

УДК 550.4:631.4

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛАНДШАФТОВ ЖЕЛЕЗНОГОРСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО АРЕАЛА (КУРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2018 г. Ольга В. Кайданова*, Игорь В. Замотаев, Светлана Б. Сулова,
Галина С. Шилькрот

Институт географии РАН, Москва, Россия

**E-mail: oliakai@rambler.ru*

Поступила в редакцию 09.03.2017 г.

Аннотация. Проведены комплексные геохимические исследования природно-техногенных ландшафтов Курской области в районе разработки железных руд. Выявлены уровни загрязнения тяжелыми металлами почв, донных отложений и поверхностных вод в зонах воздействия объектов Михайловского горно-обогатительного комбината, включая территорию г. Железногорска. Наибольшие техногенные изменения испытывают почвы трансаккумулятивных ландшафтов, донные отложения и воды аквальных ландшафтов рек Песочной, Черни, Речицы. Содержание Co, Ni, Pb, Zn в почвах соответствует минимальному, Cu, Mn и Cr в отдельных случаях – слабому и среднему уровням загрязнения. Повышенные концентрации тяжелых металлов (Zn, Cu, Cr, Pb) в водах и донных отложениях рек обусловлены воздействием хвостохранилища, карьера, отвалов и городских стоков. В акваландшафтах рек отмечается высокое содержание растворимых форм Fe, превышающее ПДК для рыбохозяйственных объектов в десятки раз, что отчасти объясняется геохимическими особенностями ландшафтных комплексов и поверхностных водотоков исследуемого ареала.

Ключевые слова: горнопромышленные ландшафты, почвы, воды, донные отложения, геохимическая трансформация, загрязнение тяжелыми металлами, Михайловский горно-обогатительный комбинат.

DOI: 10.7868/S258755661803010X

GEOCHEMICAL TRANSFORMATION OF LANDSCAPES OF ZHELEZNOGORSK INDUSTRIAL AREA (KURSK OBLAST)

Olga V. Kaidanova*, Igor V. Zamotaev, Svetlana B. Suslova, and Galina S. Shilkrot

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**E-mail: oliakai@rambler.ru*

Received March 09, 2017

Abstract. The integrated geochemical researches of the natural-technogenic landscapes have conducted in the area of development of iron ore (Kursk oblast). The levels of soil, surface waters and bottom deposits of rivers pollution by heavy metals in the zones of influence of industrial facilities of Mikhailovsky mining and processing plant (MPP), including the territory of the city of Zheleznogorsk, have revealed. Soils of trans-accumulative landscapes, bottom deposits and waters of aquatic landscapes of the Pesochnaya, Chern, Rechitsa rivers have undergone the greatest technogenic changes. The content of Co, Ni, Pb, Zn in the soils is minimal, the content of Cu, Mn and Cr in some cases is equal to weak and medium levels of pollution. Tailings pond, quarry, dumps and municipal waste water lead to higher concentrations of heavy metals (Zn, Cu, Cr, Pb) in waters and bottom deposits of rivers. In aquatic landscape of rivers, there is a high content of soluble forms of Fe, which exceeds of maximum permissible concentrations for fishery objects in dozens of times, that is partly a geochemical feature of landscape complexes and surface watercourses of Zheleznogorsk industrial area.

Keywords: mining landscapes, soils, surface waters, bottom deposits, geochemical transformation, heavy metals pollution, Mikhailovsky mining and processing plant.

Введение. Разработка железных руд является одним из самых масштабных типов техногенного воздействия на окружающую среду – как по величине вовлеченных в производство территорий, так и по степени трансформации почв и ландшафтов. При сооружении глубоких котлованов (более 350 м), высоких отвалов (до 100 м), обширных хвостохранилищ механически изменяется поверхность рельефа, уничтожается почвенно-растительный покров. Коренным образом изменяются гидрогеологические условия, формируются особые техногенные ландшафтно-геохимические системы – горнопромышленные ландшафты [21, 22].

Важным фактором техногенного воздействия на почвенно-растительный покров, воды и донные отложения является выпадение огромного количества атмосферной пыли, образующейся при вскрышных работах, добыче и дроблении руды и рассеивании перемещаемого материала. На компоненты ландшафтов оказывает воздействие пыль сама по себе как дисперсный материал, но, главным образом, как источник тяжелых металлов (Zn, Pb, Mn, Cr, Co, Cu, Ni и др.) – спутников железных руд, а также токсичные компоненты добываемых руд (сульфиды) [14, 21, 22, 31–35].

Железногорский промышленный ареал включает г. Железногорск (население 99,7 тыс. чел.) и градообразующее предприятие ОАО “Михайловский горно-обогатительный комбинат” (МГОК) – один из крупнейших железорудных горнодобывающих объектов в России. МГОК включает в себя два комплекса: горно-транспортный (горный комплекс, буровзрывной, управления железных дорог и автотранспорта) и рудоперерабатывающий (дробильно-обогатительный комплекс, дробильно-сортировочная фабрика, фабрика окомкования и др.). Объекты МГОКа расположены как на территории города, преимущественно в его восточной части, так и за его пределами [6].

Техногенное воздействие на ландшафты г. Железногорска связано в основном с деятельностью МГОКа, хотя определенное влияние на загрязнение городских ландшафтов оказывают также предприятия пищевой и строительной отраслей. Важным фактором воздействия остается выброс загрязняющих веществ автотранспортом, особенно это проявляется на технологических автодорогах и основных автомагистралях города.

Исследования последних лет свидетельствуют об интенсивном поступлении ряда химических элементов в окружающие ландшафты от промышленных объектов МГОКа [3, 4, 7, 9–11, 15–17, 20, 23–25, 27, 29, 30]. В пыли, поступающей от хвостохранилища, преобладает

Fe. Содержание этого элемента в техногенном потоке – 168500 мг/кг, что более чем в 10 раз превышает его содержание в фоновых почвах. Кроме Fe присутствует ряд микроэлементов в концентрациях, также превышающих их фоновые значения для зональных почв. Так, содержание Cu здесь достигает 70 мг/кг при фоновой концентрации в почве 15 мг/кг, т.е. соотношение имеет вид 70/15. Для Mn это соотношение равно 750/580, Pb – 60/20, Ni – 60/14, Cr – 110/28, Co – 20/6,5, Zn – 350/38 [20].

По данным [16], наиболее высокие содержания тяжелых металлов (ТМ) также отмечаются в шламах хвостохранилища: содержание Cu в 20, Cr и Zn – в 7, а Ni – в 5 раз выше содержания в серых лесных почвах региона. Такие техногенные нагрузки могут привести к изменению геохимических характеристик компонентов ландшафтов, нарушению взаимосвязей между ними.

Цель настоящей работы – выявить особенности загрязнения тяжелыми металлами почв в зоне воздействия Железногорского ареала, а также вод и донных отложений рек, в которые поступают отходы с территории г. Железногорска и объектов МГОКа.

Объекты и методы исследований. Исследуемая территория расположена в бассейне р. Сейм и расчленена долинами рек (Свапа, Чернь, Песочная, Речица, Погарщина), оврагами и балками. Почвообразующие породы большей части территории представлены лессовидными покровными суглинками. Под ними залегают юрские глины и девонские известняки. На отдельных участках коренные породы представлены песками палеогена и неогена. Низкие надпойменные террасы, как правило, сложены сортированными мелкозернистыми песками и слоистыми супесчаными и суглинистыми аллювиальными отложениями.

