

ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

к 100-летию А.И. Перельмана

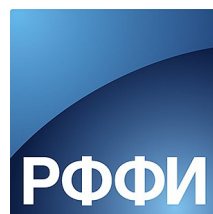


**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ,
ПЕТРОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ РАН**

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ



**ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ
(к 100-летию А.И. Перельмана)**

**Доклады
Всероссийской научной конференции**

Москва, 18-20 октября 2016 г.

Москва-2016

УДК 911.2:550.4:631.4 (082)

ББК 26.82

Г 367

Редколлегия:

Н.С. Касимов (председатель), А.Н. Геннадиев, М.И. Герасимова, Н.Е. Кошелева,
П.П. Кречетов, Ю.И. Пиковский

Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана). Доклады Всероссийской научной конференции. Москва, 18-20 октября 2016 г., М.: Географический факультет МГУ, 2016. – 32 Mb.

ISBN 978-5-89575-236-4

Материалы Всероссийской научной конференции «Геохимия ландшафтов», посвященной 100-летию А.И. Перельмана, включают тезисы докладов более 200 авторов, в которых обсуждается широкий спектр современных проблем геохимии ландшафтов. Рассматриваются вопросы геохимии природных ландшафтов, почв и коры выветривания, техногенных ландшафтов, биогеохимии, гидрогеохимии зоны гипергенеза, палеогеохимии биосферы. Приводятся результаты исследования геохимических барьеров и миграции химических элементов. Излагаются новые достижения в области ландшафтно-геохимического картографирования, геохимических поисков полезных ископаемых, исследования геохимических циклов элементов.

Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) по проекту № 16-05-20778 и ФАНО соглашение № 007-ГЗ/Ц8550/136/3.

УДК 911.2:550.4:631.4 (082)

ББК 26.82

ISBN 978-5-89575-236-4

©Коллектив авторов, 2016

©ИГЕМ РАН, 2016

©Географический факультет МГУ, 2016

УДК 631.4:631.125(470.312)

ЛАТЕРАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОИДОВ В ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ БАСЕЙНА Р. СЕЛЕНГИ

Тимофеев И.В.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: vano-timofeev@yandex.ru

Введение. Горнопромышленный тип техногенеза, по недавним оценкам [1], входит в десятку крупнейших экологических проблем мира. Он проявляется в смене направленности и интенсивности процессов рельефообразования, изменении баланса эрозионно-аккумулятивных процессов, а также в вовлечении в миграционные потоки больших количеств поступающих в ландшафты тяжелых металлов и металлоидов (ТММ), что приводит к загрязнению почв, растений, поверхностных и подземных вод. Поэтому экологические последствия разработки месторождений цветных металлов и других полезных ископаемых активно изучаются в различных регионах мира [2-5].

Цель данной работы – определить условия миграции и оценить аккумуляцию ТММ в почвах катен горнопромышленных ландшафтов г. Закаменска (Республика Бурятия), где расположено крупнейшее месторождение вольфрама и молибдена, до 1997 г. разрабатываемое Джидинским вольфрамо-молибденовым комбинатом (ДВМК). Для достижения цели решались следующие задачи: 1) охарактеризовать условия формирования и локализацию педогеохимических аномалий в зоне влияния ДВМК; 2) выявить ведущие почвенно- и ландшафтно-геохимические факторы накопления ТММ в катенах и по их сочетанию диагностировать латеральные геохимические барьеры.

Объект исследования. Природные условия. Исследуемая территория площадью 45 км² приурочена к границе двух региональных геологических структур, представленных карбонатно-терригенными толщами нижнего палеозоя Джидинского синклинария и интрузивами гранитоидов Модонкульского массива с глубиной расчленения 300-400 м. Климат резко континентальный с холодной и малоснежной зимой и коротким теплым летом; годовое количество осадков 250-300 мм, ветер преимущественно западного и юго-западного направлений.

В автономных позициях и на крутых склонах развиты горные дерново-таежные и дерново-карбонатные почвы под лесной растительностью, представленной лиственницей сибирской и березой плосколистной с подлеском из рододендрона даурского, шиповника иглистого, голубики обыкновенной. В межкотловинных понижениях на нижних частях пологих склонов и долинах рек Модонкуль и Джиды под антропогенно нарушенной луговой, лугово-болотной растительностью распространены дерновые лесные почвы, а под луговой с редкими ивняками – аллювиально-луговые.

