УДК 550.42 https://doi.org/10.21440/2307-2091-2021-1-118-126

Сера в геохимически сопряженных ландшафтах Соймоновской долины (Челябинская область)

Михаил Викторович ШАБАНОВ

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Россия

Аннотация

Актуальность работы. Представлены результаты изучения особенностей латеральной и радиальной дифференциации, а также содержания серы в ландшафтно-геохимических катенах Соймоновской долины. Соймоновская долина расположена в Челябинской области Российской Федерации. На протяжении более 100 лет здесь функционирует металлургический комбинат по производству меди. В окружающую среду попадают газопылевые выбросы, которые содержат различные поллютанты, в том числе и серный ангидрид. Оксид серы воздействует на почвенный покров и на растительность.

***Цель работы*:** оценить влияние выбросов медеплавильного комбината на содержание серы в почвах ландшафтов Соймоновской долины и определить закономерности процессов миграции и аккумуляции серы.

Материалы для исследования составили эколого-геохимические изыскания, проведенные на территории Соймоновской долины и на различном удалении от медеплавильного комбината. Пробы почв и грунтов отбирали послойно через каждые 15–20 см до материнской породы. В почвах и грунтах определяли физико-химические параметры и содержание серы.

Результаты исследования. На исследуемой территории развиты литоземы (Leptosols), темногумусовые почвы и почвоподобные образования (Urbic Technosols). В радиусе 5 км растительный и почвенный покров почти полностью отсутствует – техногенные ландшафты. Почвы очень кислые, валовое содержание серы в слое 0–20 см более 1000,0 мг/кг. В радиусе 5–10 км преобладают природные ландшафты, частично измененные, реакция среды от слабокислой до нейтральной, валовое содержание серы в слое 0–20 см колеблется в диапазоне от 190,0 до 900 мг/кг. На примере двух катен были изучены автономные и подчиненные ландшафты. Установлено, что в ландшафтах с изобилием травянистой растительности радиальная дифференциация преобладает над латеральной, в техногенных ландшафтах – наоборот. Выявлены зоны аккумуляции и рассеяния серы в ландшафтах.

***Ключевые слова*:** ландшафт, радиальная дифференциация, латеральная дифференциация, геохимическое сопряжение.

Введение

Добыча и переработка полезных ископаемых оказывает многостороннее воздействие на объекты окружающей среды [1, 2]. Техногенной трансформации подвергаются ландшафты, почвенный, растительный покров и другие геосистемы [3, 4]. Выбросы медеплавильного комбината способствуют глубокой трансформации ландшафтной оболочки, это добыча полезных ископаемых, изменение физико-химических свойств почв, загрязнение тяжелыми металлами и интерметаллоидами. Почва является чувствительным субстратом и одна из первых реагирует на изменения в окружающей среде, это связано как с переменой природных условий, так и с техногенной нагрузкой.

Челябинская область относится к основным промышленным регионам России. Здесь расположены многочисленные месторождения медноколчеданных и полиметаллических руд, к числу которых относятся отработанные месторождения на территории или вблизи Соймоновской долины: Барнинское, Пионерское, Сталинское, Первомайское. На базе этих месторождений действуют горноперерабатывающие предприятия. Особенно сильной трансформации подвержены ландшафты в районе города Карабаш, где находится градообразующее предприятие, которое функционирует уже более 100 лет. Сам медеплавильный комбинат расположен в Соймоновской долине.

Ландшафты Соймоновской долины формируются под воздействием как природных факторов, так и антропогенных, одним из которых является деятельность Карабашского медеплавильного комбината. В результате неблагоприятных выбросов комбината естественный геохимический фон изменился. Ландшафты Соймоновской долины всегда привлекали внимание многих исследователей [5–8].

Выбросы комбината содержат не только тяжелые металлы, интерметаллоиды, но также и неметаллы в виде различных газов, одним из которых является серный ангидрид. В атмосфере серный ангидрид вступает в реакцию с парообразной водой, образует серную кислоту и с атмосферными осадками выпадает на окружающие ландшафты, вовлекается в геохимический круговорот. На первых этапах изменения окружающей среды процесс разрушения почв сдерживают геохимические барьеры, но

✉geohim.spb@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-4725-3673

с постоянным потоком окислителя почва подвергается изменению. Под воздействием выбросов паров серного ангидрида угнетается растительность, почвенный покров остается незащищенным, и последующие порции окислителя пропитывают почвенный слой, что сказывается на микрофлоре, происходит деструкция почвенных агрегатов верхних горизонтов. В результате ветровой эрозии почва опесчанивается, что способствует еще большему проникновению сульфат-аниона в нижележащие горизонты. При этом миграция веществ может быть не только в вертикальном направлении (радиальная дифференциация), но и в горизонтальном (латеральная дифференциация).

Соймоновская долина обладает рядом специфических свойств. Она расположена в окружении гор, где в более низменном месте расположен комбинат. Специфика горного рельефа и безветрия создает все условия, чтобы аэропромвыбросы комбината в безветренную погоду оседали на окружающие ландшафты. Загрязняющие вещества, входящие в состав аэропромвыбросов, оседают на окружающие горы, смываются временными нерусловыми потоками, еще больше способствуя загрязнению долины.

Цель работы – выявить особенности геохимически сопряженных ландшафтов Соймоновской долины и определить закономерности процессов миграции и аккумуляции серы в почвах ландшафтов.