Доминирующее положение в элювиальных и транселювиальных ландшафтах занимают серые и темно-серые лесные почвы среднесуглинистого гранулометрического состава. В супераквальных ландшафтах (долины рек) формируются неоднородные по литологии аллювиальные и дерново-глебовые почвы [13]. Согласно почвенно-геохимическому районированию Среднерусской возвышенности по содержанию редких и рассеянных элементов район исследований относится к Северо-Западному Курско-Орловскому району серых лесных почв и оподзоленных черноземов с недостатком валовых форм Cr, Ni, Cu и Mn, Zn [26].

В настоящее время естественная лесная и лугово-степная растительность в районе исследований фрагментирована, а большая часть территории

распахана. Объекты МГОКа окружены сельскохозяйственными полями с почвами разной степени эродированности и вторичными березово-дубовыми лесами.

Для оценки геохимического состояния почвенного покрова г. Железнодорожска и выявления ареалов загрязнения городских ландшафтов ТМ, прежде всего под воздействием МГОКа, был проведен отбор проб почв на всей территории города методом случайного опробования. Для формирования представительной выборки были взяты 32 почвенных образца. Отбор проб проводился внутри жилых кварталов и вблизи основных автомагистралей методом “конверта” 1×1 м из верхнего (0–10 см) горизонта почвы. Классификационная принадлежность городских (урбопочвы и урбаноземы) и природных почв определена по [12, 13, 28].

Для изучения радиальной и латеральной миграции ТМ в почвах на территории г. Железнодорожска были заложены две катены, включающие элювиальные (Э), трансэлювиальные (ТЭ) на террасах и трансаккумулятивные (ТА) ландшафты пойм рек Речицы (катена 1) и Погарщины (катена 2).

Вне города исследовались почвенные разрезы на водораздельных поверхностях: в пределах промплощадки между фабрикой окомкования и дробильно-обоганительным комплексом, в 0,3, 3 и 6 км к северу от этих объектов МГОКа. Почвы трансэлювиальных ландшафтов изучались на склонах в 3 км к северу и в 6 км к югу от промплощадки, трансаккумулятивных ландшафтов – в днищах балок и на пойме р. Песочной в 1 и 2 км к северу, в 0,5, 5 и 11 км к югу от хвостохранилища. На территории города и в зонах воздействия МГОКа вне города было заложено 17 полнопрофильных разрезов (рис. 1).

Геохимическая трансформация почв Железнодорожского ареала оценивалась относительно серых типичных почв водоразделов, изученных нами в 20 км к западу от 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.

В почвенных образцах определялось валовое содержание ТМ методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии (РФА) на приборе TEFA-6111 (XRF-analysis). Уровень загрязнения почв ТМ оценивался по значениям Кс – коэффициенту техногенной концентрации химического элемента, который рассчитывается как отношение содержания химического элемента в исследуемой почве к фоновому содержанию (табл. 1). Для оценки миграции ТМ в городских ландшафтах был использован

Таблица 1. Критерии загрязнения почвы ТМ по значениям Кс

Уровень загрязнения	Загрязнение одним элементом – Кс
Минимальный	$K_c < 2$
Слабый	$2 < K_c < 4$
Средний	$4 < K_c < 8$
Сильный	$8 < K_c < 16$
Очень сильный	$16 < K_c < 32$
Максимальный	$32 < K_c$

коэффициент местной миграции – Км – отношение содержания элемента в почвах подчиненных ландшафтов к его содержанию в почвах автономных позиций [1, 18].

Для оценки загрязнения микроэлементами аквальных ландшафтов в 2015–2016 гг. в периоды летней межени было выполнено опробование речных вод (в 1–3 м от береговой линии) и донных отложений (в заиленной прибрежной части водных объектов) рр. Речицы, Песочной, Черни, испытывающих влияние Железнодорожского ареала (см. рис. 1).

В пробах речных вод определялись рН и минерализация методом экспресс-анализа с помощью портативных рН-метра и кондуктометра фирмы Hanna. Величина минерализации по кондуктометру корректировалась для вод гидрокарбонатного класса по графику связи между показаниями прибора (мг/л) и суммой ионов (мг/л). Основные анионы определялись методом титрования, содержание минерального фосфора ($P_{\text{мин}}$) – методом колориметрии. Определение в пробах воды и донных отложений катионов и микроэлементов выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) на приборе Elan-6100 в лаборатории ЦНИГРИ.

Для оценки состояния поверхностных вод использованы принятые нормативы – ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения [19], а также данные о среднем содержании элементов в реках мира [5].

Результаты и обсуждение. *Геохимические исследования почв г. Железнодорожска.* Естественный почвенный покров на территории г. Железнодорожска сильно изменен. В пределах одноэтажной индивидуальной застройки преобладают агропочвы (агросерые почвы). В районах многоэтажной застройки природные почвы сильно преобразованы: почвенные горизонты обычно частично срезаны с поверхности на глубину 0,3–0,5 м и более, перемещены путем добавления и погребения материала

