

УДК 550.42

Д. Н. БАЛЫКИН, А. В. ПУЗАНОВ, О. А. ЕЛЬЧИНИНОВА

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОЧВАХ МЕЖГОРНЫХ КОТЛОВИН АЛТАЯ

Изучены почвы межгорных котловин Алтая, определены их основные физико-химические свойства и гранулометрический состав. Из лантаноидов в почвах преобладают легкие элементы (Ce и La). Среднее содержание редкоземельных элементов (Ce, La, Y, Yb) находится на уровне почвенных кларков. В каштановых почвах высокогорных депрессий уровень содержания легких лантаноидов выше, чем в черноземах среднегорных котловин.

Ключевые слова: редкоземельные элементы, почвы, межгорные котловины, Республика Алтай.

The soils in the intermontane depressions of Altai were studied, and their main physicochemical properties and grain-size composition were determined. Among lanthanides, light elements (Ce and La) are dominant in the soils. The mean contents of trace elements (Ce, La, Y, and Yb) in the soils of Altai's depressions are at the level of soil clarkes. In chestnut soils of the high-mountain depressions, the content level of light lanthanides is higher than in chernozems of the middle-mountain depressions.

Keywords: trace elements, soils, intermontane depressions, Altai Republic.

Редкоземельными элементами (РЗЭ) называют группу химических элементов, обладающих сходными химическими свойствами. К ним относят лантан (La) и 14 лантаноидов, часто в эту группу также включают иттрий (Y). Лантаноиды делят на легкие (атомная масса менее 153): лантан (La), церий (Ce), празеодим (Pr), неодим (Nd), самарий (Sm), европий (Eu), и тяжелые, их атомная масса более 153: гадолиний (Gd), тербий (Tb), диспрозий (Dy), гольмий (Ho), эрбий (Er), тулий (Tm), иттербий (Yb), лютеций (Lu). Вместе со сходным по химическим свойствам Y, атомная масса которого составляет 88,9, тяжелые РЗЭ также называют элементами иттриевой подгруппы [1, 2].

В настоящее время необходимость исследований концентраций РЗЭ в различных природных средах обусловлена поисками сырьевых запасов в связи с интенсивным развитием высокотехнологичной индустрии (альтернативные источники энергии, цифровое оборудование, машиностроение), где используются редкоземельные элементы, а также прогрессом в развитии инструментальной техники, позволившей сравнительно быстро и дешево изучать не только высококларковые, но и низкокларковые лантаноиды [3–6].

В фундаментальном и прикладном аспектах изучение миграции редкоземельных элементов в почвах и их влияния на почвенные процессы и биологическую продуктивность растений представляет большой научный интерес, что связано не только с недостатком информации в данной области, но и с неоднозначностью получаемых результатов. Известно положительное влияние РЗЭ (в качестве микроудобрений) на продуктивность сельскохозяйственных культур, также имеются сведения о проявлении ими фунгицидных и бактериостатических свойств. Установлено влияние РЗЭ на содержание азотистых соединений в почвах [2, 7]. В геологических исследованиях редкоземельные элементы широко применяются для реконструкции условий и обстановок образования осадочных и метаморфических горных пород [8].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являются основные типы почв межгорных котловин (Канской, Абайской, Уймонской, Курайской и Чуйской) различных физико-географических провинций Алтая.

Канская котловина расположена на высоте 1000–1100 м в бассейне верхнего течения р. Чарыш и его притоков. Осевые части междуречий заняты отрогами Коргонского, Теректинского, Семинского и Башелакского хребтов, так что в целом Канская котловина имеет звездообразную форму. Для рельефа характерно наличие равнинных или слабовсхолмленных пространств. От небольших останцовых сопок в центре котловины к периферии идет постепенное повышение местности [9].

В почвенном покрове широко представлены степные почвы — обыкновенные и южные черноземы, а также темно-каштановые почвы. В долинах рек и по окраинам болот развиты лугово-болотные

почвы, по мере увеличения гидроморфизма переходящие в болотные. По северным склонам гор под лиственничным лесом развиваются горно-лесные черноземовидные почвы.

