

РАДИАЛЬНАЯ МИГРАЦИЯ СИДЕРОФИЛЬНЫХ (СО, СГ) И ХАЛЬКОФИЛЬНЫХ (ZN) МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ ГОРНОГО МАССИВА ЕРГАКИ (ЗАПАДНЫЙ САЯН)

Рассмотрены генетические типы почв горного массива Ергаки; изучены их морфологические, физические, физико-химические и химические свойства. Выявлена закономерность распределения кобальта, цинка и хрома в почвенных профилях и почвообразующих породах горной территории в условиях смены высотной поясности и геохимических фаций. Рассчитаны элювиально-аккумулятивные коэффициенты для исследованных типов почв, позволяющие охарактеризовать особенности радиальной миграции Со, Сг и Zn. Построены ряды радиальной миграции, отражающие неоднородность распределения кобальта, хрома и цинка в почвах катен северной и южной экспозиций. Анализ радиальной миграции изучаемых элементов (Со, Сг и Zn) показал, что накопление Zn и Со происходит в серых почвах (катена 1), ржавоземах типичных и горно-луговых почвах (катена 2), соответствующих трансэлювиальным фациям; в остальных исследованных почвах, относящихся к различным геохимическим фациям, происходит рассеяние Со, Сг и Zn.

Ключевые слова: горные почвы; геохимические фации; микроэлементы; радиальная миграция.

Многообразие и сложность геохимических процессов, протекавших и идущих в настоящее время в природных ландшафтах, накладывающихся на тот или иной литогеохимический фон, обуславливают пространственную неоднородность естественного геохимического фона в содержании микроэлементов в различных компонентах ландшафта. Анализ взаимосвязей между распределением элементов в почвах и их генетическими особенностями является важной задачей изучения элементного состава почв разных типов [1]. Для ряда почв эти вопросы достаточно хорошо изучены, однако почвы Западного Саяна, в частности горного массива Ергаки, в этом отношении не были исследованы.

Объектом исследования явился почвенный покров горного массива Ергаки, расположенного в центральной части Западного Саяна, в пределах Западно-Саянского нагорья. Общая его протяженность с севера на юг около 20 км и столько же с запада на восток. Массив сильно изрезан древними ледниками и имеет разветвленную орографию [2] (рис. 1).

Цель исследования заключается в установлении закономерностей внутрипрофильного распределения микроэлементов (Со, Сг, Zn) в почвенном покрове горного массива Ергаки (Западный Саян).

Задачи исследования: 1) изучение макроморфологических свойств почв и почвообразующих пород; 2) установление физических, физико-химических и химических свойств почв и почвообразующих пород данной территории; 3) определение валовых содержаний кобальта, цинка и хрома в почвах и почвообразующих породах; 4) изучение особенностей миграции микроэлементов (Со, Сг и Zn); 5) расчет элювиально-аккумулятивных коэффициентов для цинка, кобальта и хрома.

Для изучения основных особенностей почвенно-геохимической структуры территории использовался катенарный метод с выделением элювиальных, трансэлювиальных, трансэлювиально-аккумулятивных и супераккумулятивных фаций [3].

В ходе полевых исследований было выполнено макроморфологическое описание почв и почвообразующих пород горного массива Ергаки по стандартной методике изучения почв и подстилающих пород [4].

Гранулометрический состав почв и почвообразующих пород был определен методом пипетки в стоячей воде в варианте Н.А. Качинского [5]. Физико-химические и химические свойства почв определялись общепринятыми в почвоведении методами [6]. Валовое

содержание микроэлементов (Со, Сг, Zn) определялось нейтронно-активационным методом (прибор ДТДК-50). Для количественной характеристики почвенно-геохимических процессов перераспределения веществ в системе «почва – порода» применялись элювиально-аккумулятивные коэффициенты [7].

Для исследования почв и подстилающих пород горного массива Ергаки было заложено две катены: катена 1 на высоте 1313–1510 м, соответствующая склону южной экспозиции, и катена 2, соответствующая склону северной экспозиции (интервал высот 1313–1898 м).