Материалы и методы

Исследования проводились в Соймоновской долине Челябинской области. Климат континентальный с резкими колебаниями температуры. Растительный покров однородный, в зоне техногенного воздействия отсутствует. В горах преобладают сосново-березовые леса с разнотравьем. Геоморфологический облик рассматриваемой территории и окрестностей определяют складчато-глыбовые возрожденные низкие горы. Основными формами рельефа здесь являются горсты и грабены, сложенные древними поверхностями выравнивания со скалами-останцами, а также формами эрозии, денудации и аккумуляции [9]. На исследуемой территории каждое поднятие и впадина имеют свои особенности, обусловленные тектонической принадлежностью, историей развития и литологическим составом.

Соймоновская долина представляет собой обширное понижение (грабен длиной 10,0 и шириной 3,0–3,5 км), заложенное в зоне главного Уральского глубинного разлома и осложненное многочисленными разломами. Горные породы здесь сложены серпентинизированными ультраосновными породами (O_{2-3}), залегающими среди океанических и островодужных осадочно-вулканогенных комплексов Магнитогорского мегасинклинория (S–D) [10, 11]. Породы вмещают Карабашскую группу медноколчеданных месторождений (Барнинское, Пионерское, Сталинское, Первомайское) [12, 13]. Палеозойские отложения на значительной площади перекрыты четвертичными отложениями и представлены элювиально-делювиальными и делювиальными образованиями (dIIIsv – североуральский надгоризонт), в горной местности породы представлены глыбами и щебнем (drIIIpu – полярноуральский надгоризонт), в долинах рек – аллювиальные отложения.

На основных элементах ландшафтов было заложено 22 почвенных разреза. Объектом исследования являются почвы сопряженных ландшафтов. В центральной части Соймоновской долины – супераквальные ландшафты, где расположен медеплавильный комбинат, развиты преимущественно почвоподобные образования – реплантоземы (*Urbic Technosols*), точки 5, 12, 11, 16 (рис. 1). В результате выбросов серного ангидрида территория практически полностью лишена растительности. На трансэлювиальных ландшафтах, где аэропромвыбросы не затронули растительность, развиты горные серые лесные (Leptosols grey-humus) и темногумусовые почвы (*Leptosols dark-humus*). На междуречье и склонах горы Осиновая и Юрма на элювиально-делювиальных отложениях развиты горные серые лесные (*Leptosols*) и дерново-подзолистые почвы (*Luvisols, podzol*). Изучение латеральной дифференциации почв проводили на двух катенах, на востоке и западе исследуемой территории (рис. 1).

Во всех почвенных разрезах послойно отбирались почвенные образцы. Анализ морфологии почв проводили в полевых условиях. Для описания строения профиля и изучения морфологических горизонтов использовали морфогенетический метод. При изучении морфологических свойств почв основное внимание уделялось строению генетических горизонтов, которое в значительной степени определяет их генетическую принадлежность. При описании морфологии почв использовалась система индексов и определений горизонтов в соответствии с «Классификацией почв России» [14] и международной классификации почв WRB [15]. Общий физико-химический анализ проводили на кафедре почвоведения Санкт-Петербургского государственного аграрного университета (СПбГАУ). Величину pH почв определяли потенциометрическим методом, содержание гумуса – методом Тюрина, гранулометрический состав по Качинскому – по стандартным методикам. Валовую серу – рентгенофлуоресцентным методом. Оценку содержания серы в почве производили по значению предельно допустимой концентрации, для серы она составляет 160 мг/кг по Российской Федерации [16]. Кроме этого, рассчитывался коэффициент радиальной и латеральной дифференциации.

Контрастность распределения серы в профиле почв и почвоподобных образованиях оценивали по коэффициенту радиальной дифференциации R:

$$R = \frac{C_n}{C_c},$$

где C_n – содержание элемента в горизонте n; C_c – содержание элемента в материнской породе. Значение $R > 1$ свидетельствует о закреплении элемента в генетическом горизонте и наличии барьеров; $R < 1$ – о его подвижности (слабоконтрастные барьеры: $R = 1{,}3–1{,}5$; контрастные барьеры: $R = 1{,}5–3{,}0$; сильноконтрастные барьеры: $R > 3$).

Коэффициент латеральной дифференциации L

$$L = \frac{C}{C_{авт}},$$

где C – содержание элемента в почве геохимически подчиненного ландшафта; $C_{авт}$ – содержание элемента в почве автономного ландшафта.