Абайская котловина находится на высоте 1000 м между отрогами Теректинского, Коргонского и Холзунского хребтов (их абс. отметки 2200–2500 м) и протягивается с юго-востока на северо-запад на 20 км, достигая в ширину 4–5 км. В современном рельефе преобладают равнинные и слабовосхолмленные пространства. Котловина характеризуется большой заболоченностью. Главной водной артерией, дренирующей днище котловины, является р. Абай [9].

Основной фон почвенного покрова составляют черноземы обыкновенные, луговые и лугово-болотные почвы. Почвы гидроморфного ряда приурочены к пойменным участкам рек и окраинам болот. Черноземы обыкновенные развиты на делювиальных шлейфах и высоких террасах котловины.

Уймонская котловина приурочена к Уймонскому грабену между Катунским и Теректинским хребтами. Это типичная продольная долина, лежащая на высоте 900–1000 м [10]. Поверхность котловины полого поднимается к северу в сторону Теректинского хребта до 1200 м. Река Катунь отделяет от основной левобережной части котловины более узкую четкообразную правобережную часть, примыкающую к Катунскому хребту. Борта котловины асимметричны. Северный борт представлен крутыми уступами-прилавками высотой 500–600 м [9].

Морфологически в Уймонской котловине выделяются три уровня, представленных продольными широкими участками: террасированными предгорьями, наклонными делювиально-пролювиальными шлейфами и собственно аллювиальной равниной Катунь с комплексом террас [11].

В почвенном покрове преобладают черноземы обыкновенные, занимающие обширные делювиальные шлейфы и днище котловины [12].

Курайская и Чуйская высокогорные котловины расположены в Юго-Восточной физико-географической провинции Алтая. Курайская котловина находится на высоте 1600–1700 м и представляет собой грабен, протянувшийся с востока на запад на 30 км при ширине 10–20 км. Вдоль северной окраины котловины неширокой полосой тянется платообразный подгорный шлейф Курайского хребта, сложенный толщей рыхлых отложений того же возраста, что и террасы Катунь и Чуи. Подгорный шлейф южного борта Курайской котловины образован слившимися конусами выноса рек, стекающих с Северо-Чуйского хребта. В основании шлейфа находятся морены последней мультинской стадии верхнечетвертичного оледенения Алтая [13].

Чуйская котловина — наиболее обширная высокогорная депрессия, расположенная на высоте 1750–2000 м. Это грабен, сформированный в результате сдвига-надвиговых тектонических движений в кайнозой после снятия ледовой нагрузки. Котловина имеет форму овала протяженностью с запада на восток приблизительно 70 км и с севера на юг около 40 км. Со всех сторон котловина ограничена горными хребтами, достигающими значительных высот: на севере — Курайским хребтом (3000–3400 м), на западе — восточными отрогами Северо-Чуйского и Южно-Чуйского хребтов (3200–3900 м), на юге — хр. Сайлюгем (3200–3600 м) и на востоке — хр. Чихачёва (4000 м) [9].

Моренные отложения выстилают дно Чуйской котловины мощным покровом рыхлых масс и покрывают склоны гор до высоты 300–400 м над современным дном котловины. Они создают своеобразные условия дренирования почв и большую сухость почвенного покрова, основной фон которого составляют каштановые почвы.

Почвообразующие породы, на которых сформировались черноземы и каштановые почвы котловин, представлены карбонатными лёссовидными суглинками и супесями различного генезиса, подстилаемыми аллювиальными, озерными и моренными отложениями.

Редкоземельные элементы в почвах определяли методом количественного плазменно-спектрального анализа (аргоновый двухструйный плазмотрон, система регистрации — спектрограф ДФС 8) в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Черноземы являются преобладающим типом почв среднегорных котловин Алтая. Они представлены черноземами обыкновенными, южными легко- и среднесуглинистыми и супесчаными разновидностями (табл. 1–3). Из интразональных почв преобладают лугово-черноземные, луговые, лугово-болотные и аллювиальные.