Макроморфологические исследования на территории горного массива Ергаки зафиксировали формирование различных типов почвенного профиля. По морфологическим, физическим, физико-химическим и химическим свойствам почвы относятся к аллювиальным серогумусовым глеевым почвам (O-AУ-G-CG~); серым почвам (O-AУ-AEL-BEL-BТ-C); ржавоземам типичным (O-AУ-BFM-C); буроземам типичным (O-AУ-BM-C) [9], горно-луговым почвам (Ad-A-BC-C) [10].

По распределению гумуса ржавоземы типичные, соответствующие элювиальной фации катены 1 (южная экспозиция, точка 1) (рис. 2), характеризуются как высокогумусные. Его содержание в горизонте O – 14,8%. Высокое содержание гумуса обусловлено тем, что почва формируется на поверхности элювиальной фации под разнотравным пихтово-кедровым лесом. По величине pH водной вытяжки горизонты O и AУ характеризуются кислой реакцией среды (4,1), вниз по профилю кислотность снижается до 5,5 в горизонте BFM и до 5,3 в почвообразующей породе. Снижение кислотности объясняется присутствием в этом горизонте карбонатов (0,34%). По содержанию гранулометрических фракций профиль ржавоземов типичных дифференцирован – зафиксировано утяжеление гранулометрического состава от песка рыхлого (горизонт AУ) до легкого суглинка (горизонт BFM). Содержание илстой фракции по всему почвенному профилю незначительно [11].

Анализ распределения полуторных окислов показал, что профили ржавоземов типичных характеризуются высоким содержанием Fe_2O_3 – до 1598,74 мг/кг в горизонте BFM. Это обусловлено протеканием метаморфического почвообразовательного процесса – ожелезнения, а также составом почвообразующей породы, которая представлена метаморфическими сланцами. Содержание Al_2O_3 увеличивается вниз по профилю к почвообразующей породе от 12,85 до 26,37 мг/кг [11].