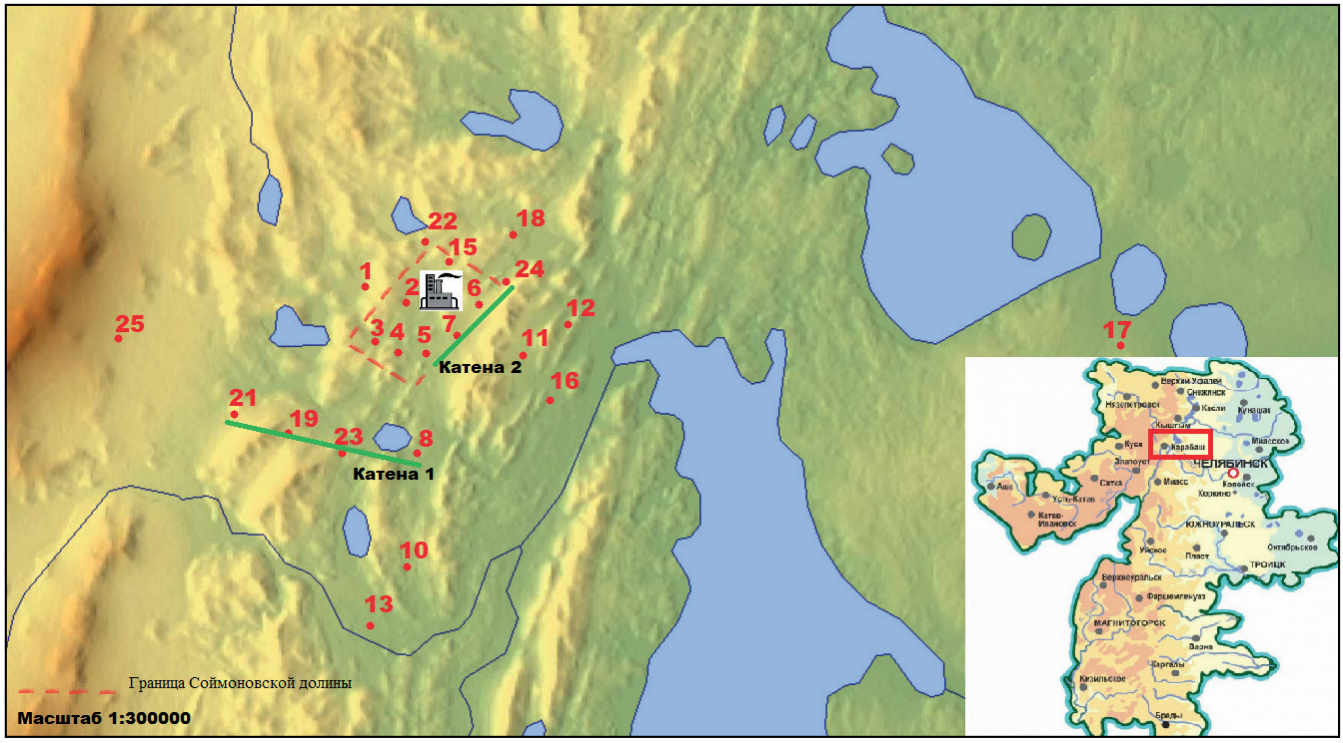

Рисунок 1. Расположение катен и схема отбора почвенных образцов.
Figure 1. Location of the kitten and soil sampling scheme.

С помощью программы Surfer была построена карта распределения валовой серы в почвах Соймоновской долины.

Результаты

В ландшафтах горных массивов можно выделить автономные ландшафты (вершины гор) и элювиально-аккумулятивные (межгорные понижения). Кроме этого, транзитные ландшафты склонов (трансэлювиальные) и ландшафты межгорных понижений и долин рек (транссупераквальные). Все эти типы ландшафтов обуславливают геохимическую миграцию веществ. Для всех выделенных ландшафтов характерна высокая почвенная контрастность. Доминирующим типом почв являются серые лесные и темногумусовые почвы, на склонах распространены литоземы серогумусовые (рис. 2, в) и темногумусовые (Leptosols), рис. 2, г. В зоне техногенной пустоши преобладают реплантоземы и почвоподобные образования (Urbic Tehnosols), рис. 2, а, б, в долинах рек серогумусовые аллювиальные (Fluvisols). На вершинах гор почвенный покров отсутствует, представлен либо курумами, либо скальными останцами.

Все почвенные разновидности выделенных ландшафтов различаются по физико-химическим свойствам. Для почв трансэлювиальных ландшафтов (не подверженных техногенной нагрузке) характерно высокое содержание гумуса – от 5,03 до 12,78 %. Причем содержание гумуса уменьшается с глубиной постепенно и даже в минеральных горизонтах составляет от 0,47 до 1,05 %.

В целом все почвы обладают благоприятными физико-химическими свойствами. Степень насыщенности почв основаниями колеблется от 72,85 до 92,29 %. В верхнем (0–15 см) слое реакция среды от слабокислой до близкой к нейтральной (3,45–5,83). Физико-химические свойства почв хорошо отражают особенности их генезиса. По гранулометрическому составу легкосуглинистые и легкоглинистые. Практически во всех горизонтах преобладают песчаная от 20,9 до 44,4% и крупнопылеватая от 19,3 до 31,2% фракции, но по профилю наблюдается четкая закономерность в распределении механических элементов: верхние горизонты обеднены илистой фракцией по сравнению с нижележащими горизонтами.

Литоземы (Leptosols) имеет благоприятные физико-химические свойства. Реакция среды по всему профилю слабокислая (pH от 5,15 до 5,55). Степень насыщенности основаниями увеличивается вниз по профилю от 77,01 до 92,23 %. Содержание физической глины в верхнем горизонте (0–10 см) составляет 22,8 %. С глубиной содержание частиц < 0,01 мм увеличивается до 41,0 %. Преобладающие фракции гранулометрических элементов в верхних горизонтах – песчаная и крупнопылеватая, а в нижних – песчаная и иловатая. Количество илистой фракции увеличивается с глубиной. Содержание гумуса высокое, в верхнем (0–10 см) слое почвы гумуса содержится 12,40 %, а с глубиной его количество резко снижается до 1,01 %.

В целом физико-химические свойства (сумма поглощенных оснований, степень насыщенности почв основаниями, содержание гумуса) данных почв соответствуют показателям темно-серых незагрязненных почв. Отличие наблюдается только в укороченности почвенного профиля.

Почвенный покров, подверженный техногенному воздействию, резко отличается по физико-химическим свойствам. Почвы имеют нейтральную и очень сильнокислую реакцию среды по всему профилю (pH 3,38–6,73).

