

# АГРОЭКОЛОГИЯ



УДК 502.5

И.А. Архипов  
I.A. Arkhipov

## БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ АЛТАЯ

### BIOGEOCHEMICAL FEATURES DETERMINING LANDSCAPE-GEOCHEMICAL BEHAVIOR OF TRACE ELEMENTS IN THE SOILS OF THE ALTAI MOUNTAINS

**Ключевые слова:** микроэлементы, почвы, пространственное распределение, внутрипрофильное распределение, условия почвообразования.

Ландшафтно-геохимические и почвенно-геохимические исследования в системе высотных поясов Алтая являются приоритетными задачами региональной экологии. На территории Алтая рассмотрены особенности геохимического поведения микроэлементов в границах следующих достаточно четко выделяющихся трех биогеохимических поясов. **1. Пояс высокогорных тундр и альпийских лугов** расположен на останцово-холмистовалистых пенеplenизированных высокогорьях с маломощным суглинисто-щебнистым покровом с альпийскими и субальпийскими низкотравными и высокотравными лугами на горно-луговых почвах. Занимает верхние ярусы главных хребтов Алтая. **2. Горно-лесной биогеохимический пояс** сформирован на среднегорных лесных с лиственничными и березово-лиственничными лесами на горно-лесных черноземовидных почвах. Разделяется на два биогеохимических района – Северо-Восточный и Центральный. **3. Пояс степных и сухостепных межгорных котловин и речных долин** сформирован в межгорно-котловинных степных в полого-увалистых днищах котловин, сложенных щебнисто-суглинистыми и суглинистыми пролювиальными, аллювиальными и озерными отложениями, с ковыльными разнотравно-злаковыми степями на черноземах обыкновенных и южных, днищах котловин, сложенных галечниками, суглинисто-щебнистыми и суглинистыми ледниковыми, делювиальными и аллювиальными отложениями, с лапчатково-полынно-мелкодерновинно злаковыми степями на темно-каштановых и каштановых почвах. Изучаемые комплексы существенно отличаются по составу четвертичных отложений. В основу районирования положена высотная поясность, определяющая главные закономерности дифференциации как почвенного покрова, так и всего комплекса природных условий в целом. На рассматриваемой территории были изучены следующие

типы и подтипы почв: горно-луговые альпийские и субальпийские, горно-лесные черноземовидные, горно-лесные бурые, черноземы обыкновенные, черноземы южные, каштановые почвы.

**Keywords:** trace elements, soils, spatial distribution, intra-profile distribution, soil formation conditions.

Landscape-geochemical and soil-geochemical studies related to the altitudinal belts of the Altai Mountains are the priorities of the regional ecology. The geochemical behavior of trace elements within the boundaries of three biogeochemical zones of the Altai Mountains is discussed. The altitudinal belts defining soil cover and a complex of natural conditions on the whole is the basis of zoning. The belt of alpine tundra and alpine meadows (located on the upper levels of the main Altai ridges) occupies the rocky and steeply-sloping peneplenized highlands with thin loamy ranker and alpine and subalpine with short- and tall-grass meadows on mountain-meadow soils. The mountain forest biogeochemical belt (divided into two biogeochemical areas – Northeast and Central areas) is formed by mid-mountain forests with larch and birch-larch forests on mountain forest chernozem-like soils. The belt of steppe and dry steppe intermountain depressions and river valleys is located in intermountain-steppe and hollow-ridged bottoms formed by rubble-loamy and loamy proluvial, alluvial and lacustrine deposits with feather-grass and motley grass-grasses steppes on ordinary and southern chernozems; in the bottoms formed by pebble beds, rubble-loamy and loamy glacial, diluvial and alluvial deposits with silverweed-sagebrush low bunchgrass steppes on dark chestnut and chestnut soils. The complexes under study differ greatly in the composition of quaternary sediments. We studied the following soil types and subtypes: mountain meadow alpine and subalpine, mountain forest chernozem-like, brown mountain-forest, ordinary and southern chernozems, and chestnut soils.

**Архипов Игорь Александрович**, к.г.н., с.н.с., лаб. биогеохимии, Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул. Тел.: (3852) 24-39-27; 961-999-51-09. E-mail: arhipov@iwep.ru.

