

## КАТИОНОГЕННЫЕ МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ПЕДОСФЕРЕ ЧЕРНЕВЫХ ЛЕСОВ

А.В. Салтыков

*Рассмотрено участие катионогенных микроэлементов в педогеохимических процессах на территории черневых лесов. Педосфера рассматривается как вертикально неделимая система, состоящая из зон, где протекает тот или иной почвенный процесс.*

Педосфера черневых лесов на юге Западной Сибири уже давно привлекает внимание многих исследователей, в результате чего рождались противоречивые взгляды на её генезис [1, 2] и почвенное биоразнообразие [3]. Данная разногласия в научных кругах вызвана некорректными, а часто и недоказуемыми понятиями того или иного процесса. А отсюда вытекающие последствия, такие как не состоятельная классификация почв, некорректный отбор почвенных образцов и в итоге ложная интерпретация данных, которая в свою очередь рождает множество новых противоречивых взглядов и ошибочных мнений. Поэтому автор отказался использовать в данной работе какую-либо классификацию, полагая, что можно обойтись и без неё.

Целью исследования было изучение поведения катионогенных микроэлементов в педосфере черневых лесов юга Западной Сибири.

Задачи исследования:

1. Дать физико-географическую характеристику педосферы пояса черневых лесов.
2. Охарактеризовать поступление катионогенных микроэлементов в педосферу черневых лесов.
3. Охарактеризовать перераспределение катионогенных микроэлементов в педосфере черневых лесов.
4. Охарактеризовать выведение катионогенных микроэлементов из педосферы черневых лесов.

### УСЛОВИЯ ПЕДОГЕНЕЗА

Черневые леса на территории юга Западной Сибири встречаются в Северо-Восточном Алтае [4–6], Горной Шории [6, 7], на западных и юго-западных склонах Кузнецкого Алатау [8–10], а также на восточных склонах Салаирского кряжа [9–12].

Черневые леса располагаются в относительно тёплых и влажных участках [13, 14]. Такие климатические условия складываются в результате образования барьера Кузнецким Алатау для влажных воздушных масс с Атлантического и Северного океана. Поднима-

ясь вверх, по склонам с ветровыми потоками, они задерживаются в плотном и высокоствольном древостое хвойных пород, оседая и увлажняя почву [13, 15].

Черневые леса отличаются повышенной суммой положительных температур (выше 10°), которая колеблется от 1600 до 1800°С. Количество дней с такой температурой составляет 110–120. Продолжительность безморозного периода 110–115 дней. Значительно сокращается амплитуда суточных температур на поверхности и внутри почв [13].

Осадков в год выпадает более 2000 мм, и основная их масса приходится на зимний период. В результате этого происходит мощное снегонакопление (до 3 м), который выполняет важную роль в динамике биогеохимических циклах. Под таким мощным слоем снега складываются оптимальные гидротермические условия для миграции различных веществ, даже в зимнее время [5, 13, 15].

Низкогорье и нижняя часть среднегорий, где произрастают черневые леса, представлены группами гор отличающихся мягкими очертаниями, но довольно суженные, с абсолютными отметками 400–1300 м и относительным превышениям рельефа до 500 м и более. Склоны их относительно пологи [11, 13, 16, 17] и расчленены глубокими долинами многочисленных рек [7, 12, 18, 19].

### АГЕНТЫ ПЕДОГЕНЕЗА

На большей территории черневых лесов Кузнецкого Алатау, Горной Шории и Салаирского кряжа почвообразующими породами являются бурые бескарбонатные глины. На протяжении огромного ареала залегания они характеризуются удивительным постоянством не только морфологического строения, окраски, но и химического состава [13].

Растительность пояса черневых лесов мозаична [20]. Основу травостоя в разных фитоценозах образуют: борец северный, волдушка золотистая, скерда сибирская, лабазник вязолистный и другие виды. Они встречаются в различных сочетаниях, образуя группу доминирования [4].