Рисунок 2. Основные типы почвенных профилей исследуемой территории: а – реплантозем (Urbic Technosols); б – реплантозем (Urbic Technosols); в – литозем серогумусовый (Leptosoil,grey-humus); г – литозем темногумусовый (Leptosols, dark-humus).
Figure 2. Main types of soil profiles of the study area. a – Replantase (Urbic Technosols); b – Replantase (Urbic Technosols); c – Grey-humus lithosemus (Leptosoil, grey-humus); d – Dark-humus lithosemus (Leptosols, dark-humus).

Степень насыщенности почвы основаниями 67,0–96,70 %. Среднесуглинистый гранулометрический состав. Во всех горизонтах преобладают песчаная и крупнопылеватая фракции. Гумус в реплантоземе в верхнем горизонте (0–15 см) составляет 5,6 %, с глубиной содержание гумуса снижается.

Анализ полученных данных показал, что все почвы и почвоподобные образования сильно различаются по физико-химическим свойствам. На супераквальных ландшафтах (центральная часть долины) в непосредственной близости от комбината реакция среды от кислой до сильно кислой, трансэлювиальные ландшафты характеризуются кислой реакцией среды. На значительном удалении от источника загрязнения реакция среды трансэлювиальных и супераквальных ландшафтов – от слабокислой до кислой.

Содержание и распределение серы в почвах изменяется в широком диапазоне: от 290,0 до 1000,0 мг/кг в верхней 0–20 см толще почвы и от 90,0 до 480,0 мг/кг в нижней части профиля. Эта особенность обусловлена как расстоянием от источника аэропромвыбросов, так и ландшафтно-геохимической спецификой, связанной с рельефом.

Среднее валовое содержание серы в почвах в 2–4 раза превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК). Пространственное изменение концентрации серы определяется зональностью вторичных ореолов рассеяния в структуре медноколчеданных месторождений и близостью металлургического комбината.

Как видно из данных рис. 3, в центральной части, где расположен комбинат, концентрация серы в почве колеблется в пределах от 850,0 до 1000,0 мг/кг, в радиусе до 2 км концентрация снижается до 600,0–850 мг/кг. Такое высокое содержание обусловлено как поступлением серы с аэрозольными выбросами, так и с временными водными потоками, поступающими с окружающих долину гор. На расстоянии более 5 км концентрация серы снижается до 350,0 мг/кг и ниже.

Анализ ландшафтно-геохимических условий миграции веществ позволил выявить две крупные ландшафтные единицы: ландшафты, расположенные на удалении от комбината на 5–15 км, и техногенные ландшафты, примыкающие к комбинату.

Полученные данные указывают на высокое содержание серы в почвах техногенных ландшафтов (относительно ПДК), что обусловлено как региональной спецификой литогенной основы, так и поступлением с аэропромвыбросами. При сравнении с ПДК в почвах трансэлювиальных техногенных ландшафтов превышение составляет в среднем 3 раза в слое 0–30 см и 2 раза в слое 30–60 см, в супераквальных ландшафтах 4 и 3 раза соответственно, несколько иначе складывается ситуация в природно-техногенных ландшафтах: превышение в среднем 2–3 раза и в трансэлювиальных, и в супераквальных ландшафтах. Миграционные потоки мобилизованной серы в результате техногенного воздействия приводят к различию в содержании серы в ландшафтах за счет образования зон выноса и накопления. Происходит общая тенденция миграции серы от автономных ландшафтов гор к подчиненным ландшафтам межгорных понижений и долин рек, что особенно ярко выражено в условиях отсутствия травянистой растительности, способной закреплять серу, и отсутствия геохимических барьеров. В результате сера в ландшафте находится в рассеянном состоянии с временными водными потоками. В результате этого выноса формируются аномальные зоны в геохимически подчиненном ландшафте с высоким содержанием серы.

В почвах природно-техногенных ландшафтов потоки рассеяния элемента значительно меньше. Вследствие