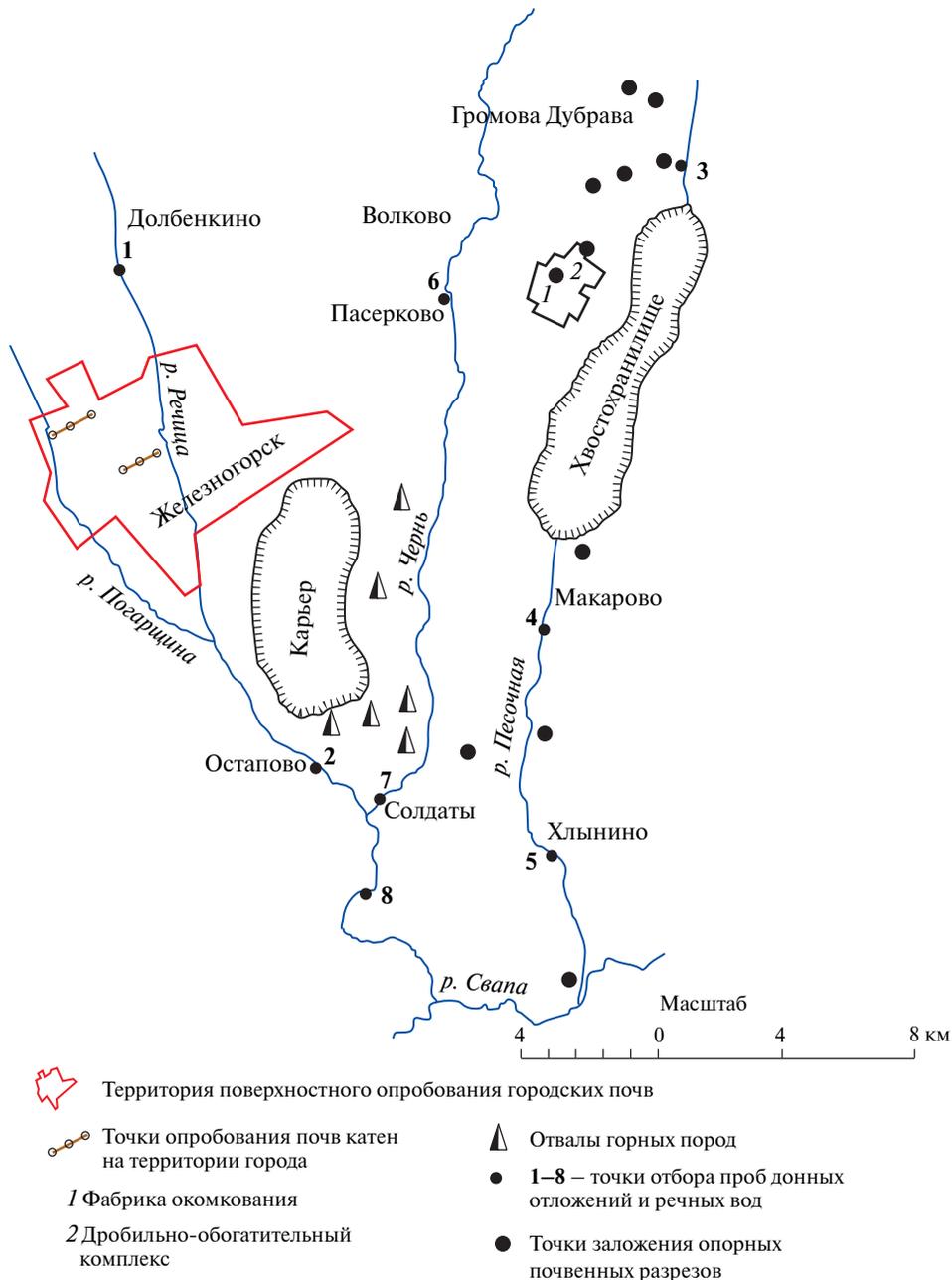


Рис. 1. Картограмма геохимического опробования территории исследования.

промышленного и/или урбаногенного происхождения, в том числе строительного-бытового мусора. На газонах, в парках и скверах естественные почвы перекрываются насыпным антропогенным материалом. В зависимости от степени изменения на территории города выделяются урбопочвы, урбаноземы, техноземы [8, 28]. Природные почвы сохраняются небольшими островками и большей частью в долинах рек.

Исследования загрязнения верхних горизонтов почв г. Железногорска показали, что уровни

содержания ТМ в них близки к фоновым значениям. Максимальные Кс отмечены для Сг и Си. Уровень загрязнения почв территории города ТМ лежит в интервале “минимальный – слабый” (табл. 2). Наибольшие содержания ТМ отмечались в геохимически подчиненных ландшафтах пойм, днищ балок и вблизи автомагистралей.

В табл. 3 представлены данные содержания ТМ в почвах катены “водораздел–пойма” р. Речица и Погарщины.

Таблица 2. Геохимическая характеристика загрязнения почв г. Железнодорожского

Тяжелые металлы	Пределы колебаний, мг/кг	Среднее содержание по городу, мг/кг	Фоновое содержание, мг/кг	Кс: среднее по городу / точки с максимальным содержанием
Cr	30–60	42	28	1.5/2.1
Mn	300–800	500	600	<1/1.3
Co	3–8	5	6.5	<1/1.2
Ni	10–15	13	14	1
Cu	30–50	39	15	2.6/3
Zn	10–40	23	38	<1/1
Pb	20–30	26	20	1.3/1.5

Таблица 3. Содержание ТМ в почвах ландшафтов катены к р. Погарщина

Элювиальный ландшафт—Э	Урбосерые	Горизонты	Глубина, см	Микроэлементы, мг/кг						
				Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
		Alu	0–9	30	500	3	10	30	30	20
Alu	17–23	30	500	3	10	30	20	20		
[A1]	30–40	40	400	3	10	30	20	20		
AELB	60–65	30	400	3	15	39	20	20		
BEL	75–80	40	400	4	10	40	20	20		
BT1	90–110	30	300	3	10	30	30	20		

Трансэлювиальный ландшафт—ТЭ	Темно-серые	Горизонты	Глубина, см	Микроэлементы, мг/кг						
				Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
		AU	0–14	100	400	6	15	30	30	40
AU	20–25	50	600	10	20	50	60	30		
BEL	45–50	30	600	8	15	30	50	20		
BT1	70–75	40	600	8	15	30	60	30		
BT2	90–100	40	600	6	15	30	50	30		
BTca	104–110	40	500	8	15	30	50	30		

Трансаккумулятивный ландшафт—ТА	Аллювиальные серогумусовые глеевые	Горизонты	Глубина, см	Микроэлементы, мг/кг						
				Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
		AY1	0–10	40	1000	8	20	40	50	30
AY2	10–25	40	600	8	29	50	50	30		
G	40–50	30	600	6	15	30	40	20		

Анализ распределения ТМ в профилях почв катен на территории города показал, что почвы водоразделов (Э), отличающиеся сильно нарушенными почвенными горизонтами, обнаруживают слабое накопление Cr (Кс = 1.3–2.8) и Cu (Кс = 2.0–2.6) в погребенных гумусовых горизонтах. Содержания

Mn, Co, Ni, Zn во всех горизонтах урбаноземов и урбосерых почв ниже фоновых содержаний.

Характер распределения и уровни содержания ТМ в темно-серых почвах трансэлювиальных ландшафтов террасы р. Речицы близки к таковым в автономных позициях. Почвы ТЭ ландшафтов

террасы р. Погарщины отличаются несколько повышенным содержанием всех ТМ по сравнению с урбосерыми и урбаноземами. Тем не менее, содержание ТМ в темно-серых почвах в основном соответствует слабому и минимальному уровням загрязнения. Наибольшие концентрации Cr ($K_c = 1.8-3.6$), Co ($K_c = 1.0-1.5$), Ni ($K_c = 1.1-1.4$), Pb ($K_c = 2.0-1.5$) приурочены к верхним 25 см почвенного профиля. Накопление Zn ($K_c = 1.3-1.6$) отмечается во всех горизонтах, кроме гумусового.

Исследования ТА ландшафтов показали, что в иловато-перегнойно-глеевых почвах поймы р. Речицы отмечается накопление Cu ($K_c = 2.6-3.3$) в средней части профиля на глеевых геохимических барьерах. Аллювиальные серогумусовые глеевые почвы поймы р. Погарщины характеризуются минимальным накоплением всех изученных элементов, кроме Cu и Ni, которые обнаруживают слабый уровень загрязнения ($K_c \text{ Cu} = 2.7-3.3$; $K_c \text{ Ni} = 1.4-2.1$) в верхних горизонтах.

Расчет коэффициентов местной миграции ТМ показал, что в катене 1 (р. Речица) наибольшие значения наблюдаются в почвах трансэлювиальных ландшафтов террас (табл. 4а). Прослеживается латеральная миграция Cr, Mn и Pb со слабой степенью ее контрастности ($K_m = 1.3-1.5$).

В катене 2 (р. Погарщина) латеральная миграция элементов выражена ярче. В подчиненных ландшафтах обнаруживается увеличение содержания всех исследуемых элементов (табл. 4б). Особенно контрастно распределение Cr, Co, Ni и Zn ($K_m > 2$).

Можно констатировать, что многолетнее воздействие промышленных объектов МГОКа и автотранспорта на городские ландшафты привело лишь к фрагментарному слабому загрязнению

Таблица 4. Коэффициенты местной миграции ТМ в почвах катен к р. Речице (а) и р. Погарщине (б)

а							
Геохимический ландшафт	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
Э	1	1	1	1	1	1	1
ТЭ	1.3	1.5	1.1	1	1	1	1.3
ТА	1	1.1	1.1	1	1	0.8	1
б							
Геохимический ландшафт	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
Э	1	1	1	1	1	1	1
ТЭ	2.5	1	2.7	1.7	1.3	1.8	1.8
ТА	1.3	1.6	2.7	2.5	1.5	2	1.5

почв города ТМ. Из спектра ТМ, присутствующих в выбросах МГОКа, заметное накопление обнаруживают Cr и Cu. Загрязнение почв этими элементами на отдельных городских участках приближается к среднему уровню. В почвах ландшафтов вблизи основных автомагистралей города установлено повышенное содержание Pb. В зависимости от условий миграции, ТМ накапливаются в трансэлювиальных и трансаккумулятивных ландшафтах.

