УДК 504.054 DOI 10.21440/2307-2091-2018-1-55-61

ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ КИСЛОТНО-ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ПОЧВ В ЗОНЕ ТЕХНОГЕНЕЗА (НА ПРИМЕРЕ КРАСНОУРАЛЬСКОГО ПРОМУЗЛА)

Михаил Викторович Шабанов,
geohim.spb@gmail.com
Максим Сергеевич Маричев
m.s.marichev@yandex.ru
Санкт-Петербургский государственный аграрный университет
Россия, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, 2

Интенсивная техногенная нагрузка предприятий цветной металлургии приводит к значительному изменению ландшафтных комплексов. Происходит структурное преобразование почвенного покрова и физико-химических характеристик, требующих детального изучения, что и обусловливает ***актуальность*** данной работы. ***Целью данной работы*** является изучение изменения кислотно-основных свойств почв в условиях среднетаежных суббориальных гумидных ландшафтов на примере Красноуральского промузла.
Методология: производились исследования почвенного покрова с выделением зон перераспределения и распространения кислотных агентов с отдалением от источника эмиссии. Определялись основные компоненты, характеризующие среду в 0–30-сантиметровой толще почвы.
Результаты. В ходе проделанной работы выделены три зоны: импактная, буферная и фоновая. Главным источником техногенной нагрузки в исследуемом районе являются аэропромвыбросы комбината, которые состоят как из аэрозольных, так и из сажистых частиц. Параметры их влияния на природно-территориальные комплексы определяются в зависимости от розы ветров, анализируемой за многолетний период, количества осадков и температурного режима исследуемой территории. В результате циркуляции атмосферных потоков происходит распределение частиц на значительные расстояния от факельной зоны. При взаимодействии осадков с основными сопутствующими газами медеплавильного производства образуются кислотные дожди, изменяющие среду почвенного покрова.
Выводы. В почве протекают процессы кислотного гидролиза с разрушением ее минеральной части. Главные ионы почвенно-поглощающего комплекса претерпевают преобразования и становятся вовлеченными в геохимический круговорот. Происходящие процессы аккумуляции и транслокации сказываются на общем физико-химическом состоянии почв, образуются новые геохимические барьеры на пути миграции тяжелых металлов, нарушается общая закономерность перераспределения основных компонентов, в первую очередь, изменяя кислотно-основные свойства.

Ключевые слова: техногенез; Красноуральский ГОК; аэропромвыбросы комбината; изменение кислотно-основных свойств почв; зоны техногенной нагрузки.

Введение

В период интенсивной глобализации и модернизации производства человечество не может обходиться без металлов, все более широко вовлекая их в геохимический круговорот. Одним из наиболее весомых вкладов в цикл миграции элементов служит горно-перерабатывающая промышленность, которая, в свою очередь, как и любая другая деятельность, не обходится без того или иного рода отходов.

Территория Уральского региона является местом наибольшей локализации техногенных факторов, к которым относится и медеплавильное производство, что подтверждается в работах [1–3].

Одним из крупнейших медеплавильных комбинатов является ОАО «Святогор», расположенный в городе Красноуральске Свердловской области. Он основан в 1929 г. на базе Красногвардейского и Новолевихинского рудных месторождений. Это многоотраслевое предприятие с разветвленной технологической схемой, включающей добычу и обогащение руд, выплавку черновой меди по схеме *обжиг–отражательная плавка–конвертирование* и выпускающий черновую медь, серную кислоту, сульфит натрия, бисульфит натрия, минеральные удобрения, кремнефтористый натрий, медный и железный концентраты.

В процессе переработки извлекаемого материала из руды в атмосферу поступает значительное количество газопылевых выбросов, несущих в себе продукты возгона сопутствующих элементов.

Детальность переноса выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ, а, следовательно, и расстояния, на которых происходят выпадения, зависят от их преобразования и циркуляции воздушных масс. Это показано в работе [4] на примере распространения соединений серы. Поступающая из антропогенных источников двуокись серы соединяется с атмосферной влагой и образует сернистую кислоту, которая затем быстро окисляется до серной кислоты. Последняя частично вымывается из атмосферы осадками (кислотные дожди), частично переносится дальше воздушным потоком. При переносе в атмосфере серная кислота может нейтрализоваться до сульфатов. Основным нейтрализующим агентом служит аммиак, но могут быть и другие вещества, например, распыленные в атмосфере металлы. Но в основном сульфаты антропогенного происхождения, образующиеся в атмосфере, состоят из сульфата аммония. Таким образом, антропогенная эмиссия SO_2 претерпевает цепочку превращений [4]:

$$SO_2 \rightarrow H_2SO_4 \rightarrow MeSO_4 \text{ (сульфаты).}$$

Вблизи предприятий, выбрасывающих двуокись серы, pH почвы иногда достигает величины 2,8–2,1. В Чехии кислотность лесных почв заметно возросла за последние 40 лет [5]. Особенно ясно подкисление почв выявляется в лабораторных и полевых экспериментах с искусственными кислотными дождями. В многолетних полевых опытах, в ФРГ [6], Норвегии и Швеции [7] показано снижение pH почти на одну единицу, в лабораторных экспериментах это подкисление выражено еще сильнее: с pH 4; 5,5 до 2,4; 4,2 [8]. В Бая-Маре, центре цветной горно-металлургической промышленности, расположенном в северо-западном регионе Румынии, с подкислением почвы зафиксировано загрязнение тяжелыми металлами [5]. Согласно государственному докладу министерства природных ресурсов и экологии на 2014 год, максимальная среднесуточная концентрация диоксида серы в районе города Красноуральск превысила нормативы в 3,0 раза, максимальная разовая концентрация – в 3,9 раза [9].