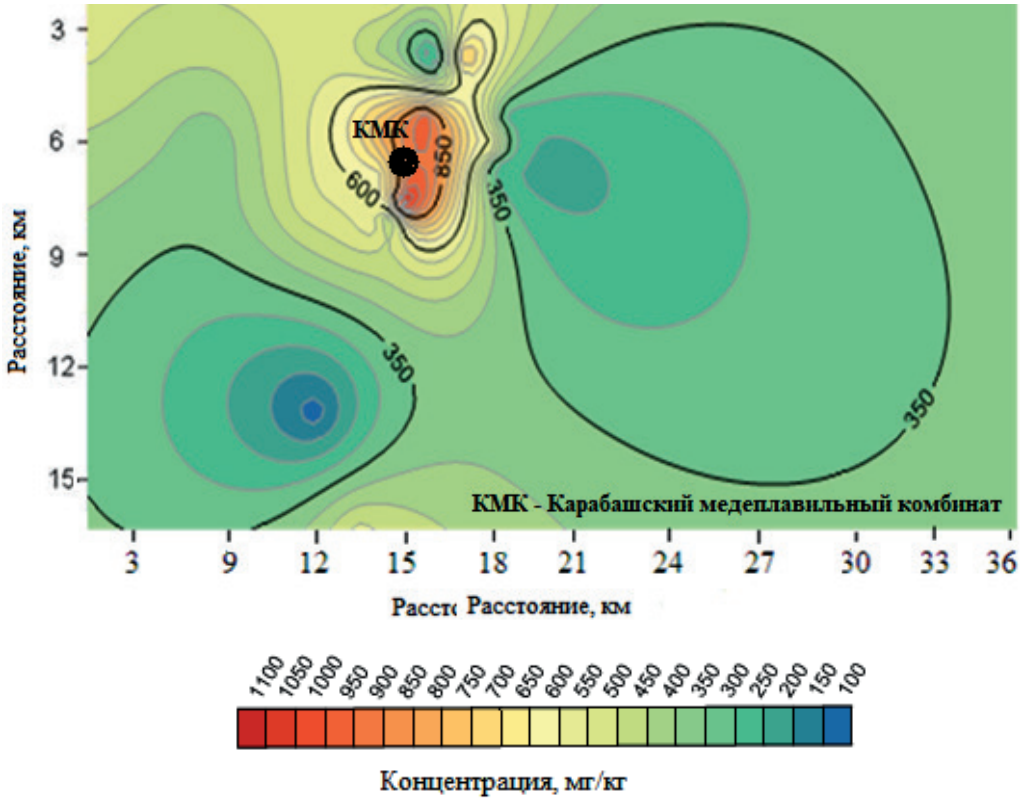

Рисунок 3. Карта района исследования, показывающая содержание серы в верхней (0–15 см) толще почв.
Figure 3. Map of the study area showing the sulfur content in the upper (0–15 cm) thick soil.

развития древесной растительности часть закрепляется живыми организмами, часть адсорбируется илистой и коллоидной фракцией почв, но тем не менее и здесь наблюдается миграция серы от автономных к подчиненным ландшафтам.

Как видно из данных таблицы, для всех изученных ландшафтов в среднем реакция среды почв кислая. Но в техногенных ландшафтах этот показатель колеблется от очень сильнокислой до слабокислой. В природно-техногенных ландшафтах – от сильнокислой до слабокислой, в этих ландшафтах сильнокислая реакция среды обусловлена в первую очередь растительным опадом, во вторую – аэропромвыбросами. При этом в техногенных ландшафтах сульфат-анион обуславливает увеличение реакции среды, вследствие чего происходит деструкция почвенных агрегатов, уменьшение активных зон адсорбции и поступающие атмосферные осадки выносят серу в нижележащие горизонты [17, 18].

Вертикальное геохимическое разграничение элемента между почвами и почвообразующими породами указывает на их генетическую связь. Степень такой связи определяется исходным минералогическим составом пород, свойствами элемента и почвенно-химических условий [19, 20].

На геохимических ландшафтах, находящихся на значительном удалении от комбината, на элювиальных, трансэлювиальных ландшафтах имеется обильная травянистая и древесная растительность, тем не менее перенос материалы также выражен, но он происходит менее интенсивно.

Коэффициент радиальной дифференциации указывает на накопление серы в верхней части профиля. На трансэлювиальных природно-техногенных ландшафтах под лесными сообществами накопление серы слабоконтрастное (R = 1,3–2,0). Накопление обуславливается высоким содержанием гумуса (5,17–12,78 %) и тяжелым гранулометрическим составом по всему профилю. В реплантоземах 16 и 14 коэффициент $R < 1$, что указывает на подвижность элемента в профиле и накопление в нижней его части. В этих почвах верхние искусственные горизонты обеднены органическим веществом (1,66–2,75 %) супесчаного гранулометрического состава, что не дает возможности сере адсорбироваться и происходит перенос в погребенные слои.

В супераквальных природно-техногенных ландшафтах выявлена та же закономерность (слабоконтрастное накопление), R = 1,3–2,0.

В почвах трансэлювиальных техногенных ландшафтов наблюдается концентрация серы в толще 0–40 см, контрастное накопление (R = 1,3–1,5), что обусловлено геохимическими барьерами в виде гумусового горизонта, где сера накапливается в виде органоминеральных соединений. В супераквальных ландшафтах накопление контрастное (R = 1,3–1,5) и сильноконтрастное ($R > 3,0$).

Интенсивность латеральной миграции определяется, прежде всего, типом рельефа. Так как район исследования расположен в горной местности, то плоскостной смыв почвы, особенно на участках, лишенных травянистой и древесной растительности, сильно развит. Сочетание этих факторов обуславливает довольно высокую интенсивность латеральной миграции. В качестве примера

Трансформация ландшафтов по содержанию серы, радиальной дифференциации и показателю pH.
Transformation of landscapes by sulphur content, radial differentiation and pH indicator.

Параметр	Ландшафты			
	Трансэлювиальные		Супераквальные	
	0–30 см	30–60 см	0–30 см	30–60 см
	Техногенные ландшафты			
S, мг/кг	562,4 / 280,0 – 322,0	340,9 / 96,0 – 530,0	713,9 / 100,0 – 1190,0	417,6 / 90,0 – 646,0
R	1,90 / 1,44 – 3,00	1,04 / 0,96 – 1,21	3,09 / 1,22 – 8,33	1,31 / 0,75 – 2,08
pH	4,63 / 3,05 – 5,53	4,65 / 3,30 – 5,30	4,74 / 3,07 – 6,54	5,42 / 4,56 – 5,92
	Природно-техногенные ландшафты			
S, мг/кг	384,4 / 183,0 – 646,0	410,0 / 220,0 – 606,0	393,5 / 120,0 – 580,0	385,0 / 120,0 – 587,0
R	0,98 / 0,66 – 1,37	0,99 / 0,67 – 1,18	1,01 / 0,88 – 1,10	1,01 / 0,86 – 1,13
pH	5,00 / 4,04 – 6,06	4,90 / 3,63 – 6,26	4,51 / 3,92 – 6,07	4,52 / 3,43 – 6,07

В числителе среднее значение, в знаменателе минимальное и максимальное; *R* – радиальная дифференциация.