Геохимические исследования почв в зоне воздействия МГОКа. Геохимические исследования сопряженных ландшафтов, проведенные в зоне влияния МГОКа, показали, что уровень загрязнения почв элювиальных ландшафтов промплощадки (промышленные объекты 1, 2 на рис. 1) лежит в интервале “минимальный – слабый”. Наибольшие K_c отмечены для Cu (2.7), Cr (1.8), Mn (1.7).

Анализ распределения ТМ по профилю элювиальных серых типичных почв промплощадки выявил накопление Cu и Mn в серогумусовых аккумулятивных горизонтах (АУ), что может свидетельствовать о техногенном аэральном поступлении этих элементов в почвы. Повышенное содержание Cr ($K_c = 1.5-2.0$) обнаружено во всех почвенных горизонтах, что связано с атмотехногенным поступлением элемента и дальнейшим его перераспределением по почвенному профилю. Наблюдаемое накопление Zn в текстурных горизонтах ВТ ($K_c = 1.6$), скорее всего, обусловлено течением естественных почвенных процессов.

Исследование содержаний ТМ в почвах элювиальных ландшафтов на разном удалении от промплощадки в направлении преобладающих ветров показало, что в 0.3 км содержание Co в почвах снижается до фонового уровня, в 3 км равным фоновому становится содержание Mn. Содержание Cu, Cr, Zn, Pb в гумусовых горизонтах почв элювиальных ландшафтов повышено во всех точках исследования (табл. 5).

Исследование содержания ТМ в почвах трансэлювиальных ландшафтов (в 3 км к северо-востоку

Таблица 5. Содержание ТМ (мг/кг) в гумусовых горизонтах серых типичных почв элювиальных ландшафтов на разном удалении от МГОКа

Расстояние от МГОКа, км	Микроэлементы						
	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
0.3	40	1000	5	10	30	40	30
3	60	600	4	10	35	40	30
6	50	600	6	15	30	50	30

и в 6 км к югу от МГОКа) показало, что их значения близки к таковым в почвах водораздела. Полученные результаты говорят о незначительном латеральном переносе ТМ в геохимическом сопряжении: элювиальный – трансэлювиальный ландшафт.

Хвостохранилище МГОКа занимает часть русла р. Песочной. ТМ, накопленные в хвостохранилище за многие годы его существования, могут поступать во время паводков в составе взвесей в прибрежные ландшафты хвостохранилища, а в растворенных формах проникать в грунтовые воды и мигрировать с ними, задерживаясь на геохимических барьерах в трансаккумулятивных ландшафтах. В связи с этим были изучены почвы поймы р. Песочной и днищ балок 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 ($K_c < 2$).

Изучение аллювиальных серогумусовых оподзоленных почв днища лесной балки выше хвостохранилища (2 км к северу) показало, что в нижней части гумусового, с признаками глееватости, горизонта на глубине 13–40 см накапливается Mn: $K_c = 3$. В нижележащем глеевом горизонте отмечен слабый уровень загрязнения для Cu ($K_c = 3.5$), Zn и Pb ($K_c = 2.5$); средний уровень загрязнения для Cr ($K_c = 7$). Обогащение нижней части профиля почвы ТМ определяется осаждением на глеевом барьере ТМ из верхней части профиля и воздействием загрязненных грунтовых вод, связанных с акваторией хвостохранилища (рис. 2).

ТМ исследовались ниже хвостохранилища, в 0.5 км к востоку, в аллювиальной болотной иловато-торфяной почве [13], сформировавшейся

в понижении с близким залеганием уровня грунтовых вод (табл. 6). О влиянии хвостохранилища на содержание ТМ 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 ее в р. Свапу (11 км к югу от хвостохранилища) зафиксированы наиболее высокие содержания Mn. Содержание этого элемента в горизонте Cg на глубине 80–90 см, постоянно испытывающем воздействие почвенно-грунтовых вод, в 5 раз выше фонового содержания, что соответствует среднему уровню загрязнения. В срединных горизонтах профиля отмечено также слабое накопление Cr, Cu и Zn (рис. 3).

Как видим, загрязнение аллювиальных серогумусовых почв долины р. Песочной обнаруживается в 1 км к северу от хвостохранилища и прослеживается на протяжении 11 км по течению реки, вплоть до впадения ее в р. Свапу. Загрязнение ландшафтов днищ балок фиксируется в 2 км к северу и 500 м к юго-востоку от хвостохранилища. Таким образом, общий фон загрязнения почв ТМ в зоне воздействия

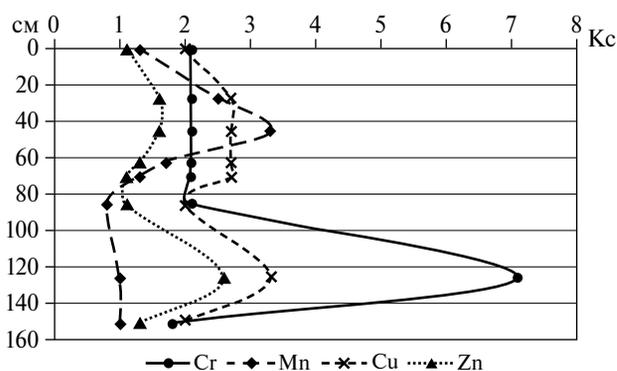


Рис. 2. Распределение K_c тяжелых металлов в аллювиальных серогумусовых оподзоленных средне-суглинистых почвах. Днище балки в лесу в 2 км от хвостохранилища.

Таблица 6. Содержание ТМ (мг/кг) в аллювиальной болотной иловато-торфяной почве, 0.5 км к востоку от южного края хвостохранилища

Горизонты	Глубина, см	Микроэлементы						
		Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
G1	12–20	—	350	—	50	28	91	20
G2	20–42	—	400	—	53	20	94	18
G3	42–55	—	360	—	57	26	92	18

Примечание. “—” не определялось.

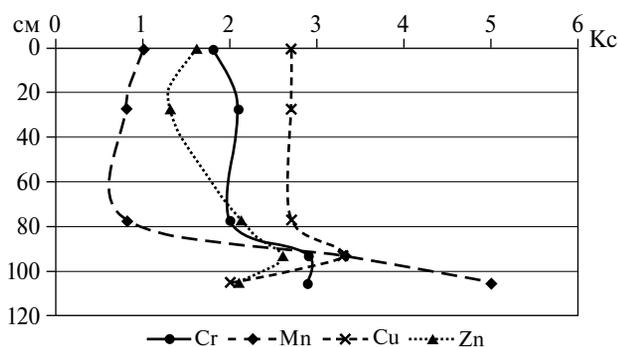


Рис. 3. Распределение Кс тяжелых металлов в алювиальных серогумусовых почвах. 11 км ниже хвостохранилища, 50 м от устья р. Песочной.

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 (Кс = 3.7), Mn (Кс = 5), Cr (Кс = 7). Накопление ТМ связано с их осаждением на окислительно-восстановительных и седиментационных геохимических барьерах.

Гидрогеохимические исследования вод и донных отложений рр. Речицы, Песочной, Черни. Воздействие промышленных объектов, расположенных на территории г. Железнодорожска, на аквальные ландшафты, оценивалось по результатам гидрохимических

и геохимических исследований воды и донных отложений р. Речицы. Как видно из табл. 7, в пробах воды, отобранных ниже города в точке 2 (см. рис. 1), все гидрохимические показатели возрастают по сравнению с таковыми, взятыми выше города в точке 1. Минерализация воды ниже города увеличивается почти в 2 раза, концентрация хлоридов, одного из основных показателей антропогенного загрязнения, возрастает в 3.5 раза.