Специфика действия выбросов медеплавильных комбинатов на наземные экосистемы заключается в сочетании токсического действия поллютантов, сорбированных на пылевых частицах, и подкисления среды [10]. Кислотные агенты, попадая в почву, активно взаимодействуют с ее органической минеральной частью. Меняется состав гумуса, увеличивается количество высвобожденных в почвенный раствор простых органических кислот, которые, в свою очередь, за счет высокой хелатирующей способности мобилизуют соединения полуторных оксидов. В результате процессов кислотного гидролиза, щелочноземельные металлы вымываются в нижележащие горизонты. Изменя-

Таблица 1. Основные климатические показатели района г. Красноуральска за многолетний период (1960–2016 гг.) по данным метеостанции Кушва.

Table 1. The main climatic indicators of the district of Krasnoural'sk for a long period (1960–2016) according to the Kushva weather station.

Средняя температура воздуха, °С, по месяцам и за год												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
–15,3	–13,1	–5,3	2,8	9,8	15,1	17,3	14,2	8,6	1,0	–7,1	–12,5	1,3
Среднее количество осадков, мм, по месяцам и за год												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
28	21	24	34	47	83	93	77	57	44	36	30	574
Средняя скорость ветра, м/с, по месяцам и за год												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
2,5	2,5	2,6	2,6	2,5	2,3	1,9	1,9	2,2	2,7	2,7	2,6	2,4

Повторяемость направлений ветра, %, по румбам и штилей за год								
С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
12	10	4	4	9	24	24	13	22

ются буферные свойства почвы. Происходит образование окислительных геохимических барьеров, способствующих мобилизации тяжелых металлов.

В связи с изложенным целью данной работы было выяснить характер изменения кислотно-основных свойств почв в зоне интенсивной техногенной нагрузки. Для выполнения поставленной цели решались следующие задачи: 1) исследование почвенного покрова в окрестностях комбината с выделением зон изменения кислотно-основных свойств почв; 2) выявление основных закономерностей перераспределения кислотно-основных агентов почвы с отдалением от источника эмиссии.

Рельеф и растительность

Исследуемая территория расположена в Свердловской области, в районе города Красноуральска. Рельеф данной местности образован грядами с направлением, согласующимся с простиранием тектонических структур, закономерно чередующихся с лощинами. Зона относится к увалистой полосе восточного склона Уральского хребта, где преобладают невысокие пологие холмы, вытянутые преимущественно в меридиональном направлении. Абсолютные отметки поверхности колеблются от 220,0 до 302,2 м, относительные превышения составляют 40–50 м. Рельеф спокойный с перепадом высот, не превышающим 50 м на 1 км [11].

Рельеф и физико-химические свойства пород играют важную роль в формировании и особенностях почв [12]. В данном районе преобладают слабо-, среднеподзолистые и дерново-подзолистые почвы, среди которых встречаются небольшие массивы болотных почв. Это определяется уменьшением как хрящеватости почв по мере удаления от хребта, так и выполаживанием местности в том же направлении, что способствует большему вертикальному промыванию грунта [13].

Исследуемая территория относится к среднетаежным ландшафтам, доминирующими среди растительных сообществ являются сосняки-зеленомошники, значительно распространены сосняки-долгомошники и сосняки сфагновые, на юге – сосняки травяные. В западном и южных направлениях, на месте бывших хвойных лесов большие площади занимают вторичные березняки. Травяной покров мелколистных лесов обилен и разнообразен, что связано с высоким уровнем грунтовых вод. Аспект напочвенного покрова создается мхами, несмотря на то, что степень покрытия ими невелика. Фрагментально встречаются щитовник, таежное мелкотравье, хвощ и ягодники [14].

Климат

При изучении проблемы аэрогенного загрязнения территории необходимо учитывать такой из важнейших факторов, как климатическое состояние региона, а именно, розу направления ветров и их скорость, количество осадков и температурный режим. Все из перечисленных факторов будут в той или иной степени влиять на распределение и движение пылегазовых частиц в атмосфере.

Исходя из сводки метеоданных за многолетний период (1960–2016), можно прогнозировать основные пути направления и распространение кислотных агентов. Из табл. 1 следует, что наибольшая распространенность аэропромвыбросов будет иметь юго-западное и западное направление. Так же с периодичностью 22 % устанавливается штиль, который способствует оседанию пылегазовых частиц в непосредственной близости от комбината и в черте города. К тому же наибольшее количество осадков, приходящееся на июль, сопровождается минимальной скоростью ветра, в результате чего в данный период будет наибольшее количество выпадений кислых дождей на прилегающие ландшафты.

Объекты и методы исследования

Для оценки пространственной изменчивости кислотно-основных свойств почв исследовалась территория, прилежащая к комбинату, и его окрестностей.

В ходе работ была заложена серия разрезов на различном расстоянии от источника эмиссии (рис. 1, *а*). Изученные почвы района были классифицированы как дерново-подзолистые с разной степенью оподзоленности и мощности гумусового горизонта. Разрезы расположены на одинаковых формах рельефа. Почвообразующей породой является тяжелосуглинистый бескарбонатный мореный суглинок.

Всю исследуемую территорию условно можно разделить на три зоны. Первая (фоновая), расположенная на расстоянии более 8 км от комбината, точки № 6, 7, 10, 15, 25, 20, 21. Вторая (буферная), протянувшаяся полосой от 8 до 4 км от источника эмиссии, точки № 1, 2, 4, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 22, 24, 27. И третья (импактная) – менее 4 км от комбината, подверженная максимальной техногенной нагрузке, точки № 3, 5, 8, 9, 19, 23, 26 (рис. 1, *б*).

Отбор почвенных проб производился согласно ГОСТ Р 53123–2008 (ИСО 10381-5:2005), в которых определялись:

1. pH_{H2O} и pH_{KCl} по ГОСТ 26423–85;
2. Обменные Ca^{2+} и Mg^{2+} по ГОСТ 26428–85.