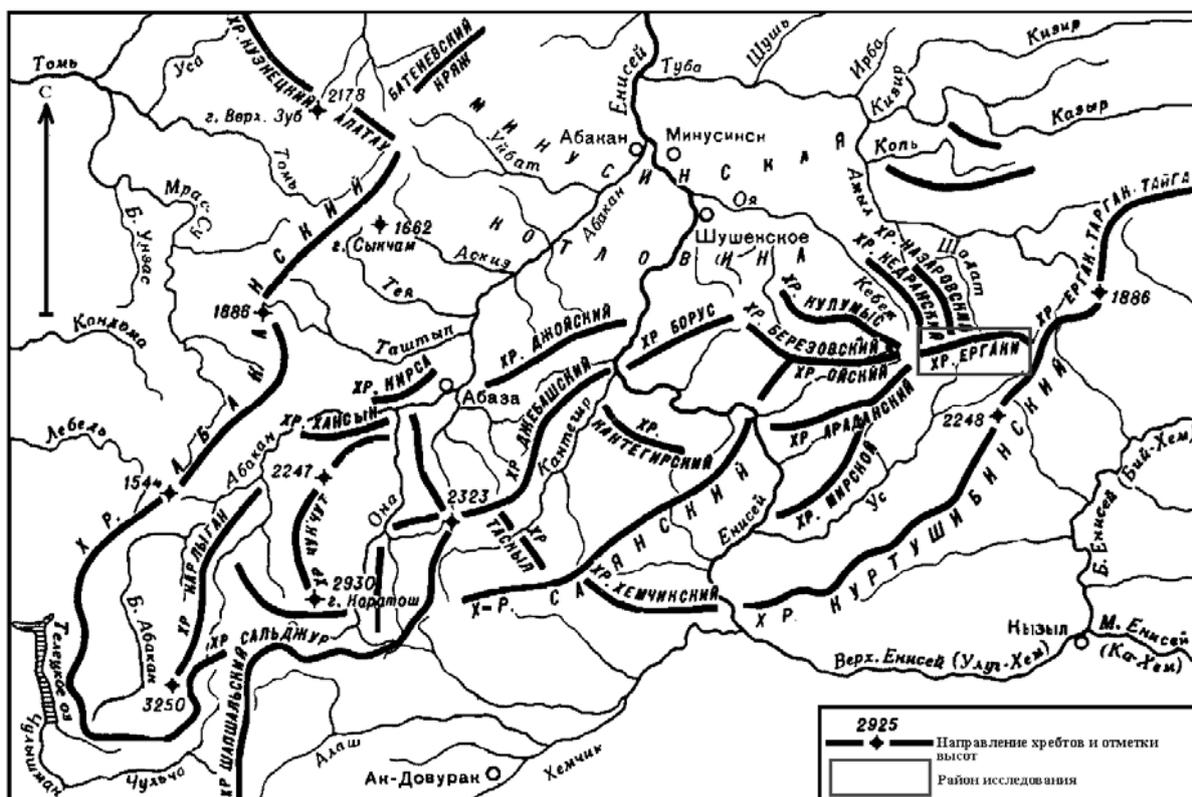
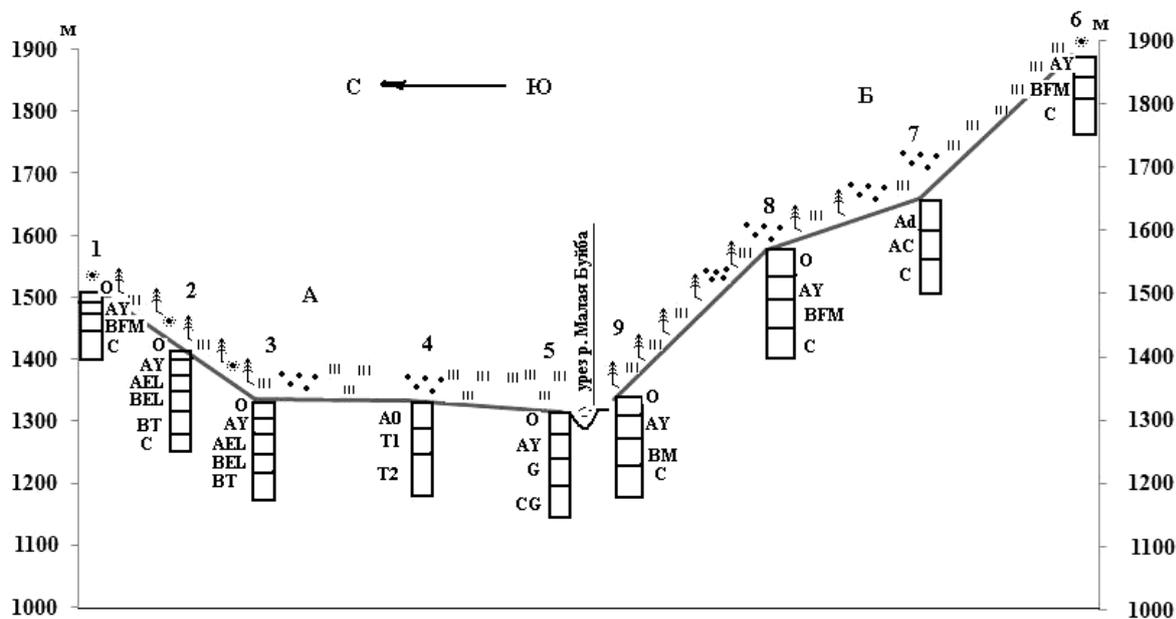


Рис. 1. Схема строения хребтов Западного Саяна [8]



III III — кустарнички; III — разнотравье; III III — высокое разнотравье; III III — хвойный лес (пихово-кедровый); III III — карликовая береза;

Рис. 2. Ландшафтно-геохимические сопряжения: А – catena 1; Б – catena 2.

Почвы: 1 – ржавоземы типичные; 2 – серые слаборазвитые почвы; 3 – серые почвы; 4 – торфяные эутрофные почвы; 5 – аллювиальные серогумусовые глеевые почвы; 6 – ржавоземы типичные; 7 – горно-луговые почвы; 8 – ржавоземы типичные; 9 – буроземы типичные

По содержанию цинка профили ржавоземов типичных, соответствующих элювиальной фации cateny 1, не дифференцированы, максимальное его содержание

зафиксировано в почвообразующей породе – 608 мг/кг. Это обусловлено максимальным содержанием в почвообразующей породе Al_2O_3 (26,27 мг/кг), который явля-

ется сорбентом Zn [12]. По содержанию хрома и кобальта почвенные профили также слабо дифференцированы, зафиксировано лишь незначительное увеличение количества Cr и Co вниз по профилю к почвообразующей породе, что объясняется их низкой миграционной способностью в кислой среде, которой характеризуются эти почвы (табл. 1).