Микроорганизмы в почвах под черневыми горными лесами характеризуются значительно более высокой среднегодовой численностью, вместе с тем им присуще и совершенно иное соотношение отдельных их групп. Так по количеству актиномицетов и споровых форм они стоят гораздо ближе к таким известным высокой микробиологической активности типам почв, как чернозёмы, нежели к почвам подзолистого типа. Преобладание микроорганизмов, предпочитающих среду с минеральным, а не органическим источником азота. Отмечается бурная активность целлюлозоразрушающих микроорганизмов, аммонификаторов и нитрификаторов даже в холодные месяцы.

Примечательным является чрезвычайно малое и относительное, и абсолютное количество грибов в составе микробоценозов пояса черневых лесов [13].

#### ОБЪЕКТ И ПРЕДМЕТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования в данной работе является педосфера черневых лесов. Особенностью морфологического строения педосферы черневых лесов является: большая мощность почвенной толщи; вертикальная растянутость элювиальной и иллювиальной части профиля; обилие гумусовых потёков, проникающих по трещинам на большую глубину [21]. Также для педосферы исследуемой территории характерно высокое содержание гумуса, за счёт интенсивных процессов деструкции органического вещества и гумификации.

Предметом исследования являются катионогенные микроэлементы в педосфере экосистем пояса черневых лесов. К ним относятся: серебро, бериллий, медь, ртуть, литий, цинк, кадмий, церий, кобальт, цезий, галлий, германий, гафний, молибден, никель, свинец, скандий, уран, олово, торий и иттрий [22].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В педосферу черневых лесов поступление катионогенных микроэлементов происходит двумя основными потоками. К ним относятся: поступление элементов при разложении органических остатков (медь, цинк другие катионогенные микроэлементы биогенного происхождения) и в результате деструкции минералов почвообразующих пород (все катионогенные микроэлементы).

Растительные остатки на территории черневых лесов представлены хвоей, листьями и ветками древесных пород, а также надземной и подземной частью травянистых рас-

тений. В целом на поверхность педосферы под пихтовыми черневыми лесами поступает до 0,05 кг/м<sup>2</sup> отмершего растительного материала, под осиново-пихтовыми и берёзово-пихтовыми черневыми лесами – около 0,10 кг/м<sup>2</sup>, что касается осиновых черневых лесов, то для них этот показатель увеличивается до 0,53 кг/м<sup>2</sup>. Вся поступающая масса органического вещества очень быстро разрушается, так что на поверхности почвенного профиля почти нет подстилки.

Количество поступающего в почву катионогенного микроэлемента из растительного материала зависит от вида растения, в состав которого он входил. Так с опадом лиственных пород больше привносится меди, а с опадом хвойных пород – цинка и кобальта (табл. 1).

Таблица 1  
Количество катионогенных микроэлементов, поступающее с 1 кг опада древесных пород, мг

Элементы	Древесные породы	
	лиственные	хвойные
Медь	< 4	< 2
Цинк	< 25	< 30
Кобальт	< 0,2	< 0,5

Основная масса катионогенных микроэлементов поступает с опадом травянистых растений. Среди всех семейств, произрастающих на территории черневых лесов, розоцветные в большей степени обогащают педосферу свинцом и кадмием; яснотковые – медью и ртутью; астровые – цинком и бериллием (табл. 2).

Таблица 2  
Количество катионогенных микроэлементов, поступающее с 1 кг опада травянистых растений, мг

	Семейства				
	розоцветные	бобовые	яснотковые	мятликовые	астровые
Zn	< 50	< 30	< 50	< 55	< 80
Cu	< 10	< 15	< 20	< 3,5	< 15
Pb	< 4	< 2,5	< 3	< 1	< 2,5
Cd	< 0,09	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,08
Be	< 0,01	следы	< 0,01	< 0,04	< 0,02
Hg	< 0,02	< 0,01	< 0,03	< 0,02	< 0,03

Не меньший вклад в поступление катионогенных микроэлементов вносят мхи, которые развивают здесь достаточно большую массу (до 0,15 кг/м<sup>2</sup>). Вместе с 1 кг опада

## КАТИОНОГЕННЫЕ МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ПЕДОСФЕРЕ ЧЕРНЕВЫХ ЛЕСОВ

мхов в почву поступает до 4 мг меди, до 2 мг кобальта и др.

