной аномалии // Региональные гигиенические проблемы и стратегия охраны здоровья населения: науч. тр. Федеральн. науч. центра им. Ф. Ф. Эрисмана. М., 2004. Вып. 10. С. 286–290.

6. Пашкевич М. А., Понурова И. К. Геоэкологические особенности техногенного загрязнения природных экосистем зоны воздействия хвостохранилища Михайловского ГОКа // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. Вып. 5. С. 349–356.

7. Понурова И. К. Защита природной среды на основе рациональной технологии консервации отходов обогащения на Михайловском ГОКе. СПб., 2007. 24 с.

8. Яницкий Е. Б. Геоэкологическая оценка и мониторинг антропогенного воздействия горной промышленности Курской магнитной аномалии с использованием геоинформационных систем (на примере Старооскольско-Губкинского района). Астрахань 2009. 23 с.