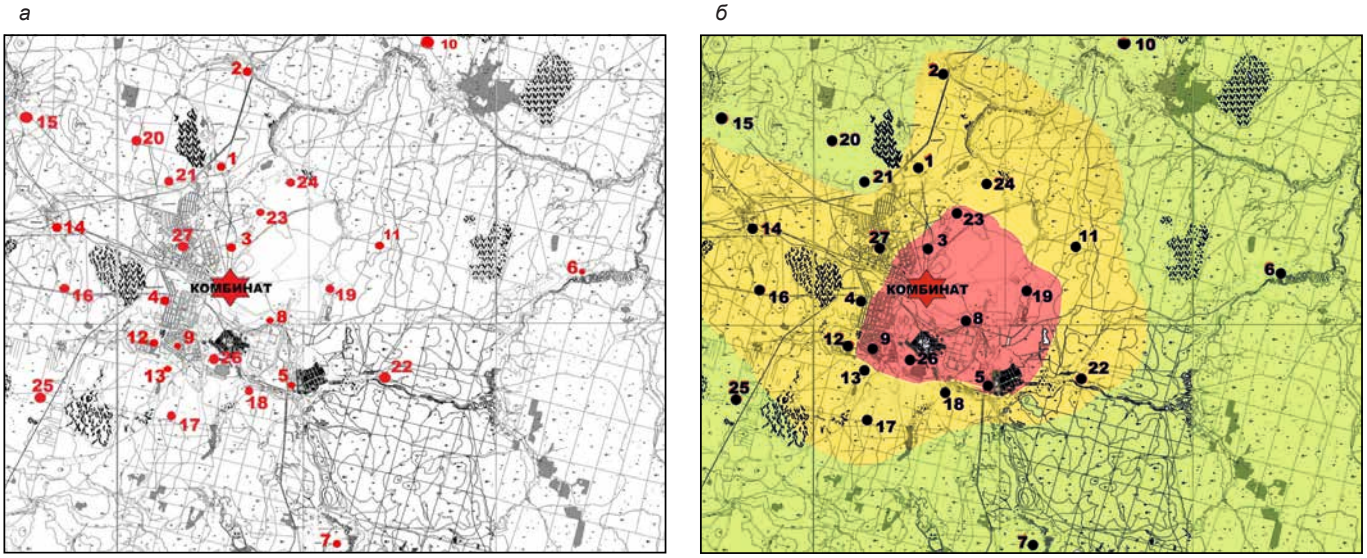

Рисунок 1. Карта Красноуральского промузла. *а* – с отмеченными номерами разрезов (М 1:140 000); *б* – с отмеченными номерами разрезов и выделенными зонами (М 1:140 000); цвета: зеленый – фоновая зона, желтый – буферная, красный – импактная.

Figure 2. The map of the Krasnoural'sk industrial hub.

Результаты и обсуждение

Все основные трансформации почвенного профиля происходят в верхней части почвы, поэтому с целью проследить преобразование кислотно-основных свойств анализировалась 0–30-сантиметровая толща. В табл. 2 приведены результаты исследований изменения кислотно-основных свойств почв. В фоновой зоне, подверженной минимальной или не подверженной вовсе техногенной нагрузке, почвы являются дерново-слабоподзолистыми, тяжелосуглинистыми [15] и распространены как в лесных экосистемах, так и в лугово-полевых.

В восточном и южном направлениях от источника эмиссии (точки № 6 и 7) серо-гумусовые горизонты слабо- и среднекислые, имеют равномерное распределение значений pH по профилю с незначительным уменьшением вниз. Реакция среды верхней части профиля в данном случае обуславливается в большей степени гумусовыми веществами. Участвующие в биогеохимическом круговороте обменные катионы кальция и магния, находящиеся в пределах 11,38–16,38 ммоль-экв/100г почвы, участвуют в нейтрализации кислотных агентов. Тем не менее, природная обусловленность реакции среды почвенного раствора имеет различия в зависимости от провинции и фитоценозов, образующих в совокупности с формами рельефа определенную ландшафтную территорию.

Почвы фоновой зоны, расположенные в юго-западном и северо-западном направлениях, характеризуются более кислой средой по всему профилю. Данные районы приурочены к темнохвойно-лесным провинциям, где pH_{KCL} лесной подстилки и элювиальных горизонтов (точка № 25) составляет в среднем 3,47 ед. и незначительно увеличивается с глубиной. Содержание катионов кальция и магния имеет резкое снижение в горизонте ELg от 3,12 до 9,37 ммоль-экв/100 г почвы у кальция, и от 5,6 до 7,6 ммоль-экв/100 г почвы у магния в сравнении с лесной подстилкой 16,25 и 13,75 ммоль-экв/100 г почвы для кальция и магния соответственно. Накопление в верхней части профиля происходит в результате биогенной органоаккумуляции с дальнейшим разрушением минеральной части почвы и транслокации катионов кальция и магния вниз по профилю под действием элювиальных процессов. Согласно данным по преобладанию ветров (табл. 1) и холмисто-увалистому типу рельефа, территория распространения пылегазовых частиц аэропромвыбросов комбината имеет обширный характер распределения кислотных агентов. Почвы данного района, служащие барьером на пути их миграции, имеют отличия по исследуемым показателям в сравнении с фоновой территорией. Так, на западном и юго-западном направлении от комбината в точках № 4, 12, 27 pH_{KCL} составляет 3,77–4,92 ед. Содержание катионов кальция и магния увеличивается с глубиной и изменяется в диапазоне в среднем от 12,65 до 18,13 ммоль-экв/100 г почвы. Севернее комбината (точки № 1 и 2) кислотность уменьшается вниз по профилю от 3,71 до 3,93 ед. pH, что в сравнении с фоновой (точка № 10) меньше на 0,58 ед. Концентрация кальция и магния возрастает от 9,63 до 24,38 ммоль-экв/100 г почвы и имеет аналогичное распределение с почвами буферной зоны юго-западного направления, уменьшаясь в сравнении с точкой № 10 в среднем на 45–50 %. В районе техногенной пустыни (точка № 24), в верхних горизонтах концентрации обменных катионов кальция и магния (в сумме) 101,25 ммоль-экв/100 г почвы, что в сравнении с фоновой зоной выше на 86 %, из которых на долю кальция приходится около 64 %. В оторфованном серо-гумусовом горизонте реакция среды сильнокислая, с глубиной изменяясь до близкой к нейтральной. Несмотря на высокое содержание кальция в гумусовом горизонте, нейтрализующей его способности недостаточно для устранения избытка кислотных агентов. Восточные (точка № 22) и южные (точка №18) районы буферной зоны имеют схожие черты распределения исследуемых компонентов с фоновой зоной за счет наименьшего распространения воздушных масс в данном направлении. Они характеризуются менее кислой реакцией среды верхней части профиля 5,42–5,66 ед. pH с незначительным уменьшением pH с глубиной. Содержание кальция и магния имеет аналогичный характер распределения с почвами фоновой зоны, увеличиваясь в среднем на 31 %.