Техногенное воздействие. Градообразующим предприятием в г. Закаменске с 1934 по 1997 гг. был Джидинский комбинат, где велась эксплуатация месторождений молибдена (Первомайское), вольфрама (Инкурское и Холтосонское рудные, Инкурское и Холтосонское россыпные) и золота (Мыргэншено, Ивановка). В результате его деятельности образовалось 3 хвостохранилища – Джидинское (насыпное), Барун-Нарынское (гидроотвал) и аварийное. Первые два с 2000-х гг. получили статус месторождений, т.к. содержат высокие концентрации W и Mo; в последнем в 2011 г. был проведен I этап рекультивации с перемещением материала в верхнюю часть Барун-Нарынского хвостохранилища. С 2010 г. компания ЗАО «Закаменск» начала добычу W-концентрата из Барун-Нарынского месторождения и складирование отходов в новое Зун-Нарынское хвостохранилище.

Методы и материалы исследований. Почвенно-геохимическая съемка г. Закаменска проводилась летом 2013 г., в ходе которой было заложено 8 катен с 31 почвен-

ным разрезом через долину р. Модонкуль на расстоянии 0,5-1,5 км друг от друга (рис. 1). Почвенные разрезы закладывались в четырех ландшафтно-геохимических позициях: элювиальной (Э) – вершины холмов с глубоким залеганием грунтовых вод и поступлением вещества из атмосферы; трансэлювиальной (ТЭ) – склоны долин рек; трансаккумулятивной (ТА) – нижние части склонов; супераккумулятивной (СА) – участки средней и высокой поймы рр. Джиды, Модонкуль, Зимка. Геохимические ландшафты выделены путем анализа цифровой модели рельефа исследуемых территорий [6].



Рис. 1. Карта фактического материала. Хвостохранилища: 1 – Джидинское; 2 – Барун-Нарынское; 3 – Зун-Нарынское; 4 – аварийное; 5 – Модонкульское техногенное месторождение

Валовое содержание 54 ТММ в 98 образцах почв, отобранных из генетических горизонтов, определялось масс-спектральным и атомно-эмиссионным методами с индуктивно-связанной плазмой во ВНИИ минерального сырья им. Н.М. Федоровского. Для подробного анализа выбрано 16 приоритетных загрязнителей, обладающих высокой токсичностью для живых организмов и относящихся к I (Zn, As, Pb, Cd), II (Cr, Co, Ni, Cu, Mo, Sb), III (V, Sr, Ba, W) классам опасности, а также Sn и Bi.

Контрастность распределения ТММ в катенах характеризовалась коэффициентом латеральной дифференциации L , равным отношению средневзвешенных по почвенному профилю концентраций поллютантов в рассматриваемом ландшафте к автономному (элювиальному). В зависимости от его величины определялся вид латеральной миграционной дифференциации ТММ: 1) аккумулятивный ($L > 1,3$) – с концентрацией элементов в почвах подчиненных ландшафтов; 2) монотонный ($0,7 < L < 1,3$) – без существенных геохимических различий; 3) транзитный ($L < 0,7$) – с обеднением ТММ подчиненных ландшафтов относительно автономных [7, 8]. Имеющаяся классификация катен [7, 8] была дополнена: помимо выделенных ранее типов дифференциации выделены колоколообразный и волнообразный типы. Первый характеризуется накоплением ТММ в средней части катены, т.е. в трансэлювиальных и трансаккумулятивных позициях, второй – чередованием в катене высоких и низких значений коэффициентов L .

Результаты. Латеральная дифференциация ТММ в почвах катен. Расчет коэффициентов L ТММ в фоновой катене (табл. 1) показал, что распределение всех элементов, за исключением Bi, Sr, Zn, Cr и W, относится к транзитному типу. Это связано с природными условиями: почвы имеют малую мощность в результате формирования на кристаллических породах, обогащенных этими элементами; физико-химические свойства почв обладают довольно слабой вариабельностью в катене с коэффициентами вариации $C_v=4-20\%$: пределы колебаний $pH - 5,2-6,3$, содержания физического песка 72,3-77,5%, глины 2,0-2,8%, $Al_2O_3 - 12,2-16,5\%$, $Fe_2O_3 - 6,1-9,4\%$. Распределение Bi равномерное, т.е. не зависит от геохимической позиции; Sr и Zn – колоколообразное, а Cr и W – волнообразное.