Анализ микроэлементного состава воды и донных отложений р. Речицы выше и ниже города также свидетельствуют о загрязняющем влиянии городских промышленных и бытовых объектов (табл. 8). Концентрации растворенных форм исследуемых элементов ниже города увеличиваются в 1.5–2 раза. Превышение ПДК (для рыбохозяйственных объектов) в точке 2 отмечено для Fe (в 20 раз) и Cu (в 3.5 раза). В точке 2 ниже города содержание всех ТМ в донных отложениях существенно выше, чем в точке 1; наиболее высокие концентрации отмечаются для Pb, Ni и Co: в 4–5 раз выше, чем до города.

Деятельность МГОКа ведет к геохимической трансформации аквальных ландшафтов рек Песочной и Черни, что сказывается на содержании химических элементов в водах и донных отложениях (табл. 9).

В пробах воды р. Песочной, отобранных ниже хвостохранилища (точки 4, 5), по сравнению с пробами из выше расположенных участков

Таблица 7. Гидрохимические показатели воды р. Речицы, июнь 2015–2016 гг.

Объект	рН	М	НСО ₃ ⁻	Сl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
		Σ ионов	мг/л				
р. Речица выше города (точка 1)	7.7	310	244	14.2	44.7	39.6	5.5
р. Речица ниже города (точка 2)	7.9	590	378.2	44.0	84.3	68.6	11.4

Таблица 8. Содержание ТМ и других микроэлементов в речных водах (растворенная форма, мкг/л) и донных отложениях (мг/кг сухого вещества) р. Речицы, 2015–2016 гг.

Объект	Fe	Ti	Cr	Ni	Zn	Cu	Pb	Mn	Co
Речные воды, мкг/л									
р. Речица, точка 1	1077	59	5.1	3.3	0.5	2.5	0.008	0.8	0.4
р. Речица, точка 2	2259	138	7.3	7.5	0.8	3.5	0.008	1.2	0.7
ПДК рыбохоз.	100	60	20	10	10	1	6	10	10
Донные отложения, мг/кг									
р. Речица, точка 1	7701	1838	19.7	4.0	63.1	8.5	10.3	227	1.8
р. Речица, точка 2	23428	3399	40.0	19.0	212.2	27.0	57.3	493	8.4

Таблица 9. Гидрохимические показатели речных вод, июнь 2015 г.

Объект	рН	М	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Р мин.
		Σ ионов	мг/л					мкг/л
р. Песочная, точка 3	7.7	270	165	8.5	25.2	53.9	8.6	103
р. Песочная, точка 4	7.7	530	305	12.1	77.1	79.7	8.2	803
р. Песочная, точка 5	7.7	490	287	14.2	62.3	66.5	7.9	—
р. Чернь, точка 6	7.7	390	262	12.1	43.3	45.9	7.4	462
р. Чернь, точка 7	7.8	660	256	22.2	73.6	97.8	11.0	—
р. Чернь, точка 8	7.8	630	260	49.7	56.8	75.8	34.7	—

Примечание. “—” не определялось.

(точка 3), повышено содержание Са и Mg-элементов, связанных с технологическими процессами МГОКа. Наибольшие концентрации этих элементов наблюдаются в воде в точке 4 в 1.5 км ниже хвостохранилища. Вниз по течению реки, в 8 км от хвостохранилища, значения гидрохимических показателей в воде снижаются (точка 5), но остаются близкими к таковым около хвостохранилища (точка 4).

Наибольшие концентрации химических элементов в пробах воды р. Песочной наблюдаются в 1.5 км ниже хвостохранилища (табл. 10, точка 4). Высокое содержание Fe, основного загрязнителя, отмечается в воде на всех точках отбора. Даже выше хвостохранилища (точка 3) содержание Fe в воде превышает ПДК почти в 2.5 раза. Ниже хвостохранилища (точки 4 и 5) содержание Fe увеличивается и уже превышает ПДК в 5–7 раз. В пробах воды в этих точках существенно повышены также содержания Ti (в 3 раза) и Cr.

В ходе двухлетних геохимических исследований донных отложений р. Песочной были получены

несколько неожиданные результаты: наиболее высокие концентрации всех элементов обнаружены на участке реки выше хвостохранилища (точка 3) – содержание Cr, Mn и Ni в 1.5 раза, Zn в 2.3 раза, Cu в 2.5 раза больше, чем в точке 4, расположенной ниже этого объекта (табл. 11). Существенное уменьшение концентраций всех химических элементов, кроме Cu и Zn, наблюдается в 8 км ниже хвостохранилища в точке 5. Содержание же Cu и Zn на этом участке опробования увеличивается, а Cu становится даже больше, чем выше хвостохранилища. Такое распределение ТМ в донных отложениях р. Песочной может быть отчасти обусловлено замедленным водообменом вследствие функционирования хвостохранилища и формирования гидродинамической зоны подпора подземных вод [2]. Загрязнение донных отложений р. Песочной может быть связано с влиянием паводковых и грунтовых вод, с которыми загрязнители из хвостохранилища поступают в реку, а также с аэральным привносом химических веществ в сопредельные ландшафты.

Таблица 10. Содержание химических элементов в речных водах, растворенная форма, мкг/л, 2015–2016 гг.

Объект	Fe	Ti	Cr	Ni	Zn	Cu	Pb	Mn	Co
р. Песочная, точка 3	253	52	16.6	1.7	0.8	0.6	0.08	1.2	0.1
р. Песочная, точка 4	695	151	31.8	3.0	0.8	0.5	0.07	0.4	0.2
р. Песочная, точка 5	599	124	28.0	2.8	1.2	1.0	0.1	0.4	0.3
р. Чернь, точка 6	767	70	14.3	2.5	0.5	1.6	0.08	0.6	0.3
р. Чернь, точка 7	1634	151	4.8	6.2	1.2	3.0	0.02	0.6	0.6
р. Чернь, точка 8	976	122	14.5	5.0	2.8	3.8	0.17	0.7	0.4
ПДК рыбохоз.	100	60	20	10	10	1	6	10	10

Таблица 11. Содержание тяжелых металлов в иловых речных отложениях, мг/кг сухого вещества, 2015–2016 гг.

Река	Fe	Ti	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
р. Песочная, точка 3	12615	3159	30.8	434	6.2	17.9	17.1	55.6	12.3
р. Песочная, точка 4	11312	2401	18.9	281	4.5	10.8	6.6	23.7	12.1
р. Песочная, точка 5	6883	909	9.0	296	1.9	6.9	32.9	35.4	9.3
р. Чернь, точка 6	16047	2267	21.5	1029	13.1	13.1	9.9	25.8	12.7
р. Чернь, точка 7	30676	4646	65.4	1233	15.5	30.5	29.6	122.3	25.8
р. Чернь, точка 8	7910	817	10.9	118.3	2.4	3.4	3.1	26.8	5.9

Гидрохимические и геохимические показатели воды и донных отложений р. Чернь выше, чем в других реках района исследований (см. табл. 9–11). Исследования концентраций растворимых форм ТМ показали, что вода р. Чернь так же, как и р. Песочной, характеризуется высоким уровнем содержания Fe и Ti (см. табл. 10). Концентрации этих элементов в воде на всех точках опробования превышают ПДК. Максимальное превышение ПДК Fe и Ti (в 16 и 2.5 раза соответственно) зафиксировано в воде на участке реки в сфере непосредственного влияния отвалов вскрышных пород (точка 7). В этой точке отмечаются повышенные концентрации Ni, Cu, Co, а также Ca и Mg-элементов, связанных с деятельностью МГОКа (см. табл. 9, 10).