В юго-западном направлении (точки № 13 и 17) реакция изменяется в среднем на 0,1–0,2 ед. pH в сторону под-

Таблица 2. Кислотно-основные свойства почв в районе г. Красноуральска.
Table 2. The acid-basic properties of the soil in the area of Krasnoural'sk.

Номер точки	Горизонт	Глубина, см	pH_{H2O}	pH_{kcl}	Ca + Mg	Ca^{2+}	Mg^{2+}
					Ммоль-экв на 100 г почвы		
1	AY_1	3–15	5,05 ± 0,11	3,71 ± 0,12	30,01 ± 0,70	23,75 ± 0,30	6,25 ± 0,15
	AY_2	15–25	4,99 ± 0,07	3,73 ± 0,02	23,75 ± 0,60	13,75 ± 0,20	10,02 ± 0,01
	BEL	25–30	4,63 ± 0,02	3,65 ± 0,02	24,38 ± 0,80	11,87 ± 0,80	12,50 ± 0,25
2	AY_1	4–15	5,28 ± 0,02	3,86 ± 0,02	11,87 ± 0,5	8,13 ± 0,18	3,75 ± 0,08
	AY_2	15–30	5,42 ± 0,01	3,93 ± 0,04	8,12 ± 0,2	6,00 ± 0,40	2,13 ± 0,20
3	AY	0–15	3,97 ± 0,10	3,54 ± 0,05	12,50 ± 0,30	7,50 ± 0,15	5,00 ± 0,11
	EL_g	15–30	4,67 ± 0,04	3,75 ± 0,03	6,00 ± 0,3	4,38 ± 0,18	1,63 ± 0,02
4	O	0–6	6,09 ± 0,03	5,36 ± 0,02	15,25 ± 0,3	11,63 ± 0,17	3,63 ± 0,15
	AY_g	0–15	5,47 ± 0,01	4,33 ± 0,03	12,65 ± 0,18	8,25 ± 0,25	4,38 ± 0,23
	EL_g	15–30	5,01 ± 0,09	3,83 ± 0,04	18,13 ± 0,45	15,25 ± 0,30	2,88 ± 0,20
5	O	0–7	5,28 ± 0,04	4,41 ± 0,01	22,33 ± 0,52	6,35 ± 0,30	15,98 ± 0,24
	AY	7–17	4,91 ± 0,01	3,82 ± 0,04	11,79 ± 0,20	3,10 ± 0,03	8,69 ± 0,19
	EL	17–27	5,15 ± 0,04	3,70 ± 0,07	9,02 ± 0,30	3,35 ± 0,40	5,67 ± 0,03
	BEL	27–30	5,18 ± 0,05	3,72 ± 0,06	15,57 ± 0,34	3,50 ± 0,30	12,07 ± 0,10
6	AY	4–7	5,85 ± 0,08	5,01 ± 0,06	13,38 ± 0,18	7,63 ± 0,18	5,75 ± 0,25
	AY	10–20	5,55 ± 0,14	4,54 ± 0,01	11,38 ± 0,24	7,13 ± 0,18	4,25 ± 0,12
	AYBT	20–30	5,63 ± 0,01	4,57 ± 0,01	11,63 ± 0,53	5,88 ± 0,53	5,75 ± 0,05
7	O	0–4	5,88 ± 0,08	5,12 ± 0,04	21,63 ± 0,18	16,75 ± 0,30	4,88 ± 0,15
	AY_1	4–15	4,98 ± 0,01	3,89 ± 0,01	16,38 ± 0,18	12,50 ± 0,30	3,88 ± 0,15
	AY_2	15–25	5,07 ± 0,09	3,80 ± 0,01	12,25 ± 0,10	9,50 ± 0,30	2,75 ± 0,30
	AY_3	25–30	5,29 ± 0,08	3,80 ± 0,01	15,00 ± 0,30	5,13 ± 0,15	9,88 ± 0,30
8	O	0–1	3,03 ± 0,05	2,83 ± 0,01	25,25 ± 0,35	8,88 ± 0,18	16,38 ± 0,25
	AY	1–10	3,73 ± 0,03	3,31 ± 0,02	9,27 ± 0,15	3,75 ± 0,01	5,52 ± 0,20
	BEL_g	10–20	4,82 ± 0,04	3,89 ± 0,01	13,38 ± 0,25	5,25 ± 0,30	8,13 ± 0,24
	BEL_{g2}	20–30	5,26 ± 0,01	3,97 ± 0,01	17,88 ± 0,01	10,25 ± 0,30	7,63 ± 0,18
9	AY_1	4–10	5,59 ± 0,01	4,73 ± 0,01	27,75 ± 0,35	17,88 ± 0,18	9,88 ± 0,18