Серые почвы, соответствующие трансэлювиальной фации катены 1 (южная экспозиция, точка 2) (рис. 2), по содержанию гумуса характеризуются как среднегумусные. Его содержание в горизонтах O и AY колеблется от 4 до 6%, в нижних горизонтах содержание гумуса в среднем составляет 1,3%. По величине pH водной вытяжки серые почвы характеризуются кислой

(3,5) и слабокислой (4,7) реакцией среды, кислотность снижается вниз по профилю к почвообразующей породе. Снижение кислотности связано с элювиально-иллювиальной дифференциацией карбонатов по профилю и, соответственно, их аккумуляцией в нижней части профиля (горизонт BT). По гранулометрическому составу профили серых почв дифференцированы – зафиксировано его утяжеление от песка связного (горизонт O) до легкого суглинка (горизонт BT). Содержание иллювиальной фракции составляет в среднем 3%. По содержанию полуторных окислов профиль серой почвы элювиально-иллювиально дифференцирован. Количество Fe₂O₃ изменяется в пределах от 317,46 до 855,56 мг/кг, Al₂O₃ – от 3,02 до 20,03 мг/кг [Там же].

Таблица 1

Средние содержания Co, Cr и Zn в почвах горного массива Ергаки (катена 1), мг/кг

Элемент	Фации		
	элювиальная Ржавоземы типичные	трансэлювиальная Серые почвы	супераквальная Аллювиальные серогумусовые глеевые почвы
Zn	285,75	114,83	329,50
Co	10,13	9,25	15,45
Cr	101,05	87,73	84,37

Максимальная концентрация Zn в серых почвах зафиксирована в горизонте AEL – 483 мг/кг, где наблюдается высокое содержание Al₂O₃ – 20,03 мг/кг. Так же как и в ржавоземах типичных, содержание хрома и кобальта постепенно увеличивается вниз к почвообразующей породе (табл. 1) [11].

Исследования почв, формирующихся на поверхности супераквальной фации катены 1 (южная экспозиция, точка 5) (см. рис. 2), соответствующей пойме р. Малая Буйба, зафиксировали формирование аллювиальных серогумусовых глеевых почв. По содержанию гумуса эти почвы классифицируются как среднегумусные, его количество в почвенном профиле колеблется от 3,0 до 6,0%. По величине pH водной вытяжки аллювиальные серогумусовые глеевые почвы характеризуются слабокислой реакцией среды, кислотность снижается вниз по профилю от 4,69 до 5,27. Отсутствие карбонатов в профиле аллювиальных серогумусовых глеевых почв обусловлено периодически водозастойным водным режимом, свойственным пойменным почвам. Содержание иллювиальной фракции по всему почвенному профилю 4% [Там же].

Аллювиальные серогумусовые глеевые почвы характеризуются высоким содержанием окислов железа, при этом максимальное их количество фиксируется в нижней части профиля – в глеевом горизонте (1117,19 мг/кг), что также объясняется особенностями водного режима. По содержанию Al₂O₃ профиль слабо дифференцирован, максимальное содержание отмечено в горизонте CG – 5,29 мг/кг [Там же].

По содержанию гранулометрических фракций профиль аллювиальных серогумусовых глеевых почв слабо дифференцирован, почвы классифицируются как супесчаные.

Содержание Zn, Co и Cr в аллювиальных серогумусовых глеевых почвах, так же как и в ржавоземах типичных и серых почвах, характеризуется нисходящей миграцией (см. табл. 1).

Ржавоземы типичные, соответствующие элювиальной фации катены 2 (северная экспозиция, точка 6) (рис. 2), по содержанию гумуса характеризуются как высокогумусные. Количество общего углерода в горизонте AY – 10,4%. По величине pH водной вытяжки ржавоземы типичные характеризуются кислой реакцией среды 4,5. По содержанию карбонатов профили почв слабо дифференцированы. Так же как и в ржавоземах типичных, формирующихся на поверхности элювиальной фации катены 1, наблюдается утяжеление гранулометрического состава от песка рыхлого (горизонт AY) до легкого суглинка (горизонт BFM).