Гидрогеохимический состав воды р. Чернь в точке 8 после впадения в нее р. Речицы характеризуется наибольшими значениями концентраций ионов (HCO_3^- , Cl^- , Na^+) и ТМ. Очевидно, уровень концентраций Zn, Pb и Cu в воде р. Чернь связан в основном с приносом их в составе городских стоков с автомагистралей и территории промышленных объектов г. Железнодорожска. На этом участке реки содержание Cu в воде превышает ПДК в 3.8 раза (см. табл. 10).

В донных отложениях р. Чернь (см. табл. 11) уровень содержания ТМ на участке после впадения р. Речица (в точке 8) существенно меньше, чем около отвалов (точка 7) и вблизи промплощадки МГОКа (точка 6), а также на “выходе” р. Речица из Железнодорожска (точка 2). Полученные данные о составе вод и донных отложений рек свидетельствуют о том, что основная доля ТМ, поступающих с городскими стоками, осаждаются до впадения р. Речицы в р. Чернь.

Сравнительный анализ максимальных концентраций ТМ в донных отложениях рек позволяет сделать вывод, что р. Чернь, протекающая вблизи карьера и отвалов вскрышных пород, несет

наибольшую техногенную нагрузку по сравнению с другими реками исследуемого ареала. В донных отложениях р. Чернь на этом участке наблюдается наибольшее содержание всех ТМ. Исключения составляют лишь Zn и Pb (элементы, свойственные городским стокам), максимальные концентрации которых обнаружены в донных отложениях р. Речицы на выходе из г. Железнодорожска (рис. 4).

Закключение. Техногенная геохимическая трансформация ландшафтов в Железнодорожском ареале обусловлена влиянием промышленных объектов МГОКа: его карьера, хвостохранилища, отвалов вскрышных пород. Многолетнее воздействие предприятий МГОКа на окружающие ландшафты привело к разной степени геохимической трансформации их компонентов.

Почвы характеризуются слабой геохимической трансформацией. Общий фон загрязнения почв ТМ в зоне воздействия МГОКа соответствует минимальному–слабому уровням. Наиболее высокие концентрации Cu ($K_c = 3.5$), Ni ($K_c = 3.7$), Mn ($K_c = 5$), Cr ($K_c = 7$) обнаружены в глеевых горизонтах почв трансаккумулятивных ландшафтов, сопредельных с хвостохранилищем. Накопление ТМ связано с их осаждением на окислительно-восстановительных и седиментационных геохимических барьерах.

Воздействие объектов МГОКа и автотранспорта на ландшафты г. Железнодорожска привело лишь к фрагментарному слабому загрязнению почв города ТМ. Из спектра ТМ, присутствующих в выбросах МГОКа, заметное накопление в почвенных профилях обнаруживают Cr и Cu. Загрязнение почв этими элементами на отдельных городских участках приближается к среднему уровню. В зависимости от условий миграции ТМ накапливаются в трансэлювиальных и трансаккумулятивных ландшафтах.

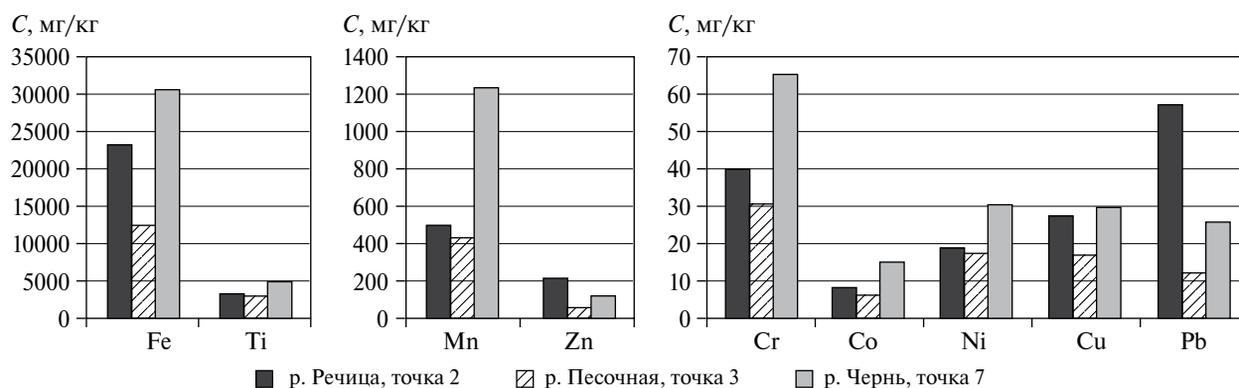


Рис. 4. Сравнительная характеристика максимального загрязнения донных отложений ТМ исследуемых рек Железнодорожного промышленного ареала.

Геохимическая трансформация аквальных ландшафтов выражена более ярко и характеризуется существенным загрязнением воды и донных отложений в зонах воздействия МГОКа. В воде всех исследуемых рек отмечается высокое содержание Fe, превышающее ПДК для рыбохозяйственных объектов в десятки раз, что отчасти связано с геохимической спецификой Железнодорожного ареала.

Акваландшафты р. Песочной подвержены существенному влиянию хвостохранилища. В 1.5 км ниже него кроме повышенного содержания Fe (в 5–7 раз выше ПДК) в воде реки также превышают этот показатель Ti (в 3 раза), Cr и Ni (в 2 раза). Загрязнение воды Fe и Ti прослеживается вниз по течению реки на расстоянии 8 км от хвостохранилища. Радиус воздействия хвостохранилища охватывает аквальные ландшафты, расположенные не только ниже, но и выше этого техногенного источника. Накоплению загрязнителей в донных отложениях способствуют паводковые и грунтовые воды и аэральный привнос с пылью.

В изучаемом ареале наиболее сильно загрязнены аквальные ландшафты на участке р. Чернь ниже карьера и отвалов вскрышных пород. В донных отложениях р. Чернь отмечены наибольшие содержания всех ТМ, кроме Pb. Большую роль в формировании высоких уровней Zn, Cu и Pb играют городские стоки с территории промышленных объектов и автомагистралей г. Железнодорожска.

Геохимическая трансформация аквальных ландшафтов р. Речицы также является результатом совместного воздействия нескольких источников загрязнения. Наблюдаемое повышение концентрации ряда ТМ (Pb, Ni и Co) в донных отложениях и воде (Fe – 20 ПДК, Cu – 3.5 ПДК) реки ниже г. Железнодорожска объясняется как влиянием объектов железнорудного комплекса, так и поступлением в них ливневых вод с территории города. Основная

доля тяжелых металлов осаждается до впадения этой реки в р. Чернь.

Благодарности. Работа выполнена в рамках программы ГЗ № 0148-2014-0020, в части изучения геохимической трансформации и загрязнения почв – ГЗ № 0148-2016-0003.