По мощности почвенного профиля черноземы среднегорных котловин Алтая можно разделить на две группы: черноземы полнопрофильные (Ад(Апах)–АВ–В–ВС–СD) и черноземы с укороченным

Валовое содержание редкоземельных элементов и основные физико-химические свойства почв Канской котловины (Центральный Алтай)

Горизонт	Глубина, см	Се	La	Y	Yb	Гумус	CaCO ₃	Ил	ФГ	pH _{водн}	ЕКО, мг-экв/100 г почвы
		мг/кг				%					
<i>Чернозем обыкновенный среднесуглинистый на щебнистом окарбоначенном элювио-делювии, № 1</i>											
Аса	0–15	28	19	22	2,3	9,6	7,5	6,4	32,6	8,0	43,7
Аса	15–25	30	21	23	2,4	8,5	8,5	5,7	30,8	8,2	30,4
АВса	30–40	34	27	25	2,8	5,5	15,3	18,0	39,4	8,2	22,8
Вса	50–60	36	27	24	2,8	1,9	8,2	19,3	37,5	8,5	15,2
ВСса	70–80	27	18	19	2,1	0,9	9,9	11,0	32,0	8,7	11,4
Сса	85–95	39	24	24	2,7	0,8	17,7	16,8	34,8	8,5	11,4
<i>Чернозем обыкновенный маломощный супесчаный на песчано-дресвянистом окарбоначенном элювио-делювии, № 2</i>											
Ад	0–6	23	16	21	2,3	5,4	—	5,2	17,2	7,6	30,9
А	6–18	25	16	21	2,4	4,2	—	—	17,9	8,3	18,1
АВса	18–28	30	21	25	3,0	3,1	6,8	—	26,4	7,8	9,5
Вса	40–50	22	16	20	2,2	0,9	11,2	8,0	25,6	8,3	5,7
CDca	67–77	27	19	22	2,8	0,7	8,5	5,3	23,9	8,8	1,0
<i>Чернозем обыкновенный легкосуглинистый маломощный на аллювиальных многочленных отложениях, № 3</i>											
А	0–9	27	19	23	2,8	5,1	3,7	8,4	24,6	8,0	27,3
Аса	9–19	30	18	22	2,6	4,7	5,2	7,2	28,4	8,0	19,0
АВса	20–30	34	20	22	2,5	1,1	16,0	8,6	32,6	8,2	7,6
Вса	35–45	38	23	25	2,8	0,2	13,0	14,4	25,5	8,6	3,8
ВСса	60–70	46	28	29	3,6	0,1	10,2	10,4	23,2	8,4	11,4
<i>Луговая среднесуглинистая среднесуглинистая на песчано-галечниковых аллювиальных отложениях, № 4</i>											
Адса	2–12	51	35	28	3,2	13,7	16,6	7,0	35,0	7,8	51,0
Агса	13–23	41	27	25	3,0	7,1	14,1	8,9	38,5	7,9	28,5
АВгса	30–40	39	26	26	3,1	1,9	15,2	14,8	40,0	7,4	15,2
S ₁ гса	60–70	42	29	27	3,4	1,2	17,4	8,7	32,7	8,2	6,7
S _g са	75–85	39	26	26	3,3	1,8	12,3	18,4	48,2	8,2	19,0

Примечание. Здесь и в табл. 2–4: ФГ — физическая глина, ЕКО — емкость поглощения.

профилем (Ад(Апах)—В(BC)—CD). Наиболее характерные черты строения профиля следующие: различная мощность гумусовых горизонтов (порядка 40–60 см) при достаточно отчетливо выраженной его нижней границе; каменистость профиля — слабая или средняя верхних горизонтов и сильная, очень сильная — нижних; наличие в профиле карбонатов в виде псевдомицелия.

Как правило, для почв характерны слабо- или сильнощелочная реакция почвенного раствора (переходные к породе горизонты), что обусловлено содержанием карбонатов, и высокое содержание гумуса в верхних горизонтах (см. табл. 1–3; табл. 4).

Полнопрофильные почвы приурочены к делювиальным шлейфам межгорных депрессий, тогда как примитивные и неполнопрофильные варианты сосредоточены обычно на конусах выноса рек и террасах.