рассмотрим латеральную дифференциацию в почвах катен, расположенных в западной и восточной части Соймоновской долины.

Восточная катена охватывает среднюю часть склона и подножье горы Осиновая и выходит в долину реки Сак-Элга (т. 21, 19, 23 и 8), рис. 1. Западная катена расположена на средней части и у подножья горы Золотая и также выходит в долину реки Сак-Элга (т. 24, 6, 7 и 5).

По данным значениям коэффициента *L* восточная катена относится к монотонной, где преобладает радиальная дифференциация над латеральной. В верхней части профиля подчиненных ландшафтов коэффициент *L* составляет 0,97 (транзитно-сопряженный), в долине реки 1,18 (монотонно-сопряженный). Такой вид дифференциации обусловлен обилием травянистой и древесной растительности, и рассеянные аэропромвыбросы незначительны. Часть серы поглощается растениями, часть сорбируется органическим веществом, а часть смывается плоскостным стоком. Ближе к зоне техногенного загрязнения, где растительный покров изрежен и плоскостной сток преобладает, коэффициент *L* возрастает до 1,13. Вниз по профилю коэффициент $0{,}7 < L < 1{,}3$, что свидетельствует об отсутствии внутрипочвенного стока.

Западную катену, находящуюся в техногенной зоне, можно отнести к аккумулятивной, здесь преобладает латеральная дифференциация над радиальной. Эта катена охватывает техногенные пустоши, где полностью отсутствует растительный покров, ярко выражены эрозионные процессы. Аэропромвыбросы, оседающие на склоны гор, смываются временными водными потоками в подчиненные ландшафты. Характер распределения аккумулятивно-сопряженный ($L > 3$) и монотонно сопряженный ($0{,}7 < L < 1{,}3$). Вниз по профилю коэффициент значительно снижается, и только в долине реки коэффициент высокий ($L > 3$), что свидетельствует о грунтовом привносе вещества.

Выводы

Почвы исследуемой территории представлены различными типами, среди которых преобладают реплантоземы (Urbic Technosols) в центральной части долины на техногенных ландшафтах, литоземы (Leptosols) в горной части и серые лесные почвы (Grey-Luvic Phaezems). Выбросы серного ангидрида влияют на изменение морфологических и физико-химических свойств почв, что выражено в уменьшении мощности верхней части гумусового профиля, деструкции почвенных агрегатов, выносе щелочных и щелочноземельных элементов и, как следствие,

увеличении кислотности почвенного профиля. В центральной части долины, где преимущественно техногенные ландшафты, реакция среды от кислой до сильнокислой, природные ландшафты характеризуются слабокислой и кислой реакцией среды.

Вблизи металлургического производства валовое содержание серы в почвах превышает ПДК в среднем в 2–8 раз. Максимальная концентрация выявлена в центре Соймоновской долины, где расположен комбинат, в радиусе более 15 км концентрация ниже – от 500,0 до 190,0 мг/кг.

Радиальная геохимическая дифференциация указывает на накопление серы в верхней части профиля. На трансэлювиальных природно-техногенных ландшафтах оно слабоконтрастное, на техногенных ландшафтах – контрастное.

Горный характер рельефа Соймоновской долины обуславливает высокую контрастность латеральной миграции серы и, как следствие, высокую контрастность дифференциации. В почвах геохимически сопряженных ландшафтов наблюдается четкая дифференциация содержания серы. Почвы трансэлювиальных ландшафтов характеризуются нормальным содержанием серы. От автономных к подчиненным ландшафтам наблюдается возрастание серы. В супераквальных ландшафтах концентрация серы увеличивается, превышая ПДК в 4–8 раз. Перераспределение серы происходит за счет их радиальной внутрипрофильной и латеральной миграции.