По содержанию полуторных окислов профили ржавоземов типичных характеризуются увеличением содержания Fe₂O₃ в горизонте BFM до 457,6 мг/кг, что, так же как и в ржавоземах типичных (катена 1, точка 1), соответствующих элювиальной фации, обусловлено протеканием метаморфического почвообразовательного процесса – ожелезнения, а также составом почвообразующей породы.

В ржавоземах типичных Zn характеризуется нисходящей миграцией: его количество в горизонте C составляет 56 мг/кг, что обусловлено высоким содержанием Fe₂O₃ в этом горизонте (486,2 мг/кг). По содержанию Cr и Co профили слабо дифференцированы (табл. 2).

Изучение физико-химических свойств горно-луговых почв, развивающихся на поверхности трансэлювиальной фации катены 2 (северная экспозиция, точка 7) (см. рис. 2), зафиксировало максимальное количество общего углерода в горизонте Ad – 15,00%. По величине pH водной вытяжки горно-луговые почвы характеризуются кислой и слабокислой реакцией среды от 4,5 до 5,3. По содержанию гранулометрических фракций горно-луговые почвы дифференцированы, наблюдается утяжеление от песка связного (горизонт A) до легкого суглинка (горизонт BC). Количество окислов железа увеличивается вниз по профилю к почвообразующей породе до 629,2 мг/кг [11].

Средние содержания Co, Cr и Zn в почвах горного массива Ергаки (катена 2), мг/кг

Элемент	Фации			
	элювиальная	трансэлювиальная		трансэлювиально-аккумулятивная
	Ржавоземы типичные	Горно-луговые почвы	Ржавоземы типичные	Буроземы типичные
Zn	38,67	139,33	118,25	243,33
Co	8,77	2,37	2,9	13,7
Cr	77,03	23,8	63,18	92,13

Максимальная концентрация Zn, Co и Cr в горно-луговых почвах установлена в горизонте BC (213, 2,7 и 32,7 мг/кг соответственно), высокое содержание Zn обусловлено максимальным содержанием Al_2O_3 в этом горизонте (51,98 мг/кг), а концентрация Co и Cr объясняется кислой реакцией среды, в которой эти элементы слабо мигрируют (табл. 2).

Исследования ржавозёмов типичных, соответствующих трансэлювиальной фации катены 2 (северная экспозиция, точка 8) (см. рис. 2), показали, что по содержанию гумуса они характеризуются как высокогумусные. Количество общего углерода в горизонте O составляет (15,36%). По величине pH водной вытяжки профили ржавозёмов типичных характеризуются кислой реакцией среды (3,7). По содержанию карбонатов профили слабо дифференцированы, их количество незначительно. Для этих почв также характерно утяжеление гранулометрического состава от песка рыхлого (горизонт O) до легкого суглинка (горизонт BFM).

Максимальное количество Fe_2O_3 в профилях ржавозёмов типичных отмечено в горизонте BFM – 890,89 мг/кг. Содержание Al_2O_3 увеличивается вниз по профилю к почвообразующей породе от 8,31 до 20,60 мг/кг.

Co и Cr в профиле ржавозёмов типичных характеризуются нисходящей миграцией, максимальное содержание Zn наблюдается в горизонте BFM – 313 мг/кг, обусловленное максимальным содержанием в этом горизонте Al_2O_3 (24,95 мг/кг) (табл. 2) [13].

Буроземы типичные, относящиеся к трансэлювиально-аккумулятивной фации катены 2 (северная экспозиция, точка 9) (см. рис. 2), по содержанию гумуса характеризуются как высокогумусные до 13,54% в горизонте AY. По величине pH водной вытяжки почвы характеризуются кислой и слабокислой реакцией среды (от 3,55 до 5,21), при этом кислотность снижается вниз к почвообразующей породе. Профили бурозёмов типичных характеризуются высоким содержанием Fe_2O_3 , увеличивающимся вниз по профилю от 810,66 до 1106,81 мг/кг в горизонте C. Распределение Al_2O_3 в профилях этих почв характеризуется восходящей миграцией – максимальная концентрация отмечена в горизонте AY (7,56 мг/кг). По гранулометрическому составу профили бурозёмов типичных дифференцированы, зафиксировано его утяжеление от песка рыхлого (горизонт O) до легкого суглинка (горизонт BM).