Исследуемые почвы высокогорных котловин Алтая (Курайской и Чуйской) представлены каштановыми, светло- и темно-каштановыми. Характерными особенностями почв являются: укороченный профиль (Ад(А)—В—С), сильная каменистость, низкое содержание гумуса и физической глины, щелочная, сильнощелочная реакция почвенного раствора, высокое содержание карбонатов (см. табл. 4).

Почвы физико-географических провинций Алтая различаются по уровню валового содержания, особенно в отношении легких РЗЭ (Се и La) (см. табл. 1–4). В каштановых почвах высокогорных

**Валовое содержание редкоземельных элементов и основные физико-химические свойства почв
Абайской котловины (Центральный Алтай)**

Горизонт	Глубина, см	Се	La	Y	Yb	Гумус	CaCO ₃	Ил	ФГ	pH _{водн}	ЕКО, мг-экв/100 г почвы
		мг/кг				%					
<i>Чернозем обыкновенный среднесуглинистый на озерных отложениях, № 5</i>											
Аса	0–10	49	35	27	3,1	7,5	4,8	3,6	28,7	7,8	41,8
АВса	30–40	36	26	24	2,4	2,5	17,9	13,2	39,7	8,0	20,9
Вса	50–60	39	27	26	2,8	0,9	14,2	14,2	25,8	8,3	9,5
ВСса	63–73	39	27	26	2,9	0,4	11,4	13,2	22,8	8,4	11,4
CDca	74–84	36	26	25	2,8	0,4	1,0	7,3	15,0	8,5	7,3
<i>Чернозем обыкновенный маломощный среднесуглинистый на озерных отложениях, № 6</i>											
Адса	0–10	39	27	26	3,3	8,3	3,6	12,8	39,5	7,5	59,5
Аса	14–24	41	28	27	3,3	8,3	3,5	7,8	33,8	7,7	42,2
АВса	24–33	47	35	29	3,6	3,6	8,7	22,7	46,2	7,8	25,0
В ₁ са	35–45	46	35	31	3,6	1,3	13,7	25,0	42,3	8,1	34,6
В ₂ са	50–60	36	23	24	2,6	0,9	14,3	23,0	38,2	8,3	12,7
В ₃ са	70–80	51	35	27	3,6	0,6	12,4	12,3	36,7	8,1	10,9
CDca	90–100	47	34	31	4,0	0,7	6,7	9,2	21,5	8,4	9,1
<i>Чернозем обыкновенный маломощный среднесуглинистый на погребенной почве, № 7</i>											
Апах	0–10	39	28	27	3,3	8,7	—	6,1	38,3	7,6	38,4
Аса	16–26	49	41	32	4,2	8,4	4,0	3,7	21,9	7,7	37,4
Вса	33–43	57	44	33	4,4	3,9	9,1	11,0	36,1	7,8	19,2
Аrsa	50–60	72	51	38	5,4	6,9	6,3	6,5	32,0	7,8	34,6
АВrsa	64–74	44	29	28	3,6	5,1	3,4	11,7	33,2	8,0	28,8
CDca	85–95	39	29	29	3,5	4,1	6,1	5,8	23,5	7,5	17,3
<i>Чернозем обыкновенный маломощный супесчаный на песчано-галечниковых аллювиальных отложениях, № 8</i>											
Апахса	0–10	39	29	26	3,2	7,4	3,7	7,3	33,2	7,7	40,3
АВса	27–37	57	41	29	3,9	4,2	9,6	18,9	38,6	7,9	26,9
ВСса	45–55	53	36	29	3,6	1,5	11,9	23,5	46,9	8,0	17,3
CDca	60–70	44	29	26	3,4	1,2	11,7	8,6	16,0	8,4	10,9

Курайской и Чуйской котловин (Юго-Восточный Алтай) количество легких лантаноидов выше, чем в черноземах среднегорных котловин (Центральный Алтай), что, возможно, обусловлено геологическими особенностями и вещественным составом калиевых магматических комплексов Юго-Восточного Алтая [14]. С щелочными магматическими породами также связаны скопления редкоземельных металлов (РЗМ) в Кижихемской металлогенической зоне Республики Тыва, где находится единственное разведанное здесь Улуг-Танзекское месторождение, содержащее 1,7 % российских запасов РЗМ [15].