**Arkhipov Igor Aleksandrovich**, Cand. Geo. Sci., Senior Staff Scientist, Biogeochemistry Lab., Institute for Water and Environmental Problems, Sib. Branch of Rus. Acad. of Sci., Barnaul. Ph.: (3852) 24-39-27; 961-999-51-09. E-mail: arhipov@iwep.ru.

### Введение

В рассматриваемой группе тяжелых металлов свинец и цинк относятся к I классу опасности; медь, хром, никель и кобальт – ко II классу [1]. Различия в содержании микроэлементов, обусловленные возрастом и составом пород, определенным образом влияют на геохимические особенности всех составных компонентов рассматриваемых биогеохимических поясов, особенно четко это проявляется в почвенном покрове. Ниже рассматриваются основные черты природных условий, даются характеристики районов и особенности поведения изучаемых элементов в данных конкретных условиях.

#### Задачи исследований:

1) рассмотреть степень влияния природных (биогеохимических, литологических и др.) условий на распределение элементов в почвах различных типов;

2) выявить закономерности распределения комплекса микроэлементов по профилям различных почв.

#### Методы исследований

При выполнении полевых работ использованы сравнительно-географический и сравнительно-генетический методы [2]. Полнопрофильные почвенные разрезы закладывали в системе геохимически сопряженных ландшафтов. Пробы почв отбирали по генетическим горизонтам. Их физико-химические свойства определяли общепринятыми в почвоведении методами, содержание микроэлементов – методом количественного плазменно-спектрального анализа в лаборатории биогеохимии почв ИПА СО РАН. Геохимические профили почв были построены на основе элювиально-аккумулятивных коэффициентов.

#### Результаты и их обсуждение

В пределах горных стран различные структуры почвенного покрова обычно контролируются разнообразием макро-, мезо- и микроформ рельефа. Как следствие, возникает определенная последовательность высотных почвенных поясов с ярко выраженными типами почв и характерными физическими, химическими и биогеохимическими признаками [3].

**Почвы пояса высокогорных тундр и альпийских лугов** (элювиальных ландшафтов) в основном маломощные. Генетическая дифференциация профилей горно-луговых почв слабо выражена, вместе с тем почвы отличаются мощным грубогумусным горизонтом, с содержанием гумуса от 5 до 14,5%. Реакция среды почв кислая (рН 5). В качестве иллюстрации распределения микроэлементов в профиле горно-луговых почв приведены геохимические формулы этих почв, составленные на основании величин элювиально-аккумулятивных коэффициентов. Для всех рассмотренных микроэлементов величина этого коэффициента больше либо равна 1 (табл. 1).

Таблица 1

*Геохимические формулы горно-луговых почв*

Почвы	Геохимические формулы	
Альпийские и субальпийские горно-луговые	A	$\frac{Zn \ Pb \ Ni \ Cr}{-} \ Co \ V$
	B	$\frac{Cr \ Ni \ Pb \ Cr}{-} \ V \ Co \ Zn$

Примечание. В числителе – микроэлементы, имеющие значение элювиально-аккумулятивного коэффициента больше 1, знаменателе – меньше 1, в строке – примерно равное 1.

Характер распределения элементов в профиле практически не меняется. Значения элювиально-аккумулятивных коэффициентов показывают, что элементы Zn, Pb, Ni, Cr активно накапливаются в гумусовом горизонте.

Несмотря на то, что гумусовый горизонт почв горно-луговых ландшафтов обогащен рядом микроэлементов, профиль в конечном итоге обедняется ими, поскольку элементы подвижны в горно-луговых условиях и удаляются из ландшафта.

Таким образом, в почвах горно-луговых ландшафтов наблюдается обогащение гумусовых горизонтов микроэлементами с высоким коэффициентом биологического поглощения, что свидетельствует о значительной роли растений в перераспределении микроэлементов в горно-луговых ландшафтах (табл. 2).

Таблица 2

Содержание микроэлементов и физико-химические параметры горно-луговой почвы (горно-луговая суглинистая среднетяжелая на щебнистом элювио-делювии). Разрез 20-99-А

Генетический горизонт	Глубина образца, см	Гумус	Ил	Физическая глина	рН водн.	Емкость поглощения, мг/экв на 100 г почвы	мг/кг					
							V	Ni	Pb	Zn	Co	Cr
A	2-7	14,5	30,0	64,4	4,6	40,2	116	60	20	50	30	300
AB	7-14	3,6	22,2	54,8	5,0	14,8	118	80	20	60	30	300
B	17-25	2,3	23,0	42,0	5,0	12,7	85	40	10	20	30	200
BC	26-36	0,7	9,8	18,0	5,0	10,6	70	40	10	40	30	200
C	40-50	0,5	0,9	5,9	5,4	8,5	65	100	20	80	30	300
CD	70-80	0,3	0,8	16,2	7,9	4,2	46	100	20	80	40	300