	AY_2	10–20	5,61 ± 0,06	4,70 ± 0,01	35,88 ± 0,35	10,13 ± 0,18	25,75 ± 0,35
	AY_3	20–30	5,41 ± 0,04	4,33 ± 0,03	54,13 ± 0,24	21,00 ± 0,35	33,13 ± 0,40
10	AY	3–21	4,82 ± 0,01	4,29 ± 0,01	21,87 ± 0,30	12,50 ± 0,01	11,25 ± 0,50
	$AYEL_g$	21–30	5,82 ± 0,02	4,31 ± 0,01	18,75 ± 0,01	7,50 ± 0,01	11,25 ±0,01
11	O	0–3	4,64 ± 0,05	4,35 ± 0,04	60,10 ± 0,50	37,50 ± 0,03	22,50 ± 0,06
	AY	3–11	4,54 ± 0,05	3,97 ± 0,07	24,48 ± 0,35	12,25 ± 0,20	12,24 ± 0,35
	EL	11–30	4,47 ± 0,02	3,92 ± 0,03	11,25 ± 0,60	6,25 ± 0,10	5,00 ± 0,08
12	O	0–3	5,80 ± 0,01	4,92 ± 0,02	30,05 ± 0,15	20,01 ± 0,45	10,04 ± 0,65
	AY_1	3–15	5,10 ± 0,01	4,41 ± 0,01	17,5 ± 0,54	11,87 ± 0,40	5,62 ± 0,30
	AY_2	15–30	5,38 ± 0,01	4,23 ± 0,01	15,62 ± 0,60	11,25 ± 0,51	4,37 ± 0,15
13	O	0–3	5,41 ± 0,01	5,29 ± 0,01	77,50 ± 0,63	54,60 ± 0,80	22,90 ± 0,70
	AY_1	3–10	4,22 ± 0,01	3,72 ± 0,01	10,62 ± 0,35	6,87 ± 0,10	3,75 ± 0,01
	AY_2	10–20	4,26 ± 0,01	3,78 ± 0,01	15,62 ± 0,40	11,25 ± 0,30	4,37 ± 0,30
	BEL	20–30	4,89 ± 0,01	4,05 ± 0,01	25,00 ± 0,01	16,25 ± 0,10	8,75 ± 0,10
14	AY_1	3–13	5,70 ± 0,01	5,31 ± 0,04	51,25 ± 0,77	45,00 ± 0,25	6,25 ± 0,30
	AY_2	13–26	5,98 ± 0,01	5,43 ± 0,02	46,25 ± 0,70	37,50 ± 0,35	8,75 ± 0,20
	AY_3	26–30	5,60 ± 0,06	5,06 ± 0,02	52,50 ± 0,10	36,30 ± 0,70	16,25 ± 0,80
15	O	0–2	4,65 ± 0,02	4,31 ± 0,03	68,75 ± 1,77	17,50 ± 3,54	51,25 ± 1,77
	AY_1	2–12	4,42 ± 0,01	4,68 ± 0,01	42,50 ± 3,54	13,75 ± 1,77	28,75 ±1,77
	AY_2	12–25	5,53 ± 0,02	4,32 ± 0,03	33,75 ± 1,77	13,75 ± 1,77	20,00 ± 3,54
	BEL	25–30	5,62 ± 0,03	3,71 ± 0,02	28,75 ± 1,77	15,00 ± 3,54	13,75 ± 5,31
16	O	0–4	5,16 ± 0,03	4,60 ± 0,03	48,75 ± 5,30	28,75 ± 1,77	20,00 ± 7,07
	AY_1	4–11	4,42 ± 0,03	3,66 ± 0,02	26,25 ± 1,76	20,00 ± 1,77	6,25 ± 3,54
	BEL	11–30	4,43 ± 0,02	3,68 ± 0,01	18,13 ± 0,88	11,25 ± 1,77	6,87 ± 2,65
17	O	0–4	4,86 ± 0,04	3,93 ± 0,02	43,75 ± 1,77	23,75 ± 5,31	20,00 ± 7,07
	EL_{g1}	4–20	4,14 ± 0,02	3,64 ± 0,02	12,50 ± 0,01	5,62 ± 0,88	6,87 ± 0,88
	EL_{g2}	20–30	4,80 ± 0,03	3,88 ± 0,01	13,13 ± 0,88	7,50 ± 0,01	5,62 ± 0,88
18	O	0–3	6,15 ± 0,04	5,66 ± 0,02	38,75 ± 1,77	31,25 ± 1,77	7,50 ± 0,01
	AY_1	3–15	6,89 ± 0,02	5,88 ± 0,02	26,25 ± 3,54	19,37 ± 0,88	6,87 ± 2,65
	AY_2	15–30	4,82 ± 0,03	4,20 ± 0,03	21,25 ± 1,77	13,12 ± 2,65	8,12 ± 0,88