При оценке концентраций редкоземельных элементов в поверхностных горизонтах различных регионов мира отмечается сопоставимость уровней РЗЭ, что указывает на их относительную химическую инертность в ходе педогенеза [1]. Среднее валовое содержание лантаноидов в исследуемых почвах Алтая в целом соответствует уровням почвенных кларков (табл. 5).

В силу различия свойств РЗЭ наиболее показательными являются их соотношения: Се/La, La/Y, Се/Y [22]. В почвах среднегорных котловин Алтая они в основном сопоставимы с коэффициентами соотношений их почвенных кларков, тогда как в почвах высокогорных котловин они близки к таковым в земной коре (табл. 6).

В осадочных породах кларки лантана и других лантаноидов зависят от гранулометрического состава: они накапливаются в илстой фракции <2 мкм. Количество органического вещества и окислительно-восстановительные процессы влияют на различие в содержании РЗЭ в почвах. В почве РЗЭ малоподвижны, так как обладают высокой прочностью адсорбции с компонентами почв, которая обуславливает их миграцию в составе коллоидов. Реакция почвенного раствора — один из основных

Валовое содержание редкоземельных элементов и основные физико-химические свойства почв
Уймонской котловины (Центральный Алтай)

Горизонт	Глубина, см	Се	La	Y	Yb	Гумус	CaCO ₃	Ил	ФГ	pH _{водн}	ЕКО, мг-экв/100 г почвы
		мг/кг				%					
<i>Чернозем выщелоченный среднесуглинистый на щебнисто-песчаных аллювиальных отложениях, № 9</i>											
Ад	0–10	39	23	24	2,8	9,9	—	13,6	34,1	6,9	61,4
A	20–30	62	41	33	4,3	6,9	—	16,6	41,3	7,7	33,8
AB	38–48	55	38	33	3,7	2,8	—	19,4	45,4	8,0	41,4
B ₁ ca	50–60	44	30	26	3,4	1,7	2,0	17,6	47,8	8,0	18,8
B ₂ ca	80–90	35	21	22	2,7	1,2	12,8	13,9	41,5	8,3	11,3
Cca	110–120	55	39	31	4,1	3,9	11,6	9,8	29,6	8,1	3,8
Dca	130–140	60	39	33	4,6	0,5	8,3	8,6	20,5	8,3	9,4
<i>Чернозем обыкновенный среднесуглинистый на песчано-галечниковых аллювиальных отложениях, № 10</i>											
Апахса	0–10	51	30	26	3,4	8,0	3,4	1,8	31,4	7,7	37,6
A	22–32	67	41	32	4,2	6,6	—	6,0	33,8	7,9	32,0
ABca	32–40	51	35	28	3,6	3,7	5,4	12,6	35,7	8,1	25,5
B ₁ ca	45–55	46	29	26	3,1	1,0	14,4	17,6	40,2	8,8	3,6
B ₂ ca	60–70	60	39	31	4,2	0,5	11,4	7,3	22,8	8,9	10,9
BCca	77–87	47	30	27	3,5	0,4	7,8	4,4	17,9	9,0	9,1
Cca	100–110	64	39	31	4,5	0,4	7,0	4,6	19,8	9,1	14,6
<i>Чернозем обыкновенный маломощный среднесуглинистый на галечниково-песчаных аллювиальных отложениях, № 11</i>											
Апах	0–10	38	27	27	3,3	7,2	—	2,8	30,6	7,5	32,0
A	15–25	44	30	29	3,7	7,3	—	6,1	32,2	7,7	32,0
Bca	30–40	47	30	27	3,7	2,3	10,5	12,4	35,0	7,9	16,9
Sca	50–60	46	28	27	3,4	0,8	11,0	4,4	20,6	8,4	3,8
<i>Чернозем обыкновенный маломощный легкосуглинистый на песчано-галечниковых аллювиальных отложениях, № 12</i>											
Апах	0–10	62	46	37	5,1	11,4	—	5,0	24,7	7,4	30,7
A	15–22	51	36	33	4,1	7,2	—	—	23,6	7,8	26,9
B ₁ ca	25–35	55	39	33	4,3	2,3	10,2	4,6	20,8	8,3	11,5
B ₂ ca	40–50	49	34	28	3,4	1,6	10,8	5,0	22,0	8,3	9,6
BCca	55–65	51	38	32	4,1	1,1	13,3	8,6	26,2	8,4	11,5
CDca	67–77	44	28	28	3,4	0,6	6,5	2,2	5,4	8,8	7,7