**Условия горно-лесного биогеохимического пояса** существенно отличаются от горно-луговых особенностями процессов перераспределения химических элементов. Почвенный покров здесь сравнительно мощный, дифференцированный, представлен горно-лесными черноземовидными и бурыми лесными почвами. Ареал распространения горно-лесных черноземовидных почв ограничивается поверхностями пологих склонов, конусов речных выносов, котловин и наклонных террас долин рек Катунь, Кокса, Абай, а также их притоков. Исследуемые почвы развиты под парковыми лиственничными лесами. Почвообразующими породами являются делювиальные, элювиоделювиальные и аллювиальные отложения, лессовидные карбонатные отложения щебнисто-суглинистого и песчаного состава. Содержание микроэлементов в этих почвах также зависит от состава подстилающих пород. Но наряду с этим под влиянием почвообразовательных процессов происходит заметное перераспределение микроэлементов в профиле горно-лесных почв (табл. 3).

**Горно-лесные бурые почвы** формируются в средней, наиболее увлажненной, части лесного пояса и занимают значительные площади у верхней границы леса [4]. Почвы развиты на элювио-делювии и элювии хлоритово-

серицитовых сланцев и песчаниках интрузивных пород. Дифференциация на генетические горизонты слабая. Гранулометрический состав средне- и тяжелосуглинистый (табл. 4).

Процессы почвообразования осуществляются под влиянием различных формаций бореальной тайги. Гумус равномерно распределен по профилю. В составе гумуса отмечается резкое преобладание фульвокислот над гуминовыми кислотами [5]. Профиль горно-лесных бурых почв не насыщен основаниями.

Таблица 3

Геохимические формулы горно-лесных почв

Почвы	Геохимические формулы	
Горно-лесные черноземовидные	A	$\frac{-}{Ni\ Co\ Pb} Zn\ V$
	B	$\frac{Zn}{V\ Pb} Ni\ Co$
Горно-лесные бурые	A	$\frac{-}{V\ Ni\ Co\ Pb} Zn$
	B	$\frac{Co\ Zn}{Pb} Ni\ V$

Примечание. В числителе – микроэлементы, имеющие значение элювиально-аккумулятивного коэффициента больше 1, знаменателе – меньше 1, в строке – примерно равное 1.

Таблица 4

Содержание микроэлементов и физико-химические параметры горно-лесной бурой почвы (горно-лесная бурая оподзоленная супесчаная на аллювиальных отложениях). Разрез 212А

Генетический горизонт	Глубина образца, см	Гумус	Ил	Физическая глина	рН водн.	Емкость поглощения, мг/экв на 100 г почвы	мг/кг				
							V	Ni	Pb	Zn	Co
A	8-13	3,1	1,8	20,7	5,5	20,2	80	18	9	60	20
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	13-23	1,3	3,0	20,6	5,2	8,0	150	30	9	70	20
A <sub>2</sub> B	30-40	1,0	4,0	22,2	5,4	9,4	120	25	10	70	20
B <sub>1</sub>	50-60	0,6	3,7	22,2	5,5	15,0	180	30	9	50	15
B <sub>2</sub>	70-80	0,5	3,7	22,1	5,9	8,0	150	30	12	70	18
B <sub>3</sub> <sup>Fe</sup>	100-110	0,4	14,3	33,5	5,9	20,7	180	45	15	60	25
BC	130-140	0,4	12,8	20,2	5,8	16,9	80	18	10	70	30
BC	160-170	0,4	2,4	5,2	6,0	11,3	150	30	12	70	30
CD	18-190	0,3	2,8	3,6	5,8	13,2	120	25	15	80	25

Таблица 5

Содержание микроэлементов и физико-химические параметры чернозема обыкновенного (чернозем обыкновенный среднемогучий глинистый на делювиальных карбонатных глинах). Разрез 225А