Данное исследование необходимо для понимания способов и методов защиты ландшафтов от техногенного загрязнения серой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водяницкий Ю. Н., Плеханова И. О., Прокопович Е. В., Савичев А. Т. Загрязнение почв выбросами предприятий цветной металлургии // Почвоведение. 2011. № 2. С. 240–249.
2. Weissenstein K., Sinkala T. Soil pollution with heavy metals in mine environments, impact areas of mine dumps particularly of gold- and copper mining industries in Southern Africa // Appl. Problems Arid Lands Development. Arid Ecosystems. 2011. Vol. 1, № 1. P. 53–58. https://doi.org/10.1134/S2079096111010082
3. Mummey D. L., Stahl P. D., Buyer J. S. Soil microbiological properties 20 years after surface mine reclamation: spatial analysis of reclaimed and undisturbed sites // Soil Biology and Biochemistry. 2002. Vol. 34, issue 11. P. 1717–1725. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00158-X
4. Nachtegaal M., Marcus M. A., Sonke J. E., Vangronsveld J., Livi K. J. T., van Der Lelie D., Sparks D. L. Effects of *in situ* remediation on the speciation and bioavailability of zinc in a smelter contaminated soil // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2005. Vol. 69, issue 19. P. 4649–4664. https://doi.org/10.1016/j.gca.2005.05.019
5. Elizareva E. N., Yanbaev Y. A., Redkina N. N., Kudashkina N. V., Baykov A. G. Assessment of soil pollution in the zone of influence of the metallurgical enterprises // Bulletin of the Orenburg state University. 2017. № 9 (209). P. 8–13. https://doi.org/10.25198/1814-6457-209-8
6. Ульрих Д. В., Тимофеева С. С. Современное состояние хвостохранилища в г. Карабаш и его влияние на техногенез прилегающей территории // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19, № 1. С. 56–59. https://doi.org/10.18412/1816-0395-2015-1-56-59
7. Linnik V. G., Khoroshavin V. Yu., Pologrudova O. A. Natural landscapes degradation and chemical contamination in the near zone of Karabash copper smelting industrial complex // Tyumen State University Gerald. 2013. № 4. P. 84–91.
8. Udachin V., Williamson B. J., Purvis O. W., Spiro B., Dubbin W., Brooks S., Coste B., Herrington R. J., Mikhailova I. Assessment of environmental impacts of active smelter operations and abandoned mines in Karabash, Ural mountains of Russia // Sustainable Development. 2003. Vol. 11. № 3. P. 133–142. https://doi.org/10.1002/sd.211
9. Макунина А. А. Ландшафты Урала. М.: МГУ, 1974. 158 с.
10. Серавкин И. Б., Знаменский С. Е., Косарев А. М. Главный Уральский разлом на Южном Урале: структура и основные этапы формирования // Геотектоника. 2003. № 3. С. 42–64.
11. Знаменский С. Е. Структурные условия формирования коллизионных месторождений золота восточного склона Южного Урала. Уфа: Гилем. 2009. 345 с.
12. Кузин А. В. Миасское сочленение тагильского и магнитогорского комплексов // Изв. УГГУ. 2016. №1 (41). С. 17–28.
13. Бахтина А. П., Мурзин В. В., Литошко Д. Н. Теннантит-тетраэдрит // Минералогия Урала Свердловск: УрО АН СССР, 1991. С. 38–51.
14. Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: 2004. 341 с.
15. IUSS Working Group WRB. 2015. World reference base for soil resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Word Soil Resources Report 106. FAO. Rome.
16. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. М.: Изд-во стандартов, 2006. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293850/4293850511.htm
17. Neary A. J., Mistry E., Vanderstar L. Sulphate relationships in some central Ontario forest soils // Canadian Journal of Soil Science. 1987. № 67. P. 341–352. https://doi.org/10.4141/cjss87-030
18. Nodvin S. C., Driscoll C. T., Likens G. E. The effect of pH on sulfate adsorption by a forest soil // Soil Science. 1986. Vol. 142, issue 2. P. 69–75.
19. Минкина Т. М., Солдатов А. В., Невидомская Д. Г., Мотузова Г. В., Подковырина Ю. С., Манджиева С. С. Новые подходы в изучении соединений тяжелых металлов в почвах с применением рентгеноспектрального анализа и экстракционного фракционирования // Геохимия. 2016. № 2. С. 212–219. https://doi.org/10.7868/S0016752515120067
20. Chizhikova N. P., Khitrov N. B., Samsonova A. A., Varlamov E. B., Churilin N. A., Rogovneva L. V., Cheverdin Yu. I. Minerals of the three-component combination of agrochernozems in the Kamennaya Steppe // Eurasian Soil Science. 2017. Vol. 50. P. 456–469. https://doi.org/10.1134/S1064229317020028

Статья поступила в редакцию 2 февраля 2021 года

УДК 550.42 https://doi.org/10.21440/2307-2091-2021-1-118-126

Sulphur in the geochemically conjugated landscapes of the Soimonovsky valley, Chelyabinsk region (Russia)

Mikhail Viktorovich SHABANOV*

Saint-Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg, Pushkin, Russia

Abstract

Problem Statement. The paper presents the results of studying the features of lateral and radial differentiation, as well as the sulfur content in the landscape-geochemical catenes of the Soimonovskaya Valley. Soimonovskaya valley is located in the Chelyabinsk region of the Russian Federation. For more than 100 years a metallurgical plant for the production of copper has been operating here. The plant supplies to the environment gas and dust emissions that contain various pollutants, including sulfur dioxide. Sulfur oxide affects the soil and vegetation.

The objective of the study to assess the impact of emissions of the copper smelter on the content of sulfur in the landscapes of the Soiman valley and determine the patterns of migration and accumulation of sulfur.

Materials for the study were ecological and geochemical surveys carried out on the territory of the Soimonov valley and at different distances from the copper smelter. Soil and soil samples were taken in layers every 15-20 cm up to the parent rock. Physico-chemical parameters and sulfur content were determined in soils and grounds.

Results. Lithozems (Leptosols), dark humus soils, and soil-like formations (Urbic Technosols) are developed in the study area. Within a radius of 5 km, plant and soil cover is almost completely absent - technogenic landscapes. Soils are very acidic, gross sulfur content in 0-20 cm layer is more than 1000,0 mg/kg. In a radius of 5 - 10 km prevail natural landscapes, partially modified, the reaction of the environment from slightly acidic to neutral, the gross sulfur content in the layer 0 - 20 cm ranges from 190.0 to 900 mg / kg. Autonomous and subordinate landscapes were studied on the example of two catenas. It was found that in landscapes with an abundance of herbaceous vegetation radial differentiation prevails over lateral differentiation, in technogenic landscapes vice versa. Zones of sulfur accumulation and dispersion in landscapes are revealed.