факторов, влияющих на мобилизационно-иммобилизационные процессы РЗЭ в почвах. Подвижность РЗЭ возрастает в кислой среде и с увеличением ионной силы раствора. Кроме того, в умереннощелочных условиях возрастает устойчивость комплексов РЗЭ с гумусовыми веществами почв [22, 23].

Почвенные свойства оказывают влияние на содержание элементов и характер их профильного распределения. В черноземах обыкновенных различного гранулометрического состава среднегорных Канской и Абайской котловин максимумы аккумуляции РЗЭ в большинстве случаев отмечаются в горизонтах с высоким содержанием карбонатов (ABca, Bca), в почвах Уймонской котловины — в пределах гумусовых горизонтов (Ад, Апах и А); в каштановых почвах высокогорных котловин Алтая песчаного и легкосуглинистого состава — в переходных горизонтах и почвообразующей породе (соответственно В и С, CD), реже в гумусовых горизонтах (А) (см. табл. 1–4).

Для оценки воздействия основных физико-химических свойств и гранулометрического состава почв на содержание РЗЭ были рассчитаны коэффициенты корреляции. В почвах различного гранулометрического состава установлена значимая положительная корреляция ($r = +0,3 \div +0,6$) между валовым содержанием лантаноидов и параметрами физико-химических свойств (содержание карбонатов и физической глины, емкость катионного обмена).

Таблица 4

**Валовое содержание редкоземельных элементов и основные физико-химические свойства почв
Курайской и Чуйской котловин (Юго-Восточный Алтай)**

Горизонт	Глубина, см	Се	La	Y	Yb	Гумус	CaCO ₃	Ил	ФГ	pH _{водн}	ЕКО, мг-экв/100 г почвы
		мг/кг				%					
КУРАЙСКАЯ КОТЛОВИНА											
<i>Каишановая легкосуглинистая маломощная на галечниково-песчаном аллювии, № 13</i>											
Аса	0–10	69	35	26	3,2	4,6	2,7	14,1	21,6	7,2	27,6
Вса	20–30	74	30	24	2,2	2,3	17,4	1,3	11,8	8,7	26,5
Сса	30–40	103	54	36	3,5	2,2	17,9	6,6	12,0	8,5	29,7
<i>Каишановая маломощная песчаная на песчано-галечниковом аллювии, № 14</i>											
Аса	0–10	67	30	27	2,9	1,8	15,4	1,6	9,4	7,6	12,7
Вса	18–28	49	20	22	2,3	1,2	15,2	9,1	15,6	8,6	4,2
Сса	30–40	67	27	24	2,6	1,2	10,4	11,4	28,4	8,8	2,1
ЧУЙСКАЯ КОТЛОВИНА											
<i>Светло-каишановая маломощная песчаная на аллювиальных песчано-галечниковых отложениях, № 15</i>											
Аса	0–8	87	40	39	3,5	0,8	2,2	1,1	8,6	7,8	11,2
Вса	10–20	134	90	55	4,6	1,8	16,7	1,1	13,5	8,8	29,1
Сса	30–40	74	35	35	3,2	0,74	10,7	4,2	13,5	9,3	26,9
<i>Светло-каишановая среднемощная песчаная на щебнисто-песчано-галечниковом аллювио-делювии, № 16</i>											
Аса	3–13	60	26	24	2,5	0,9	2,0	0,2	7,4	7,7	15,7
Вса	15–25	64	28	26	2,7	0,8	7,1	3,4	15,0	8,3	20,2
ВСса	35–45	62	27	26	2,7	0,7	7,2	2,6	15,2	9,1	15,7
CDса	55–65	79	40	26	3,2	0,3	7,7	7,0	19,0	9,4	20,2
<i>Светло-каишановая песчаная маломощная на песчано-галечниковых аллювиальных отложениях, № 17</i>											
Адса	0–5	64	28	30	3,0	0,6	2,0	1,5	9,9	6,7	2,5
Аса	5–15	54	22	26	2,5	0,8	2,2	1,6	14,8	8,5	10,2
Вса	25–35	87	40	34	2,8	1,1	10,9	7,6	18,0	8,8	35,6
ВСса	40–50	71	60	38	3,6	0,5	9,0	4,3	8,9	9,6	27,9
<i>Светло-каишановая среднесуглинистая маломощная солончаковатая, № 18</i>											
Аса	1–15	99	47	44	3,7	0,9	10,2	22,9	34,1	9,7	8,9
Вса	20–30	99	77	41	4,0	0,4	13,7	16,3	24,7	10,3	8,9
Сса	30–40	56	25	23	2,4	0,3	9,6	6,3	20,0	10,3	2,2