Продолжение табл. 2

Номер точки	Горизонт	Глубина, см	pH_{H2O}	pH_{kcl}	Ca + Mg	Ca^{2+}	Mg^{2+}
					Ммоль-экв на 100 г почвы		
19	AY_1	5–15	4,54 ± 0,02	3,87 ± 0,01	28,12 ± 0,88	20,00 ± 1,77	8,13 ± 2,66
	AY_2	15–20	4,67 ± 0,03	3,92 ± 0,01	31,25 ± 0,77	21,25 ± 0,01	10,00 ± 1,77
	AYEL	20–30	4,80 ± 0,03	3,89 ± 0,02	33,12 ± 0,88	20,62 ± 2,65	12,50 ± 1,77
20	O	0–5	5,59 ± 0,01	5,03 ± 0,03	48,75 ± 1,77	26,25 ± 1,77	22,50 ± 0,01
	AY	5–12	5,10 ± 0,03	4,61 ± 0,04	25,62 ± 0,88	14,37 ± 0,88	11,25 ± 0,01
	BEL	12–30	4,97 ± 0,03	3,99 ± 0,02	13,75 ± 0,01	6,25 ± 0,01	7,50 ± 0,01
21	O	0–2	5,62 ± 0,03	5,05 ± 0,03	52,50 ± 7,07	33,75 ± 1,77	18,75 ± 8,83
	AY	2–15	5,81 ± 0,01	5,04 ± 0,02	33,75 ± 1,77	19,37 ± 0,88	14,37 ± 0,88
	AY_2	15–30	5,72 ± 0,02	4,91 ± 0,02	33,75 ± 3,54	21,25 ± 1,77	12,50 ± 5,30
22	AY_1	4–10	6,07 ± 0,03	5,39 ± 0,01	33,75 ± 3,54	16,25 ± 3,54	17,50 ± 0,01
	AY_2	10–20	6,12 ± 0,04	5,42 ± 0,02	30,00 ± 1,77	16,87 ± 0,88	13,12 ± 2,67
	AY_3	20–30	5,32 ± 0,03	4,77 ± 0,03	21,87 ± 2,65	13,75 ± 1,77	8,12 ± 4,42
23	AY_1	3–10	3,77 ± 0,04	2,68 ± 0,04	17,50 ± 1,77	9,37 ± 0,88	8,12 ± 2,65
	AY_2	10–20	3,9 ± 0,03	2,79 ± 0,03	16,87 ± 0,88	9,37 ± 0,88	7,50 ± 0,01
	AYEL	20–30	4,23 ± 0,02	3,07 ± 0,02	14,37 ± 0,88	8,75 ± 1,77	5,62 ± 0,88
24	AY_t	9–35	5,32 ± 0,02	4,21 ± 0,02	101,25 ± 1,77	63,75 ± 1,77	37,50 ± 3,54
	AY	35–44	7,06 ± 0,02	6,35 ± 0,03	51,87 ± 0,88	34,37 ± 0,88	17,50 ± 0,01
25	O	0–5	4,47 ± 0,02	3,41 ± 0,02	30,00 ± 3,54	16,25 ± 1,77	13,75 ± 5,31
	EL_{g1}	5–15	4,88 ± 0,03	3,46 ± 0,01	13,12 ± 0,88	3,12 ± 2,65	10,00 ± 1,76
	EL_{g2}	15–30	4,97 ± 0,03	3,54 ± 0,03	10,62 ± 0,88	5,00 ± 1,77	5,62 ± 0,88
26	O	0–3	4,62 ± 0,01	4,55 ± 0,02	43,75 ± 1,77	15,00 ± 3,54	28,75 ± 1,77
	AY_1	3–15	4,59 ± 0,02	4,43 ± 0,03	25,00 ± 1,77	16,25 ± 0,01	8,75 ± 1,77
	AY_2	15–26	4,35 ± 0,01	3,96 ± 0,02	22,50 ± 1,77	16,87 ± 0,88	5,62 ± 2,66
	EL	26–30	4,39 ± 0,03	3,87 ± 0,03	16,87 ± 0,88	9,37 ± 0,88	7,50 ± 1,77
27	O	0–2	5,40 ± 0,03	4,75 ± 0,02	46,25 ± 1,77	28,75 ± 1,77	17,50 ± 3,54
	AY_1	2–12	4,80 ± 0,02	3,96 ± 0,02	15,00 ± 1,77	11,87 ± 0,88	3,12 ± 0,88
	AY_2	12–24	4,97 ± 0,03	3,84 ± 0,03	18,75 ± 0,01	11,25 ± 1,77	7,50 ± 1,77
	EL	24–30	4,83 ± 0,01	3,77 ± 0,02	15,62 ± 0,88	7,50 ±0,01	8,12 ± 0,88

кисления. Изменения в кислотно-основных компонентах происходит вследствие дополнительного привноса кислотных агентов в виде выпадающих сернокислотных дождей, сухих аэрозолей и пылегазовых частиц. В результате происходящих реакций образующейся серной кислоты и соединений кальция происходит его миграция в форме водорастворимых сульфатов вниз по профилю. Также избыток сульфат-ионов может поглощаться путем хемосорбции на оксидах железа и алюминия, при этом выделяется ион OH^-, нейтрализующий H^+:

$$2FeOOH + SO_4^{2-} \rightarrow (FeO)_2SO_4 + 2OH,^-$$

что отчетливо наблюдается в районе техногенной пустыни (точка № 24). Импактная зона характеризуется максимальной техногенной нагрузкой. В сравнении с фоновыми показателями в северной части (точки № 3 и 23) pH_{KCL} ниже на 1,6 ед. Концентрация обменных катионов кальция и магния уменьшается на 36 %. В южном и восточном направлениях (точки № 8, 9, 19) кислотность повышается на 0,5–1,0 ед. pH с возрастанием концентрации кальция и магния от 9,27 до 54,13 ммоль-экв/100 г почвы. Точки № 5 и 26 имеют кислую реакцию среды с уменьшением pH вниз по профилю в среднем на 1,53–2,01 ед. Наблюдаются изменения в распределении обменных катионов кальция и магния с уменьшением в верхней части профиля в среднем на 20–30 %. Отличия в особенностях компонентного состава кислотно-основных свойств почвы происходят в результате частого отсутствия воздушных масс и образованию штилей (табл. 1), в результате чего основные потоки миграции сульфат-ионов взаимодействуют с районами, прилегающими к комбинату, и вблизи него.

Выводы

В результате проведенных исследований характера изменения кислотно-основных свойств почв в районе г. Красноуральска можно выделить три основные зоны: 1) импактная зона, находящаяся в непосредственной близости от источника эмиссии и удаленная на расстояние около 4 км от факела; 2) буферная зона, служащая барьером на пути распространения газопылевых выбросов и вытянутая на расстояние от 4 до 8–12 км по направлению преобладающих ветров долины (западного, северо-западного и северного, северо-восточного); 3) фоновая, имеющая минимальное влияние газопылевых выбросов вследствие отдаленности от комбината на 8–12 км и направления рассеивания аэрогенных потоков.