Acknowledgments. This work was carried out in the framework of Scientific Research Plan of the Institute of Geography, no. 0148-2014-0020; and as for geochemical transformation and soils pollution no. 0148-2016-0003.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авессаломова И.А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1987. 108 с.
2. Бугреева М.Н., Титов Р.И. Гидрогеохимическая оценка подземных вод Михайловского промрайона КМА // Вестн. ВГУ. Сер.: Геология. 2002. № 2. С. 123–129.
3. Гонеев И.А., Кумани М.В. Влияние пылевых выбросов Михайловского ГОКа на загрязнение земель тяжелыми металлами // Вестн. ВГУ, Сер.: География. Геоэкология. 2010. № 1. С. 66–70.
4. Гонеев И.А., Чепелев О.А., Голусов П.В. Общие закономерности распространения тяжелых металлов в почвах зоны влияния горнорудных предприятий КМА // Ученые записки: электронный науч. журнал Курского государственного университета / Науки о Земле. 2011. Т. 1, № 3 (19).
5. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М.: Мысль, 1983. 272 с.
6. Железнодорожский промышленный ареал. Докл. о состоянии и охране окружающей среды на территории Курской области в 2014 г. Администрация Курской области. Департамент экологической безопасности и природопользования Курской области. Курск, 2015. С. 71–76.

7. *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.
8. *Замотаев И.В., Кайданова О.В., Кудерина Т.М., Курбатова А.Н., Сулова С.Б., Шилькрот Г.С.* Динамика загрязнения тяжелыми металлами городских ландшафтов Курской области // Геополитика и экогеодинамика регионов. Симферополь. Т. 10. Вып. 2. 2014. С. 322–327.
9. *Кемов К.Н., Стифеев А.И.* Состояние почвенного покрова в зоне влияния хвостохранилища Михайловского ГОКа и использование мелиорантов для повышения продуктивности овса и люцерны // Вестн. ОрелГАУ. № 4 (37). 2012. С. 36–38.
10. *Кичигин Е.В., Дыхлин В.В.* Оценка, прогноз режима подземных и поверхностных вод в зоне влияния хвостохранилища МГОКа. Железнодорожск, 1997. 134 с.
11. *Кичигин Е.В., Киянец А.В., Кумани М.В.* Исследование и оценка воздействия Михайловского ГОКа на подземные и поверхностные воды и разработка мероприятий, снижающих уровень экологической опасности. Железнодорожск, 1998. 228 с.
12. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
13. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
14. *Косинова И.И., Барабошкина Т.А., Косинов А.Е., Ильяш В.В.* Экологическая геология Курской магнитной аномалии (КМА). Воронеж: Изд-во ВорГУ, 2009. 216 с.
15. *Кумани М.В.* Оценка поверхностных водных ресурсов Железнодорожского промышленного района. Курск: КГУ, 2005. 48 с.
16. *Кумани М.В., Лисецкий Ф.Н.* Изучение транспорта и накопления загрязняющих веществ в донных отложениях рек агропромышленных регионов // Изв. Самарского научн. центра Российской академии наук. Т. 13, № 1 (6). 2011. С. 1443–1448.
17. *Кумани М.В., Попков Р.А.* Влияние промышленной эксплуатации Михайловского железорудного месторождения (КМА) на режим поверхностных вод района // Вестн. Воронежского ун-та. Сер. геол. 2007. Вып. 2. С. 189–194.
18. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982. 112 с.
19. ОСТ 15.372–87. Охрана природы. Гидросфера. Вода для рыбоводных хозяйств. Общие требования и нормы. Москва, 1988. 9 с.
20. *Пашкевич М.А., Понурова И.К.* Геоэкологические особенности техногенного загрязнения природных экосистем зоны воздействия хвостохранилища Михайловского ГОКа // Горный информационно-аналитический бюл. 2006. Вып. 5. С. 349–356.
21. *Перельман А.И., Воробьев А.Е.* Геохимия горнопромышленных ландшафтов и их систематика // Вестн. Моск. ун-та. Серия 5. География. М.: Изд-во МГУ, 1995. № 1. С. 16–22.
22. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. 3-е изд. М.: Астрей-2000, 1999. 768 с.
23. *Понурова И.К.* Оценка техногенного воздействия хвостохранилища Михайловского ГОКа на прилегающие агроландшафты // Зап. горного ин-та. 2006. Т. 167. Ч. 1. С. 97–99.
24. *Понурова И.К.* Защита природной среды на основе рациональной технологии консервации отходов обогащения на Михайловском ГОКе. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2007. 24 с.
25. *Попков Р.А.* Влияние Михайловского горнопромышленного комплекса КМА на водные ресурсы. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Курск, 2008. 25 с.
26. *Протасова Н.А., Щербаков А.П., Копаева М.Т.* Редкие и рассеянные элементы в почвах Центрального Черноземья. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1992. 168 с.
27. *Стифеев А.И., Фильчаков Ю.В., Бабенко О.В.* Хвостохранилище Михайловского ГОКа источник загрязнения природных ресурсов // Экология Центрально-Черноземной области Российской Федерации. 2005. № 2. С. 114–116.
28. *Строганова М.Н.* Городские почвы: генезис, систематика и экологическое значение. Автореф. дисс. ... д. биол. наук. М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 1998. 71 с.
29. *Филимонов П.Н.* Объектный мониторинг геологической среды в Михайловском горнопромышленном районе КМА (подземные воды). Железнодорожск: МГОК, 2004. 168 с.
30. *Фильчаков Ю.В.* Экологическое состояние природных ресурсов в зоне функционирования хвостохранилища Михайловского ГОКа КМА. Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Курск, 2008. 23 с.
31. *A.Md. Hossain.* Sustainable rehabilitation of mining waste and acid mine drainage using geochemistry, mine type, mineralogy, texture, ore extraction and climate knowledge // J. of Environmental Management XXX. (2015). P. 1–11.
32. *Bian Z., Miao X., Lei S., Chen S., Wang W., and Struthers S.* The Challenges of Reusing Mining and Mineral-Processing Wastes // Science 337. 702 (2012). P. 701–703.
33. *Hudson-Edwards K.A., Jamieson H.E., and Lottermoser B.G.* Mine Wastes: Past, Present, Future // Elements. Vol. 7. 2011. P. 375–380.
34. *Lottermoser Bernd G.* Recycling, Reuse and Rehabilitation of Mine Wastes // Elements. Vol. 7. 2011. P. 405–410.
35. *Uzarowicz Ł. and Skiba S.* Technogenic soils developed on mine spoils containing iron sulphides: Mineral transformations as an indicator of pedogenesis // Geoderma. Vol. 163. Issues 1–2. 15 June 2011. P. 95–108.