В результате активного техногенного воздействия латеральная миграция ТММ в условиях города приобрела совершенно иной характер (табл. 1). Халькофильные элементы Cu, Sb, Pb, Mo, W, Bi накапливаются в подчиненных позициях – трансаккумулятивных и супераквальных ландшафтах. Наибольшие значения коэффициентов латеральной дифференциации L характерны для рудных элементов Mo ($L=47,3$) и W (25,6) и их спутников Bi (35,3), Sb (14,6), Pb (10,8). Пары элементов Cr-Ni и Sr-Ba изменили транзитный тип распределения на колоколообразный, с накоплением в трансаккумулятивной позиции. Zn-Cd имеют волнообразный тип дифференциации. Это можно объяснить тем, что трансэлювиальные позиции занимает природно-рекреационная зона с лиственничными и березовыми лесами, где техногенное воздействие минимально. К трансаккумулятивной приурочены ДВМК и Джидинское хвостохранилище, которое оказывает активное воздействие на микроэлементный состав почв в результате процессов выветривания. В супераквальной располагаются завод «Литейщик», ТЭЦ и дорожно-транспортная сеть, влияние которых не столь значительно, как у ДВМК и мест складирования отходов. Пространственное распределение ассоциации V-Co и Sn в городе по сравнению с фоном никак не изменилось.

Таблица 1

Латеральная дифференциация фоновых и почв городских катен в зоне влияния ДВМК (по средневзвешенному в почвенном профиле содержанию ТММ)

Условия	Тип дифференциации почв катен по содержанию ТММ				
	Транзитный	Монотонный	Аккумулятивный	Колоколообразный	Волнообразный
Фоновые	Cu, As, Sb, Mo, Pb, V, Co, Ni, Ba, Cd, Sn	Bi	–	Sr, Zn	Cr, W
Городские	V, Co, Sn	As	Cu, Sb, Mo, Pb, Bi, W	Cr, Ni, Sr, Ba	Zn, Cd

Курсивом выделены элементы, имеющие одинаковую латерально-миграционную дифференциацию в фоновых и городских почвах

Диагностика латеральных геохимических барьеров. Ведущие природные и антропогенные факторы, обуславливающие пространственные различия в уровнях содержания ТММ в почвах катен, выявлены путем многофакторного регрессионного анализа. Рассмотрено влияние следующих факторов: (1) функционального назначения городских территорий, которое отражает антропогенную нагрузку на ландшафты; (2) почвообразующей породы, определяющей природную геохимическую неоднородность почв; (3) геохимической позиции элементарного ландшафта; (4-10) физико-химических свойств почв, влияющих на миграционную способность элементов: реакции среды, содержания гумуса и оксидов Al, Fe, Mn, гранулометрического состава (количества физической песка и илистой фракции).

Установлено, что концентрации всех элементов, за исключением Zn и Cd, пространственное распределение которых определяется геохимической позицией, зависят

от физико-химических свойств почв (табл. 2). Наиболее значимым фактором оказалось содержание физического песка (частиц размером $> 0,01$ мм): при увеличении его количества повышается содержание Cr, Ni, Cu, W, Pb, Bi. Это объясняется антропогенным происхождением этой фракции: при извлечении полезной компоненты исходная порода, обогащенная этими элементами, дробится на частицы размером 0,07 мм и менее, в результате чего поллютанты с пылью поступают в атмосферу, а при ее выпадении загрязняют почвы. Вторичное воздействие возникает в результате латеральной миграции ТММ из хвостохранилищ при их химическом и физическом выветривании. Таким образом, в пределах города, расположенного в супераквальных и трансаккумулятивных позициях, формируется новый класс техногенных латеральных геохимических барьеров (ЛГХБ) – технологический, на котором накапливаются валовые формы ТММ.