С приближением к зоне техногенной активности комбината наблюдаются изменения в составе кислотно-основных компонентов и их перераспределении по профилю. В результате производственной деятельности комбината в атмосферу поступают аэрогенные потоки, несущие в себе газопылевые частицы с комплексом оксидов серы и азота. Оксиды, соединяясь с атмосферной влагой, образуют свободные кислоты, выпадающие вместе с осадками на прилегающие ландшафты. Вследствие легкости переноса воздушными потоками влияние подкисляющих агентов распространяется на значительные расстояния. В сравнении с буферной в импактной зоне наблюдается уменьшение pH

в среднем на 1,5–2 ед. Происходит вынос обменных катионов кальция и магния с уменьшением в среднем на 20–30 %. Образовавшиеся водорастворимые соединения вымываются в нижележащие горизонты. Избыточная кислотность почв способствует протеканию и ускорению процессов кислотного гидролиза минеральной фазы почв, вследствие чего щелочноземельные металлы переходят в раствор.

Согласно принципу Ле-Шателье–Брауна, с воздействием на буферную систему почвы подкисляющих агентов происходит компенсация в виде выноса продуктов, внесенных в данную систему. В результате обильных техногенных потоков сульфат-ионов образуются новые реакционные геохимические барьеры, мобилизующие большинство тяжелых металлов, вследствие чего нарушается закономерность перераспределения главных ионов, входящих в почвенно-поглощающий комплекс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емлин Э. Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. Свердловск: Изд-во УрГУ, 1991. 255 с.
2. Мельчаков Ю. Л. Закономерности элементопереноса в системе «почва–атмосфера» (на примере Северного Урала) // Литосфера. 2008. № 2. С. 133–138.
3. Удачин В. Н. Экогеохимия горнопромышленного техногенеза Южного Урала: дис. … д-ра геол.-минерал. наук. Миасс, 2012. 352 с.
4. Лысак А. В., Назаров Н. М., Рябошапко А. Г. Проблема дальнего атмосферного переноса загрязнений // Журнал Всесоюз. хим. о-ва им. Д. И. Менделеева. 1979. Т. 24, № 1, С. 25–29.
5. Pelisek J. Okyselovani lesnich pud kyselymi srizkami v oblasti zdaiskych vrchu na Ceskomoravske vrhovine // Lesnictvi. 1983. Vol. 29. S. 673–682.
6. Hetsch W., Meiwes K.-J., Ulrich B. Anderungen bodenchemischer Standortseigenschaften durch saure Niederschlage // Mitt. Forstl. Bundes-Versuchsanst. 1980. № 140. S. 223–230.
7. Baath E., Lundgren B., Soderstrom B. Effects of artificial acid rain on microbial activity and biomass // Bull. Environ. Contam. and Toxicol. 1979. Vol. 23. P. 737–740.
8. Чертов О. Г., Меньшикова Г. П. О воздействии кислых осадков на лесные почвы // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1983. № 6. С. 906–913.
9. О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2014 году: госуд. докл. Ч. 5. Техногенная нагрузка на территориях управленческих округов Свердловской области. Екатеринбург, 2015. 336 с.
10. Джалалова Г. Т. О кислотно-основных свойствах почв в зоне влияния комбината (Южный Урал) // Геология, геохронология и геоэкология: исследования молодых: материалы XVI молодеж. конф., посвящ. памяти чл.-корр. АН, проф. К. О. Кратца. Апатиты, 2005. С. 356–360
11. Бичукина И. А. Методические основы системы комплексного экологического мониторинга промышленной площадки медеплавильного комбината: на примере ОАО «Святогор»: дис. … канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург, 2008. 159 с.
12. Фирсова В. П. Лесные почвы Свердловской области и их изменения под влиянием лесохозяйственных мероприятий. Свердловск, 1969. 152 с.
13. Чикишев А. Г. Физико-географическое районирование Урала // Проблемы физической географии Урала: тр. МОИП. Т. XVIII. М.: Изд-во МГУ, 1966. С. 7–84.
14. Зубарева Р. С. Лесорастительные условия и типы темнохвойных лесов горной полосы Среднего Урала // Типы и динамика лесов Урала и Зауралья: тр. ин-та экологии растений и животных УФ АН СССР. Вып. 53. Свердловск, 1967. С. 13–88.
15. Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

Поступила 22 января 2018 г.

DOI 10.21440/2307-2091-2018-1-55-61

The nature of the change of acid-base properties of soils in the zone of technogenesis (on the example of the Krasnoural'skiy industrial center)

Mikhail Viktorovich Shabanov,
geohim.spb@gmail.com
Maksim Sergeevich Marichev
m.s.marichev@yandex.ru
Saint-Petersburg State Agrarian University
Saint Petersburg, Russia

Intensive anthropogenic load of non-ferrous metallurgy enterprises leads to significant changes in landscape complexes. There is a structural transformation of soil cover and physicochemical characteristics, which require detailed study. This determines the ***relevance*** of the work.
The purpose of the present research is to study the changes in the acid-base properties of soils under middle-taiga Subboreal humid landscapes on the example of the Krasnoural'sk industrial hub.
Methodology. The studies of the soil cover were conducted. The areas of redistribution and spreading of the acid agent with the distance from the source of emission were highlighted. The main components characterizing the environment in the 0-30-centimeter soil thickness were determined.
Results. In the course of the work completed, the three zones were identified: the impact zone, the buffer zone, and the background zone. The main sources of anthropogenic load in the researched area are the industrial discharges of the plant. Those discharges consist of both aerosol and soot particles. The parameters of their influence on natural and territorial complexes were determined by the wind patterns which were being analyzed over a long period of time. They also took into consideration the precipitation and temperature regimen of the area. As a result of the circulation of atmospheric flows, it was determined particles were being distributed over considerable distances from the flare zone. It was also determined that when precipitation interacts with the main accompanying gases of copper smelting production, acid rains are formed. This rain changes the environment of the soil composition.
Summary. In the soil, acid hydrolysis processes occur with the destruction of its mineral part. The main ions of the soil-absorbing complex undergo transformation and become involved in the geochemical cycle. The processes of accumulation and translocation affect the general physical and chemical state of the soil. New geochemical barriers to the migration of heavy metals are formed, and the general pattern of redistribution of the main components is violated. The acid-base properties are changed in the first place.