REFERENCES

1. Avessalomova I.A. *Geokhimicheskie pokazateli pri izuchenii landshaftov* [Geochemical Indices in the Study of Landscapes]. Moscow: Moscow State Univ., 1987. 108 p.
2. Bugreeva M.N., Titov R.I. Hydrogeochemical assessment of groundwater of Mikhailovsky industrial area KMA. *Vestn. VGU, Ser. Geolog.*, 2002, no. 2, pp. 123–129. (In Russ.).
3. Goneev I.A., Kumani M.V. The impact of dust emissions of the Mikhailovskiy ore dressing and processing enterprise on land contamination by heavy metals. *Vestn. VGU, Ser. Geogr. Geoecolog.*, 2010, no. 1, pp. 66–70. (In Russ.).
4. Goneev I.A., Chepelev O.A., Goleusov P.V. The main features of soil pollution with hard metals in the region influenced by Kursk Magnetic Anomaly. *Uchenye zapiski: electr. nauch. zhurnal Kursk State Univ. Nauki o Zemle.*, 2011, no. 3 (19), vol. 1. (In Russ.).
5. Dobrovolskii V.V. *Geografiya mikroelementov. Global'noe rasseyaniye*. [Geography of Trace Elements: Global Dispersion]. Moscow: Mysl' Publ., 1983, 272 p.
6. Zheleznogorskii promyshlennyi areal. Doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchei sredy na territorii Kurskoi oblasti v 2014 godu. Administratsiya Kurskoi oblasti. Departament ekologicheskoi bezopasnosti i prirodopol'zovaniya Kurskoi oblasti. Kursk: 2015, pp. 71–76.
7. Zamotaev I.V., Ivanov I.V., Mikheev P.V., Belobrov V.P. Transformation and contamination of soils in iron ore mining areas (a review). *Euras. Soil Sci.*, 2017, no. 3, pp. 370–384. (In Russ.).
8. Zamotaev I.V., Kaidanova O.V., Kuderina T.M., et al. The dynamics of heavy metal pollution of urban landscapes of Kursk region. *Geopolit. Ecogeodynamics Reg.*, 2014, vol. 10, no. 2, pp. 322–327. (In Russ.).
9. Kemov K.N., Stifeev A.I. Status of the soil cover in the area affected by tailings of Mikhailovskiy Mining and Processing Plant and use of ameliorants to increase the yields of oats and alfalfa. *Vestn. OrelSAU*, 2012, no. 4 (37), pp. 36–38. (In Russ.).
10. Kichigin Ye.V., Dyhlin V.V. *Otsenka, prognoz rezhima podzemnykh i poverkhnostnykh vod v zone vliyaniya khvostokhranilishcha MGOKa* [Evaluation and Forecast of the Regime of Underground and Surface Waters in the Area of Influence of the Tailings of Mikhailovskiy Mining and Processing Plant]. Zheleznogorsk, 1977. 134 p.
11. Kichigin Ye.V., Kiyants A.V., Kumani M.V. *Issledovanie i otsenka vozdeistviya Mihailovskogo GOKa na podzemnye i poverkhnostnye vody i razrabotka meropriyatii, snizhayushchikh uroven' ekologicheskoi opasnosti* [Research and Impact Assessment of Mikhailovskiy Mining and Processing Plant on Groundwater and Surface Water and the Development of Measures that Reduce the Level of Environmental Risk]. Zheleznogorsk, 1998. 228 p.
12. Classification and diagnostics of soils of Russia. Smolensk: Oikumena Publ., 2004. 342 p.
13. Classification and diagnostics of soils of the Soviet Union. Moscow: Kolos Publ., 1977. 224 p.
14. Kosinova I.I., Baraboshkina T.A., Kosinov A.Ye., Il'yash V.V. *Ekologicheskaya geologiya Kurskoi magnitnoi anomalii (KMA)*. [Ecological Geology of the Kursk Magnetic Anomaly]. Voronezh: VGU, 2009. 216 p.
15. Kumani M.V. *Otsenka poverkhnostnykh vodnykh resursov Zheleznogorskogo promyshlennogo raiona* [Elevation of Surface Water Resources of the Zheleznogorsk Industrial District]. Kursk, 2005, 48 p.
16. Kumani M.V., Lisetskii F.N. Analysis of transport and accumulation of pollutants in river bottom sediments of agroindustrial regions. *Izv. Samar. Nauch. Tsentra, Ross. Acad. Nauk*, 2011, no. 13(1), pp. 1443–1448. (In Russ.).
17. Kumani M.V., Popkov P.A. The impact of the industrial exploitation of the Mikhailovsky iron ore Deposit on the regime of surface waters of the area. *Vestn. VSU, Ser. Geolog.*, 2007, no. 2, pp. 189–194. (In Russ.).
18. *Metodicheskie rekomendatsii po geokhimicheskoi otsenke zagryazneniya territorii gorodov khimicheskimi elementami* [Methodic Recommendations for Geochemical Assessment of Pollution of Urban Areas Chemical Elements]. Moscow: IMGRE Publ., 1982. 112 p.
19. OST 15.372–87. Okhrana prirody. Gidrosfera. Voda dlya rybovodnykh hozyaistv. Obshchie trebovaniya i normy. Moscow, 1988, 9 p.
20. Pashkevich M.A., Ponurova I.K. Geoecological features of technogenic pollution of natural ecosystems of the area affected by tailings of the Mikhailovskiy Mining and Processing Plant. *Gorn. Inf.-Anal. Byull.*, 2006, no. 5, pp. 349–356. (In Russ.).
21. Perel'man A.I., Vorob'ev A. Ye. Geochemistry of mining landscapes and their systematic. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5. Geogr.*, 1995, no. 1, pp. 16–22. (In Russ.).
22. Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshaftov* [Geochemistry of landscapes]. Moscow: Nauka Publ., 1999, 768 p.
23. Ponurova I.K. Elevation of technogenic impact of tailings of the Mikhailovskiy Mining and Processing Plant on adjacent agricultural landscapes. *Zap. Gorn. Inst.*, 2006, no. 167 (1), pp. 97–99. (In Russ.).
24. Ponurova I.K. The Protection of the Natural Environment on the Basis of Rational Technology of Preservation of the Tailings at the Mikhailovskiy Mining and Processing Plant. Extended Abstract of Cand. Sci. (Tech.) Dissertation. St. Petersburg, 2007, 24 p.
25. Popkov R.A. The Influence of the Mikhailovskiy Mining-industrial Complex of the Kursk Magnetic Anomaly on Water Resources. Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation. Kursk, 2008, 25 p.
26. Protasova N.A., Shcherbakov A.P., Kopaev M.T. *Redkie i rasseyannye elementy v pochvakh Tsentral'nogo Chernozemnyya* [Rare and dispersed elements in soils of the Central Chernozem region]. Voronezh: VGU, 1992. 168 p.
27. Stifeev A.I., Fil'chakov Yu.V., Babenko O.V. The tailings of the Mikhailovskiy Mining and Processing Plant is the the source of pollution of natural resources. *Ecolog.*

- Tsentr.-Chernoz. obl. Ros. Feder.*, 2005, no. 2, pp. 114–116. (In Russ.).
28. Stroganova M.N. Urban Soils: Genesis, Taxonomy and Ecological Importance]. Extended Abstract of Doct. Sci. (Biol.) Dissertation. Moscow, 1998. 71 p.
 29. Filimonov P.N. *Ob'ektnyi monitoring geologicheskoi sredy v Mikhailovskom gornopromyshlennom raione KMA (podzemnye vody)* [Object the monitoring of the geological environment in the Mikhailovskiy mining-industrial area of the Kursk Magnetic Anomaly (underground water)]. Zheleznogorsk, 2004. 168 p.
 30. Fil'chakov Yu.V. The Ecological Condition of Natural Resources in the Area of Operation of the Tailings of Mikhailovskiy Mining and Processing Plant. Extended Abstract of Cand. Sci. (Agric.) Dissertation. Kursk, 2008, 23 p.
 31. A.Md. Hossain. Sustainable rehabilitation of mining waste and acid mine drainage using geochemistry, mine type, mineralogy, texture, ore extraction and climate knowledge *J. Environ. Manag.*, 2015, vol. XXX, pp. 1–11.
 32. Bian Z., Miao X., Lei S., Chen S., Wang W., Struthers S. The Challenges of Reusing Mining and Mineral-Processing Wastes. *Science*, 337, 702 (2012), pp. 701–703.
 33. Hudson-Edwards K.A., Jamieson H.E. and Lottermoser B.G. Mine Wastes: Past, Present, Future. *Elements*, vol. 7, 2011, pp. 375–380.
 34. Lottermoser Bernd G. Recycling, Reuse and Rehabilitation of Mine Wastes. *Elements*, vol. 7, 2011, pp. 405–410.
 35. Uzarowicz Ł., Skiba S. Technogenic soils developed on mine spoils containing iron sulphides: Mineral transformations as an indicator of pedogenesis. *Geoderma*, 2011, vol. 163, no. 1–2, pp. 95–108.