Keywords: landscape, radial differentiation, lateral differentiation, geochemical conjugation/

REFERENCES

1. Vodyanitsky Yu. N., Plekhanova I. O., Prokopovich E. V., Savichev A. T. 2011. Soil Pollution by emissions from non-ferrous metallurgy enterprises. *Soil Science*, no 2, pp. 240–249. (*In Russ.*)
2. Weissenstein K., Sinkala T. 2011, Soil pollution with heavy metals in mine environments, impact areas of mine dumps particularly of gold- and copper mining industries in Southern Africa. *Appl. Problems Arid Lands Development. Arid Ecosystems*, vol. 1, no. 1, pp. 53–58. https://doi.org/10.1134/S2079096111010082
3. Mummey D. L., Stahl P. D., Buyer J. S. 2002, Soil microbiological properties 20 years after surface mine reclamation: spatial analysis of reclaimed and undisturbed sites. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 34, issue 11, pp. 1717–1725. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00158-X
4. Nachtegaal M., Marcus M. A., Sonke J. E., Vangronsveld J., Livi K. J. T., van Der Lelie D., Sparks D. L. 2005, Effects of *in situ* remediation on the speciation and bioavailability of zinc in a smelter contaminated soil. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 69, issue 19, pp. 4649–4664. https://doi.org/10.1016/j.gca.2005.05.019
5. Elizareva E. N., Yanbaev Y. A., Redkina N. N., Kudashkina N. V., Baykov A. G. 2017, Assessment of soil pollution in the zone of influence of the metallurgical enterprises. *Bulletin of the Orenburg state University*, no. 9 (209), pp. 8–13. (*In Russ.*) https://doi.org/10.25198/1814-6457-209-8
6. Ulrich D. V., Timofeeva S. S. 2015, Current state of the tailings dump in the city of Karabash and its influence on the technogenesis of the adjacent territory. *Ecology and industry of Russia*, vol. 19, no. 1. pp. 56–59. (*In Russ.*) https://doi.org10.18412/1816-0395-2015-1-56-59
7. Linnik V. G., Khoroshavin V. Yu., Pologrudova O. A. 2013, Natural landscapes degradation and chemical contamination in the near zone of Karabash copper smelting industrial complex. *Tyumen State University Gerald*, no. 4, pp. 84–91. (*In Russ.*)
8. Udachin V., Williamson B. J., Purvis O. W., Spiro B., Dubbin W., Brooks S., Coste B., Herrington R. J., Mikhailova I. 2003, Assessment of environmental impacts of active smelter operations and abandoned mines in Karabash, Ural mountains of Russia. *Sustainable Development,* vol. 11, no. 3, pp. 133–142. https://doi.org/10.1002/sd.211
9. Makunina A. A., 1974. *Landshaft Urala* [Landscape of the Urals]. Moscow, 158 p.
10. Seravkin I. B., Znamensky S. E., Kosarev A. M. 2003, The Main Ural fault in the southern Urals: Structure and main stages of formation. *Geotectonics*, no. 3. pp. 42–64. (*In Russ.*)
11. Znamenskiy S. E. 2009, *Strukturnye uslovija formirovanija kollizionnyh mestorozhdenij zolota vostochnogo sklona Juzhnogo Urala* [Structural conditions for the formation of collisional gold deposits on the Eastern slope of the Southern Urals]. Ufa, 345 p.
12. Kuzin A. V.,2016, Miasskoye the articulation of the Tagil and Magnitogorsk iron complexes. *News of the Ural State Mining University*, no. 1, pp. 17–21. (*In Russ.*)
13. Bakhtina A. P., Murzin V. V., Litoshko D. N. 1991, Tennantite-tetrahedrite. Mineralogy of the Urals. Sverdlovsk, pp. 38–51.
14. Shishov L. L., Tonkonogov V. D., Lebedeva I. I., Gerasimova M. I. 2004, *Klassifikacija i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of soils in Russia]. Smolensk, 341 p.
15. IUSS Working Group WRB. 2015. World reference base for soil resources 2014, update 2015. International soil classification system for

✉geohim.spb@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-4725-3673

naming soils and creating legends for soil maps. Word Soil Resources Report 106. FAO. Rome.
16. 2006, GN 2.1.7.2041-06. *Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) himicheskih veshhestv v pochve* [Maximum permissible concentrations (MPC) of chemical substances in the soil]. Moscow. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293850/4293850511.htm
17. Neary A. J., Mistry E., Vanderstar L. 1987, Sulphate relationships in some central Ontario forest soils. *Canadian Journal of Soil Science*, no. 67, pp. 341–352. https://doi.org/10.4141/cjss87-030
18. Nodvin S. C., Driscoll C. T., Likens G. E. 1986, The effect of pH on sulfate adsorption by a forest soil. *Soil Science*, vol. 142, issue 2, pp. 69–75.
19. Minkina T. M., Soldatov A. V., Nevidomskaya D. G., Motuzova G. V., Podkovyrina Yu. S., Mandzhieva S. S. 2016, New approaches to the study of heavy metal compounds in soils using x-ray diffraction analysis and extraction fractionation. *Geochemistry*, no. 2. pp. 212–219. (*In Russ.*) https://doi.org10.7868/S0016752515120067
20. Chizhikova N. P., Khitrov N. B., Samsonova A. A., Varlamov E. B., Churilin N. A., Rogovneva L. V., Cheverdin Yu. I. 2017, Minerals of the three-component combination of agrochernozems in the Kamennaya Steppe. *Eurasian Soil Science*, vol. 50, pp. 456–469. https://doi.org/10.1134/S1064229317020028

The article was received on February 2, 2021