Генетический горизонт	Глубина образца, см	Гумус	Ил	Физическая глина	рН водн.	Емкость поглощения, мг/экв на 100 г почвы	V	Ni	Pb	Zn	Co
		%									
A <sub>дер</sub>	0-5	6,0	21,0	62,8	7,3	62,0	150	30	15	45	30
A <sub>1</sub>	10-20	4,5	24,8	65,9	7,3	62,0	100	25	15	35	25
A <sub>1</sub>	22-32	3,9	26,9	66,2	7,8	62,0	120	40	25	50	35
AB <sup>k</sup>	35-45	2,2	35,6	76,7	8,0	43,2	90	25	15	35	20
B <sub>1</sub> <sup>k</sup>	55-65	1,3	34,0	76,0	8,2	30,0	110	25	10	55	30
B <sub>2</sub> <sup>k</sup>	80-90	0,6	36,2	72,2	8,3	28,0	110	30	10	50	30
B <sub>3</sub> <sup>k</sup>	110-120	0,4	36,6	63,8	8,4	24,0	120	35	12	50	35
B <sub>4</sub> <sup>k</sup>	135-145	0,3	8,9	42,0	8,4	56,0	120	35	35	45	35
BC <sup>k</sup>	170-180	0,1	29,9	65,9	8,4	28,0	110	35	10	45	30
C <sup>k</sup>	200-210	0,1	33,1	66,5	8,3	24,0	80	35	9	60	30

Почвенный покров среднегорных котловин и речных долин сформирован почвами черноземного типа (черноземы типичные, обыкновенные и южные). Естественная растительность представлена преимущественно разнотравно-злаковыми и разнотравными луговыми степями.

Почвообразующими породами являются маломощные скелетные часто карбонатные покровные суглинки делювиального, пролювиального и аллювиального происхождения. Бескарбонатная, верхняя, часть профиля черноземов, отличается нейтральной реакцией среды, а нижняя, обогащенная карбонатами, – щелочной (табл. 5).

Природная обстановка (незначительное количество осадков, нейтральная среда почвенного раствора, наличие карбонатного горизонта в профиле) не способствует миграции элементов как по профилю почвы, так и за пределы пояса (табл. 6).

Таблица 6

Геохимические формулы черноземов котловин

Почвы	Геохимические формулы	
Черноземы обыкновенные	A	$\frac{V}{Ni\ Co\ Pb}\ Zn$
	B	$\frac{Pb}{V\ Ni\ Co}\ Zn$
Черноземы южные	A	$\frac{Ni\ Pb\ V\ Zn}{-}\ Co$
	B	$\frac{-}{Pb\ V}\ Zn\ Ni\ Co$

Примечание. В числитель – микроэлементы, имеющие значение элювиально-аккумулятивного коэффициента больше 1, знаменателе – меньше 1, в строке – примерно равное 1.

Степные котловины и речные долины – характерный элемент рельефа Алтая. По схеме структурно-геоморфологического районирования они относятся к внутригорным эрозионно-тектоническим впадинам и располагаются на высотах 900-2500 м [6].

Плакорные участки Чуйской и Курайской котловин и террасы Чуи покрывают опустыненные злаковые степи, которые по окраинам котловин и шлейфам гор переходят в настоящие мелко-дерновинные злаковые степи [3]. Почвенный покров представлен тремя подтипами каштановых почв. Почвы карбонатные со щелочной реакцией среды (табл. 7).

В аккумулятивных участках наблюдается засоление. Уровень содержания, аспекты миграции, аккумуляции и биологического поглощения микроэлементов в каштановых почвах котловин определяет ряд факторов: непромывной водный режим, осложняющий водную миграцию и способствующий накоплению элементов в верхних горизонтах; окислительная обстановка, предполагающая увеличение содержания подвижных форм; сорбционный и испарительный геохимические барьеры, обуславливающие концентрацию микроэлементов при широком интервале рН; низкое содержание органического вещества; наличие мощных карбонатных горизонтов [7].

В каштановых почвах можно наблюдать карбонатно-сульфидную аккумуляцию микроэлементов в некоторых горизонтах почв и пород, чему способствует и испарительная концентрация. Геохимические формулы горно-каштановых почв показаны в таблице 8.

Следовательно, аридные условия, щелочная реакция, импермацидный гидрорежим (как следствие, восходящая миграция влаги и солей), высокая зольность растительных остатков способствуют обогащению горно-каштановых почв некоторыми микроэлементами: Zn, V, Co.