Таблица 2

Влияние природных и антропогенных факторов на латеральное распределение ТММ в почвах катен зоны влияния ДВМК

Фактор	Cr	Ni	Cu	W	Pb	Bi	As	Sr	V	Co	Ba	Mo	Sb	Sn	Zn	Cd
Функ.зона										3						
Геология																
Г/х позиция							3		3						1	1
Al ₂ O ₃		3-					2+						1-			
MnO	2-	2-								2+	1+, 3+	1-				2-
Fe ₂ O ₃			2+					2+	1+, 2+, 3+	1+					2-	
Гумус					2+									1+		
pH		2+						2-							3-	
Физ.песок	1+, 3+	1+	1+	1+	1+	1+							2+			
Физ.глина	2+				2-		1-	1-	4+	2+	2-				2-	

Примечание: ранги от 1 до 4 показывают уменьшение значимости фактора, а знак «+» или «-» – прямую или обратную связь соответственно; для качественных факторов характер связи не определялся

Содержание As и Sr имеет обратную связь с содержанием физической глины ($r = -0,88$). Поскольку при уменьшении содержания физической глины происходит увеличение содержания физического песка, то эти два элемента также можно отнести к группе осаждающихся на технологическом ЛГХБ.

V, Co и Ba осаждаются на хемосорбционном барьере (HS), который диагностируется по наличию прямой зависимости между содержанием этих металлов и оксидов Fe, Mn и Al. Органоминеральный барьер определяется положительной связью концентраций Sn с органическим веществом. Для Mo и Sb установлена обратная связь с содержанием оксида Mn и Al соответственно, что свидетельствует о формировании глеевого барьера в условиях повышенного увлажнения и переходе окисной формы Mn^{3+} и Al^{3+} в менее подвижную закисную – Mn^{2+} и Al^{2+} .

Выводы. В городских катенах выделены два новых типа латерального распределения ТММ – колоколообразный, с максимумом в ТЭ и ТА ландшафтах; и волнообразный, с чередованием больших и малых значений L . В результате техногенного воздействия произошла смена типа распределения Cu, Sb, Mo, Pb, Bi – с транзитного и монотонного в фоновых условиях на аккумулятивный – в пределах города, а Cr-Co-Ni – с транзитного на колоколообразный.

В зоне влияния ДВМК при извлечении полезных компонентов сформировался новый класс седиментационного техногенного барьера – технологический, на котором при увеличении содержания физического песка и глины соответственно происходит осаждение рудных элементов (W) и их спутников (Cu, Pb, Bi, As, Sr, Cr, Ni). Остальные

элементы осаждаются на хемосорбционном (V, Co, Ba), органоминеральном (Sn), глеевом (Mo, Sb) барьерах. Дифференциация Zn и Cd определяется геохимической позицией ландшафта.

Литература

1. Ericson B., Hanrahan D., Kong V. The World's Worst Pollution Problems: The Top Ten of the Toxic Twenty. New York: Blacksmith Institute, 2014. 72 p.
2. Авессаломова И.А. Ландшафтно-функциональные карты при изучении геохимических аномалий в городе // Вестник Моск. ун-та. Серия 5. География. 1986. № 5. С. 88-94.
3. Bech J. et al. Arsenic and heavy metal contamination of soil and vegetation around a copper mine in Northern Peru // Sci. Total Environ. 1997. Vol. 203. N 1. P. 83-91.
4. Meza-Figueroa D. et al. The impact of unconfined mine tailings in residential areas from a mining town in a semi-arid environment: Nacozari, Sonora, Mexico // Chemosphere. 2009. Vol. 77. N 1. P. 140-147.
5. Moreno Brotons J. et al. Wind Erosion on Mining Waste in Southeast Spain // L. Degrad. Dev. 2010. Vol. 21. P. 196-209.
6. Хайбрахманов Т.С., Тимофеев И.В., Кошелева Н.Е. Опыт построения карты родов элементарных ландшафтов на основе ЦМР для территории г. Закаменска (Бурятия) // Геоинформационное картографирование в регионах России: мат-лы VII Всеросс. научно-практ. конф. Воронеж: Научная книга, 2015. С. 148-152.
7. Гаврилова И.П., Касимов Н.С. Практикум по геохимии ландшафта. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. 73 с.
8. Касимов Н.С., Самонова О.А. Катенарная ландшафтно-геохимическая дифференциация // География, общество, окружающая среда. Том II. Функционирование и современное состояние ландшафтов. М.: Городец, 2004. С. 479-489.