В процессе разложения органического материала, попавшего на поверхность (растительные и животные остатки) и внутрь (корни растений и микроорганизмы) почвы происходит разделение основного потока биофильных и органофильных элементов на несколько составляющих. Одна часть катионогенных микроэлементов, входящих в состав сложных макромолекул, используется микроорганизмами [23], вследствие чего происходит аккумуляция этих элементов в гумусовых горизонтах. После разложения этих микроорганизмов органическое вещество, составляющее их тела, преобразуется в процессе гумификации в гумусовые вещества. При этом часть элементов идёт на образование фульвокислот, которые мигрируют вниз по профилю. Это особенно характерно для педосферы пихтовых черневых лесов и в меньшей степени для педосферы осинового пихтового леса. Другая часть элементов участвует в образовании гуминовых кислот, гумина и других мало подвижных гумусовых веществ, что ведёт снова к аккумуляции этих катионогенных микроэлементов в гумусовых горизонтах. В результате этого механизма в педосфере на исследуемой территории происходит увеличение содержания таких элементов как: бериллий, кобальт, медь, ртуть, молибден, ниобий и некоторые другие (табл. 3). Третья часть катионогенных микроэлементов при разложении образует легко растворимые соединения, и мигрируя в виде ионов вниз по профилю, образуют общий поток с фульвокислотами. В ходе миграции происходит сорбция свободных ионов в ППК.

Основная доля свободных и адсорбированных ионов поглощается корнями растений и выносится из почвенного профиля, чтобы потом с отмершей наземной массой снова вернуться в почву.

Мигрирующие фульвокислоты, ионы хлора и некоторые органические кислоты и аминокислоты, которые выделяют растения, а также кислоты, выделяемые надземной массой хвойных древесных пород и смываемые атмосферными осадками в почву, являются одной из причин появления другого основного потока поступления элементов в почву. Он появляется в результате деструкции минералов почвообразующих пород и высвобождении элементов.

Самым распространённым способом деструкции минералов является деятельность микроорганизмов. По данным Т. Аристовской В. [24] существуют два типа прямого воздействия микроорганизмов на минералы: ферменты и слизи. С помощью ферментов происходит разрушение минералов, содержащих элементы с переменной валентностью (сульфиды, окислы, гидроокислы и др.). Слизь влияет менее специфично, поэтому имеет большее значение в биологической деструкции минералов.

В результате деструкции минералов происходит высвобождение элементов. Этот образовавшийся поток свободных ионов далее разделяется на несколько составляющих: одна часть поглощается корнями растений; другая – участвует в синтезе вторичных минералов; третья – адсорбируется почвенным поглощающим комплексом. Все элементы поглощаются растениями в виде простых или сложных ионов.

Возвращаясь к деструкции минералов, отметим, что при разрушении 1 кг почвообразующих пород, в почвенную толщу поступают все катионогенные микроэлементы.

Количество катионогенных микроэлементов (мкг), поступающее в педосферу при деструкции 1 кг почвообразующей породы:

Ag < 0,05    Be < 3,5    Co < 35,  
Cu < 55    Hg < 0,1    Mo < 8  
Ni < 85    Pb < 20    Sc < 20  
Sn < 8    Sr < 200    Zn < 85  
Y < 35

От соотношения процессов синтеза и деструкции минералов зависит распределение катионогенных микроэлементов во внутрипрофильных горизонтах. Поэтому в элювиальном горизонте, где преобладают процессы деструкции, происходит его обеднение элементами (табл. 4).