В профилях бурозёмов типичных, соответствующих трансэлювиально-аккумулятивной фации, распределение Zn, Co и Cr характеризуется нисходящей миграцией – максимальное количество установлено в горизонте C (670, 16 и 104,5 мг/кг соответственно) (табл. 2).

Для анализа закономерностей и интенсивности радиальной миграции микроэлементов (Co, Zn, Cr) в почвах горного массива Ергаки рассчитаны элювиально-аккумулятивные коэффициенты и построены ряды радиальной миграции (табл. 3, 4).

Таблица 3

Ряды радиальной миграции Co, Zn и Cr в почвах горного массива Ергаки (катена 1)

Тип почв	Накопление			Рассеяние
	сильное; $K_{за} > 5$	среднее; $K_{за} 2-5$	слабое; $K_{за} 1-2$	Вынос; $K_{за} < 1$
Ржавозёмы типичные (элювиальная фация)	–	–	–	Co, Zn, Cr
Серые почвы (трансэлювиальная фация)	–	Zn	–	Co, Cr
Аллювиальные серогумусовые глеевые почвы (супераквальная фация)	–	–	–	Zn, Co, Cr

Примечание. «–» – отсутствуют элементы с данным значением элювиально-аккумулятивного коэффициента.

Таблица 4

Ряды радиальной миграции Co, Zn и Cr в почвах горного массива Ергаки (катена 2)

Тип почв	Накопление			Рассеяние
	сильное; $K_{за} > 5$	среднее; $K_{за} 2-5$	слабое; $K_{за} 1-2$	Вынос; $K_{за} < 1$
Ржавозёмы типичные (элювиальная фация)	–	–	–	Co, Zn, Cr
Горно-луговые почвы (трансэлювиальная фация)	–	–	Co	Zn, Cr
Ржавозёмы типичные (трансэлювиальная фация)	–	Zn	–	Co, Cr
Бурозёмы типичные (трансэлювиально-аккумулятивная фация)	–	–	–	Co, Zn, Cr

Примечание. «–» – отсутствуют элементы с данным значением элювиально-аккумулятивного коэффициента.

Анализ радиальной дифференциации химических элементов показал, что для исследуемых почв радиальная неоднородность в целом выражена слабо (см. табл. 3, 4). Среднее накопление цинка зафиксировано в серых почвах и ржавоземах типичных трансэлювиальных фаций катен северной и южной экспозиций. Кобальт сла-

бо аккумулируется в профиле горно-луговых почв (трансэлювиальная фация) (табл. 4). В профилях остальных исследованных почв, формирующихся на поверхностях элювиальной, трансэлювиально-аккумулятивной и супераккумулятивной геохимических фаций, происходит рассеяние Zn, Co и Cr.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тяжелые металлы в природных и техногенных ландшафтах / под ред. М.А. Глазвской. М. : Изд-во МГУ, 1983. 220 с.
2. Смирнов М.П. Почвы Западного Саяна. М. : Наука, 1970. 171 с.
3. Глазвская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР : учеб. пособие. М. : Высш. шк., 1988. 328 с.
4. Розанов Б.Г. Морфология почв. М. : Академический проект, 2004. 589 с.
5. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы и методы его изучения. М. : Изд-во АН СССР, 1958. 192 с.
6. Ариунукина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1970. 488 с.
7. Гаврилова И.П., Касимов Н.С. Практикум по геохимии ландшафта. М. : Изд-во МГУ, 1989. 73 с.
8. Кушев С.Л., Леонов Б.Н. Рельеф и геологическое строение // Природные условия и естественные ресурсы СССР. Средняя Сибирь. М. : Наука, 1964. С. 23–83.
9. Классификация и диагностика почв России / под ред. Г.В. Добровольского. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.
10. Классификация и диагностика почв СССР / В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова. М. : Колос, 1977. 224 с.
11. Григорьева Е.А., Борисова И.В., Ямских Г.Ю. Химические и физико-химические свойства почв, формирующихся на территории горной тайги (хребет Ергаки) // Материалы X Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука XXI века», посвященной 85-летию со дня рождения В.П. Астафьева и 100-летию со дня рождения Л.В. Киренского. Красноярск : Изд-во КГПУ, 2009.
12. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М. : Мир, 1989. 439 с.
13. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М. : Астрель-2000, 1999. 768 с.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 14 декабря 2010 г.