Таблица 5

Содержание редкоземельных элементов в почвах и земной коре, мг/кг

Объект, лит. источник	n	Се	La	Y	Yb
Россия, межгорные котловины Алтая (наши данные, $\frac{x_{\min} - x_{\max}}{x \pm S}$)	118	$\frac{23 - 134}{49,4 \pm 2,3}$	$\frac{16 - 51}{31,5 \pm 1,3}$	$\frac{18 - 44}{28,9 \pm 0,8}$	$\frac{2,2 - 5,1}{3,4 \pm 0,1}$
Россия (x), по [16]	–	69,4	38,5	–	1,8
Япония (x ± S), по [17]	77	39,8 ± 21,4	18,2 ± 10,5	–	2,0 ± 0,7
Китай (x ± S), по [18]	44	86,2 ± 51,1	43,7 ± 19,6	21,8 ± 6,2	–
Южная Швеция (x _{min} – x _{max}), по [19]	–	5,5–33,2	5,5–17,6	4,9–17,6	0,6–2,3
<i>Кларки PЗЭ</i>					
Почвы (x):					
по Боуэну [20]	–	49	34	40	2,1
по Виноградову [21]		50	40	–	–
Земная кора (x) по Виноградову [21]		70	29	20	3,3

Примечание. x – среднее арифметическое, S – стандартное отклонение, x_{min} – x_{max} – пределы колебаний.

Таблица 6

Соотношения РЗЭ в почвах и земной коре			
Котловина	Ce/La	La/Y	Ce/Y
<i>Почвы Алтая</i>			
Канская	1,50	0,95	1,41
Абайская	1,41	1,14	1,60
Уймонская	1,31	1,12	1,68
Курайская	2,25	1,21	2,68
Чуйская	2,13	1,17	2,41
<i>Кларки</i>			
Почвы	1,4	0,85	1,2
Земная кора	2,4	1,5	3,5

ВЫВОДЫ

Биогеохимические условия, сложившиеся в исследуемых почвах межгорных котловин Алтая, способствуют образованию устойчивых комплексов и труднорастворимых форм редкоземельных элементов.

Из исследованных лантаноидов в почвах межгорных котловин Алтая преобладают легкие элементы (Ce и La), их среднее содержание на уровне почвенных кларков.

Каштановые почвы высокогорных котловин Алтая отличаются высокими уровнями содержания церия и лантана, в отличие от черноземов среднегорных котловин, что, возможно, обусловлено геологическими особенностями территории.