Таблица 3  
Количество катионогенных микроэлементов, иммобилизованных в гумусовом горизонте, мг/кг

	Черневые леса		
	пихтовые	осиново-пихтовые	осиновые
Ag	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Be	< 1,5	< 2	< 3
Co	< 30	< 25	< 25
Cu	< 54	< 40	< 45
Hg	< 0,12	< 0,09	< 0,07
Mo	< 4,7	< 2,5	< 3,5
Ni	< 60	< 30	< 50
Pb	< 30	< 25	< 30
Sc	< 15	< 15	< 20
Sn	< 5	< 4,5	< 2
Sr	< 300	< 300	< 200
Y	< 30	< 30	< 50
Zn	< 55	< 50	< 50

Таблица 4  
Содержание катионогенных микроэлементов в элювиальных горизонтах, мг/кг

	Черневые леса		
	пихтовые	осиново-пихтовые	осиновые
Ag	> 0,03	> 0,03	> 0,03
Be	> 2	> 1,5	> 1
Co	> 20	> 25	> 15
Cu	> 25	> 45	> 30
Hg	> 0,05	> 0,1	> 0,07
Mo	> 2	> 2,5	> 3
Ni	> 25	> 45	> 35
Pb	> 20	> 10	> 20
Sc	> 15	> 10	> 20
Sn	> 2	> 2	> 2
Sr	> 200	> 120	> 200
Y	> 40	> 30	> 30
Zn	> 35	> 40	> 40

В текстурных горизонтах, преобладает синтез вторичных минералов, что приводит к иммобилизации катионогенных микроэлементов в этих горизонтах (табл. 5).

Таблица 5  
Содержание катионогенных микроэлементов в текстурных горизонтах исследуемых почв, мг/кг

	Черневые леса		
	пихтовые	осиново-пихтовые	осиновые
Ag		< 0,04	< 0,03
Be	< 3	< 4	< 4
Co	< 20	< 35	< 25
Cu	< 40	< 55	< 55
Hg	< 0,07	< 0,15	< 0,08
Mo	< 4	< 6	< 3,5
Ni	< 50	< 90	< 45
Pb	< 25	< 65	< 30
Sc	< 20	< 20	< 30
Sn	< 2	< 7	< 2
Sr	< 200	< 300	< 200
Y	< 60	< 40	< 60
Zn	< 45	< 70	< 60

Единственным оппонирующим процессом в текстурных горизонтах является всасывание катионогенных микроэлементов редкими корнями растений, но их влияние здесь незначительно.

Поскольку педосфера черневых лесов развивается на склонах в гумидных условиях, то не все элементы, поступающие с потоком веществ из верхних горизонтов, успевают аккумулироваться в текстурном горизонте и

очень незначительная их часть выносятся из почвенного профиля латеральным стоком.

### ВЫВОДЫ

1. Педосфера черневых лесов формируется в уникальных для умеренных широт климатических условиях, при взаимодействии мощного плаща бурых бескарбонатных глин, реликтовой гигантской растительности и нетипичного для подобных территорий микробиологического состава.

2. Поступление катионогенных микроэлементов в почвенный профиль происходит за счёт разложения отмершего органического материала и деструкции минералов почвообразующих пород. С органическими остатками в почву поступает в большей степени медь и цинк; с продуктами разрушения минералов – бериллий, кобальт, медь, ртуть, марганец, свинец и др.

3. Внутрипрофильное распределение катионогенных микроэлементов подчиняется элювиально-иллювиальному распределению с ярко выраженной биологической аккумуляцией в верхней части почвенного профиля.

4. Вынос катионогенных микроэлементов происходит за счёт корневого поглощения растениями и латерального стока, который на территории исследования незначительный.

*Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РГНФ 05-06-18001е, 05-06-18015е, интеграционных проектов СО РАН №167 и №65.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ковалёв Р.В., Корсунов В.М., Шоба В.Н. Процессы и продукты почвообразования в темнохвойных лесах. – Новосибирск: Наука, 1981. – 120 с.
- Танзыбаев М.Г. Почвы Хакасии. – Новосибирск: Наука, 1993. – 256 стр.
- Красильников П.В., Фузнтес-Ромеро Э. Почвенное разнообразие: теория, практика и методы исследования // Материалы по изучению русских почв. – 2003. – № 4. – С. 37-42.
- Волкова Л.В. Поведение видов черневого крупнотравья // Географические проблемы Алтайского края: Сб. тезисов, часть 2. – Барнаул, 1991. – С. 7-10.
- Кутафьев В.П. Значение и охрана черневых лесов Горного Алтая // Вопросы охраны природы Горного Алтая: Сб. статей. – Горно-Алтайск, 1976. – С. 124-125.
- Ковалёв Р.В., Волковинцер В.И. и др. Основные черты почвообразования и особенности почв Западно-Сибирской равнины и её горного юго-восточного окаймления // X Международный конгресс почвоведов: Сб. докладов. – Новосибирск: Наука, 1974. – С. 36-53.

## КАТИОНОГЕННЫЕ МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ПЕДОСФЕРЕ ЧЕРНЕВЫХ ЛЕСОВ

7. Таранов С.А. К характеристике почвенного покрова Горной Шории / Конференция почвоведов Сибири и Дальнего Востока: Тез. докл. – Горно-Алтайск, 1962. – С. 100-101.
8. Фалалеев Э.Н. Пихтовые леса Сибири и их комплексное использование. – М.: Лесная промышленность, 1964. – 165 с.
9. Коропачинский И.Ю. Дендрофлора Алтайско-Саянской горной области. – Новосибирск: Наука, 1975. – 292 с.
10. Хмелёв В.А. Особенности почвообразования в бассейне реки Иши // Конференция почвоведов Сибири и Дальнего Востока: Тез. докл. – Горно-Алтайск, 1962. – С. 87-88.
11. Ильин В.Б., Аникина А.П. и др. Некоторые вопросы биохимии и агрохимии микроэлементов в исследовании ландшафтов Западной Сибири // X Международный конгресс почвоведов: Сб. докладов. – Новосибирск: Наука, 1974. – С. 72-82.
12. Корсунова Т.М., Корсунов В.М. Особенности гумусового профиля серых лесных глубокоподзоленных почв Салаирского края // Лесные почвы Алтае-Саянской области: Сб. статей. – Красноярск, 1977. – С. 48-56.
13. Трофимов С.С. Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области. – Новосибирск: Наука, 1975, – 299 с.
14. Рамане Х.К., Фрейберга Г.Я. Регулирование минерального состава растений путём компенсации влияния свойств почвы на поступление макро- и микроэлементов // Микроэлементы в комплексе минерального питания растений: Сб. статей. – Рига: Зинатне, 1975. – С. 29-46.
15. Шипов А.В., Мунатова Г.В. Геолого-географические особенности и заболеваемость населения Республики Алтай // Природные ресурсы Горного Алтая: Сб. науч. статей. – Горно-Алтайск: ГАГУ, 1997. – С. 172-179.
16. Разрез новейших отложений Алтая / Под ред. К.К. Маркова. – М.: МГУ, 1977. – 208 с.
17. Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А. Коллоидная химия. – М.: Высш. школа, 1992. – 414 с.
18. Алтае-Саянская горная область: История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. – М.: Наука, 1969. – 415 с.
19. Пузанов А.В., Бабошкина С.В., Мальгин М.А. Содержание и некоторые закономерности распределения мышьяка в горно-лесных почвах Алтая // География и природопользование Сибири. Вып. 6. – Барнаул: АлтГУ, 2003. – С. 203-214.
20. Винокурова Е.Ю. Биохимия возрастных состояний рода *Angelica silvestris* Салаирской тайги // Географические проблемы Алтайского края: Сб. тезисов, часть 2. – Барнаул, 1991. – С. 15-18.
21. Мальгин М.А. Закономерности распределения микроэлементов в почвах Горного Алтая / Этюды по биохимии и агрохимии элементов-биофилов: Сб. статей. – Новосибирск: Наука, 1977. – С. 48-61.
22. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия. – М.: Логос, 2000. – 627 с.
23. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. – Л.: Наука, 1980. – 288 с.
24. Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования. – Л.: Наука, 1980. – 187 с.