Таблица 7

Содержание микроэлементов и физико-химические параметры каштановых почв (каштановая песчаная маломощная на эолово-делювиально-аллювиальных отложениях. Чуйская котловина). Разрез 256А

Генетический горизонт	Глубина образца, см	Гумус	Ил	Физическая глина	рН водн.	Емкость поглощения, мг/экв на 100 г почвы					
							мг/кг				
А	0-10	0,6	4,2	9,2	7,2	7,8	60	70	18	50	17
А	15-25	0,6	2,4	7,2	8,1	9,6	70	40	15	45	10
В <sub>к</sub>	29-39	0,6	4,5	8,4	8,5	4,8	90	35	20	40	17
ВС <sub>к</sub>	43-53	0,4	4,8	14,8	8,7	10,0	60	35	18	35	12
С <sub>к</sub>	55-65	0,1	0,6	3,9	9,1	4,8	80	50	18	45	10
СД <sub>к</sub>	70-80	0,0	0,8	4,4	8,9	8,0	70	30	15	35	15

Таблица 8

Геохимические формулы горно-каштановых почв

Почвы	Геохимические формулы	
Темно-каштановые речных долин	А	$\frac{-}{V Ni Co Zn Mo} Pb$
	В	$\frac{-}{V Be Mo} Ni Co Pb Zn$
Каштановые котловин	А	$\frac{Zn V Co}{-} Ni Pb$
	В	$\frac{V}{Pb Zn} Ni Co$

Примечание. В числитель – микроэлементы, имеющие значение элювиально-аккумулятивного коэффициента больше 1, знаменателе – меньше 1, в строке – примерно равное 1.

**Заключение**

Исследуемая территория различается как по уровню содержания, так и по характеру распределения микроэлементов.

Валовое содержание микроэлементов в почвах обусловлено их первичным содержанием в почвообразующих субстратах, однако характер распределения этих элементов в ландшафте – рядом внешних природных условий (гидрорежимом, особенностями биологического поглощения, степенью гумификации растительных остатков, особенностями местных геохимических барьеров).

Наблюдается накопление элементов в почвах, когда содержание их в почвообразующих породах невелико (Zn, Ti, V, Co в каштановых почвах).

**Библиографический список**

1. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими элементами. – М.: Минздрав СССР, 1987. – 25 с.
2. Роде А.А. Система методов исследований в почвоведении. – Новосибирск: Наука, 1971. – 92 с.

3. Мальгин М.А. Биогеохимия микроэлементов в Горном Алтае. – Новосибирск: Наука, 1978. – 272 с.

4. Почвы Горно-Алтайской автономной области / под ред. Р.В. Ковалева. – Новосибирск: Наука, 1973. – 352 с.

5. Donisa C., Mocanu R., Steinnes E. Distribution Of some major and minor elements between fulvic and humic acid fractions in natural soils // Geoderma. – 2003. – 111. – P. 75-84.

6. Ерофеев В.С. Геологическая история южной периферии Алтая в палеогене и неогене. – Алма-Ата, 1969. – 147 с.

7. Архипов И.А., Пузанов А.В. Особенности биогеохимического поведения микроэлементов в горных ландшафтах Алтая // Ползуновский вестник. – 2006. – № 2-1. – С. 301-304.

**References**

1. Metodicheskie ukazaniya po otsenke stepeni opasnosti zagryazneniya pochvy khimicheskimi elementami. – M.: Minzdrav SSSR, 1987. – 25 s.

2. Rode A.A. Sistema metodov issledovaniy v pochvovedenii. – Novosibirsk: Nauka, 1971. – 92 s.

3. Mal'gin M.A. Biogeokhimiya mikroelementov v Gornom Altae. – Novosibirsk: Nauka, 1978. – 272 s.

4. Pochvy Gorno-Altayskoi avtonomnoi oblasti / Pod red. R.V. Kovaleva. – Novosibirsk: Nauka, 1973. – 352 s.

5. Donisa C., Mocanu R., Steinnes E. Distribution of some major and minor elements between fulvic and humic acid fractions in natural soils // Geoderma. – 2003. – 111. – P. 75-84.

6. Erofeev V.S. Geologicheskaya istoriya yuzhnoi periferii Altaya v paleogene i neogene. – Alma-Ata, 1969. – 147 s.

7. Arkhipov I.A., Puzanov A.V. Osobennosti biogeokhimicheskogo povedeniya mikroelementov v gornyx landshaftakh Altaya // Polzunovskii vestnik. – 2006. – № 2-1. – S. 301-304.