Работа выполнена в рамках Государственного задания по проекту «Биогеохимические и почвенно-гидрологические процессы на водосборах и их влияние на формирование гидрохимического стока в природных и антропогенных ландшафтах Сибири» (VIII.76.1.4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Переломов Л. В. Взаимодействие редкоземельных элементов с биотическими и абиотическими компонентами почв // *Агрохимия*. — 2007. — № 11. — С. 85–96.
2. Водяницкий Ю. Н. Лантаноиды почвы и их влияние на растения // *Агрохимия*. — 2012. — № 4. — С. 84–96.
3. Водяницкий Ю. Н. Геохимическое фракционирование лантаноидов в почвах и горных породах (обзор литературы) // *Почвоведение*. — 2012. — № 1. — С. 69–81.
4. Mineral commodity summaries. — U. S. Geol. Surv., 2011. — 198 p.
5. Long K. R., Van Gosen B. S., Foley N. K., Cordier D. The principal rare earth elements deposits of the United States — a summary of domestic deposits and a global perspective // *Plant Soil U. S. Geological Survey: Scientific Investigations Report*. — 2010. — 5220: 1–96 [Электронный ресурс]. — <http://pubs.usgs.gov/sir/2010/5220/> (дата обращения 10.02.2014).
6. Haxel G. B., Hedrick J. B., Orris G. J. Rare earth elements: critical resources for high technology // *U. S. Geological Survey Fact Sheet*. — 2002. — 087–02 [Электронный ресурс]. — <http://pubs.usgs.gov/fs/2002/fs087-02> (дата обращения 10.02.2014).
7. Серебряков В. В. Химия редкоземельных элементов. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 1959. — 491 с.
8. Абрамов В. В. Особенности распределения редкоземельных элементов в высокоуглеродистых сланцах Нижнетимской подзвиты КМА (Центральная Россия) // *Материалы конф. молодых ученых*. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2011. — С. 4–7.
9. Банникова О. И. Оценка природных ресурсов и экологическое состояние межгорных котловин Алтая: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Горно-Алтайск, 2001. — 18 с.
10. Раковец О. А. Развитие рельефа и неотектоника Горного Алтая // *Изв. Алт. отд. ГО СССР*. — 1967. — Вып. 8. — С. 11–16.
11. Хмельов В. А. Почвы Уймонской впадины и ее окаймлений // *Природа и природные ресурсы Горного Алтая*. — Горно-Алтайск: Алт. кн. изд-во, 1971. — С. 8–10.
12. Балькин Д. Н. Элементный состав почв и растений Уймонской котловины и горного окаймления (Центральный Алтай): Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. — Барнаул, 2009. — 19 с.

13. **Ивановский Л. Н.** Об особенностях древнего оледенения юго-восточного Алтая // Труды Том. ун-та. — 1956. — Т. 133. — С. 163–170.
14. **Крупчатников В. И.** Петрология калиевых магматических комплексов юго-восточной части горного Алтая: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. — Новосибирск, 2010. — 17 с.
15. **Государственный доклад** о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2009 году. — М.: Центр «Минерал» ФГУНПП «Аэрогеология», 2010. — 385 с.
16. **Sahoo S. K., Yonehara H., Kurotaki K. et al.** Determination of rare earth elements, thorium and uranium by inductively coupled plasma mass spectrometry and strontium isotopes by thermal ionization mass spectrometry in soil samples of Bryansk region contaminated due to Chernobyl accident // Journ. Radioanalyt. Nucl. Chem. — 2004. — Vol. 247, N 2. — P. 341–345.
17. **Yoshida S., Muramatsu Y., Tagami K., Uchida Sh.** Concentration of lanthanide elements, Th and U in 77 Japanese surface soils // Environ. International. — 1998. — Vol. 24, N 3. — P. 275–286.
18. **Ran Y., Liu Z.** The distribution of REEs in Chinese major types of soil // Acta Chin. Rare Earth Element. — 1994. — N 12(4). — P. 243–252.
19. **Tyler G., Olsson T.** Conditions related to solubility of rare and minor elements in forest soils // Journ. Plant. Nutr. Soil. Sci. — 2002. — N 165. — P. 594–601.
20. **Bowen H. J. M.** Environmental chemistry of the elements. — London: Acad. Press, 1979. — 333 p.
21. **Виноградов А. П.** Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. — М.: Изд-во АН СССР, 1957. — 257 с.
22. **Иванов В. В.** Экологическая геохимия элементов. — М.: Экология, 1997. — Кн. 6. — 606 с.
23. **Wu Zh., Luo J., Guo H. et al.** Adsorption isotherms of lanthanum to soil constituents and effects of pH, EDTA and fulvic acid on adsorption of lanthanum onto goethite and humic acid // Chem. Spec. Bioavailab. — 2001. — N 13(3). — P. 75–81.

Поступила в редакцию 28 февраля 2014 г.