Keywords: technogenesis; Krasnoural'skiy GOK (ore-dressing and processing enterprise); industrial discharges of a plant; changing acid-base properties of soils; zones of anthropogenic load.

REFERENCES

1. Yemlin E. F. 1991, *Tekhnogenez kolchedannykh mestorozhdeniy Urala* [Technogenesis of the massive sulfide deposits of the Urals]. Sverdlovsk, 255 p.
2. Mel'chakov Yu. L. 2008, *Zakonomernosti elementoperenosa v sisteme «pochva–atmosfera» (na primere Severnogo Urala)* [Patterns of the elemental transfer in the "soil–atmosphere" system (on the example of the Northern Urals)]. *Litosfera* [Litosfera], no. 2, pp. 133–138.
3. Udachin V. N. 2012, *Ekogeokhimiya gornopromyshlennogo tekhnogeneza Yuzhnogo Urala: dis. … d-ra geol.-mineral. nauk* [Environmental geochemistry of mining technogenesis of the southern Urals: dissertation of the Doctor of geological and mineralogical sciences] Miass, 352 p.
4. Lysak A. V., Nazarov N. M., Ryaboshapko A. G. 1979, Problema dalnego atmosfernogo perenosa zagryazneniy [The problem of the distant atmospheric transfer of pollution]. *Zhurnal Vsesoyuz. khim. o-va im. D. I. Mendeleeva* [Journal of the all-USSR chemical society named after D. I. Mendeleyev], vol. 24, no. 1, pp. 25–29.
5. Pelisek J. 1983, Okyselovani lesnich pud kyselymi srizkami v oblasti zdaiskych vrchu na Ceskomoravske vrhovine. *Lesnictvi*, vol. 29, pp. 673–682.
6. Hetsch W., Meiwes, K.-J., Ulrich B. 1980, Bodenchemischer Standortseigenschaften Anderungen durch saure Niederschlage. *Mitt. Forstl. Bundes-Versuchsanst*, no. 140, pp. 223–230.
7. Baath E., Lundgren B., Soderstrom B. 1979, Effects of artificial acid rain on microbial activity and biomass. *Bull. Environ. Contam. and Toxicol.*, vol. 23, pp. 737–740.
8. Chertov O. G., Men'shikova G. P. 1983, *O vozdeystvii kislykh osadkov na lesnyye pochvy* [On the impact of acid precipitation on forest soils]. *Izv. AN SSSR. Seriya Biologiya* [News of the USSR Academy of Sciences. Biology], no. 6, pp. 906–913.
9. 2015, *O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Sverdlovskoy oblasti v 2014 godu: gosud. dokl. Ch. 5. Tekhnogennaya nagruzka na territoriyakh upravlencheskikh okrugov Sverdlovskoy oblasti* [On the state and environmental protection of the Sverdlovsk region in 2014: The State Report. Part 5. Anthropogenic impact on the territories of administrative districts of the Sverdlovsk region]. Ekaterinburg, 336 p.
10. Dzhalalova G. T. 2005, *O kislotno-osnovnykh svoystvakh pochv v zone vliyaniya kombinata (Yuzhnyy Ural)* [On acid-base properties of soils in the zone of influence of the plant (South Ural)]. *Geologiya, geokhronologiya i geoekologiya: issledovaniya molodykh: materialy XVI molodezh. konf.. posvyashch. pamyati chl.-korr. AN. prof. K. O. Krattsa* [Geology, geochronology and geo-ecology: studies conducted by young researchers: proceedings of the 16th young people's Conference dedicated to the memory of the corresponding member of the Academy of Sciences, Professor K. O. Kratz]. Apatity, pp. 356–360
11. Bichukina I. A. 2008, *Metodicheskiye osnovy sistemy kompleksnogo ekologicheskogo monitoringa promyshlennoy ploshchadki medeplavilnogo kombinata: na primere OAO «Svyatogor»: dis. … kand. geol.-mineral. nauk* [Methodical bases of system of complex ecological monitoring of the industrial site of copper-smelting plant: on the example of JSC "Svyatogor": dissertation of the Candidate of geological and mineralogical sciences]. Ekaterinburg, 159 p.
12. Firsova V. P. 1969, *Lesnyye pochvy Sverdlovskoy oblasti i ikh izmeneniya pod vliyaniyem lesokhozyaystvennykh meropriyatiy* [Forest soils of the Sverdlovsk region and their changes under the influence of forestry measures]. Sverdlovsk, 152 p.
13. Chikishev A. G. 1966, *Fiziko-geograficheskoye rayonirovaniye Urala* [Physical and geographical zoning of the Urals]. *Problemy fizicheskoy geografii Urala. Trudy MOIP. T. XVIII* [Problems of physical geography of the Urals. Transactions of the MOIP (Moscow Society of Naturalists), vol. XVIII]. Moscow, pp. 7–84.
14. Zubareva P. C. 1967, *Lesorastitelnyye usloviya i tipy temnokhvoynykh lesov gornoy polosy Srednego Urala* [The conditions of forest growth and types of dark coniferous forests of mountain ranges of the Middle Urals]. *Tipy i dinamika lesov Urala i Zaural'ya. Trudy in-ta ekologii rasteniy i zhivotnykh UF AN SSSR* [Types and dynamics of forests of the Urals and the Trans-Urals. Proceedings of the Institute of plants and animal ecology, Ural branch of the Academy of Sciences of the USSR]. Sverdlovsk, pp. 13–87.
15. Shishov L. L., Tonkonogov V. D., Lebedeva I. I., Gerasimova M. I. 2004, *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnosis of Russian soils], Smolensk, 342 p.

Received 22 January 2018