

## ВЛИЯНИЕ ПАВОДКОВ НА СОДЕРЖАНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВАХ (НА ПРИМЕРЕ ПОЙМЫ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. АМУР)

А. В. Мартынов

*Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Россия*

*Поступила в редакцию 23 ноября 2016 г.*

**Аннотация:** Проведено сравнительное изучение содержания валовых и подвижных форм редкоземельных элементов (РЗЭ) в аллювиальных почвах среднего течения р. Амур в Амурской области, до и после катастрофического паводка 2013 года. С помощью корреляционного анализа определена зависимость содержания РЗЭ от свойств аллювиальных почв.

**Ключевые слова:** аллювиальные почвы, редкоземельные элементы, масс-спектрометрия, паводок, р. Амур, физико-химические свойства почв, корреляционный анализ.

**Abstract:** The authors carried out a comparative study of the content of gross and mobile forms of the rare-earth elements in alluvial soils of the middle flow of the Amur River in the Amur Region before and after the catastrophic flood of 2013. Using the correlation analysis, dependence of the content of rare-earth elements on the properties of alluvial soils was determined.

**Key words:** alluvial soils, rare earth elements, mass spectroscopy, flood, Amur River, physical and chemical properties of soils, correlation analysis.

Почти во всех публикациях, посвященных РЗЭ в почвах, делается акцент на первостепенное влияние почвообразующей породы. Фактически, несмотря на разнообразие природных условий, различные типы зональных почв, формирующиеся на схожих материнских породах, будут иметь сопоставимые концентрации РЗЭ, т.е. содержание РЗЭ в незагрязненных почвах определяется их концентрацией в почвообразующей породе [11, 8, 29]. Но в качестве субстрата для материнской породы в аллювиальных почвах служат гомогенизированные и отсортированные в ходе флювиального воздействия продукты разрушения различных горных и осадочных пород со всей территории бассейна реки [16]. Эти продукты разрушения могут переноситься рекой на значительные расстояния, откладываясь на различных участках поймы, но отложение зачастую происходит неравномерно как на протяжении реки, так и на территории поймы во время паводков, что может привести к геохимическим аномалиям.

К фактам возможного накопления РЗЭ в аллювиальных почвах относится и то, что пойма выполняет функции латерального барьера в отноше-

нии веществ мигрирующих с постоянными и временными, поверхностными и внутрипочвенными водотоками с террас [12]. Также, для лантаноидов в водной среде, что актуально для зачастую гидроморфных почв поймы, характерно химическое фракционирование, формирующее необычные соотношения – лантоидные аномалии, под которыми понимают сильное отличие нормированного содержания данного лантанида от нормированного содержания его соседей в периодической системе [2]. Поэтому аллювиальные почвы служат неповторимым объектом для проведения исследований в отношении содержания, распределения и поведения РЗЭ.

Отдельно следует отметить, что вопросам содержания РЗЭ не только в аллювиальных, но и в зональных почвах российскими исследователями уделяется очень мало внимания. Из работ по данной тематике выделяются труды Ю. Н. Водяницкого [2, 3, 4], Н. М. Кожевниковой и Е. П. Ермаковой [8, 9], Л. В. Переломова [11]. В Амурской области данные о содержании РЗЭ в почвах можно найти только в трудах О. А. Сорокиной [13, 14] и С. В. Брянина [1]. Вот почему, цель данной статьи расширить объем данных о содержании и распределении РЗЭ в почвах Амурской области, и в ча-

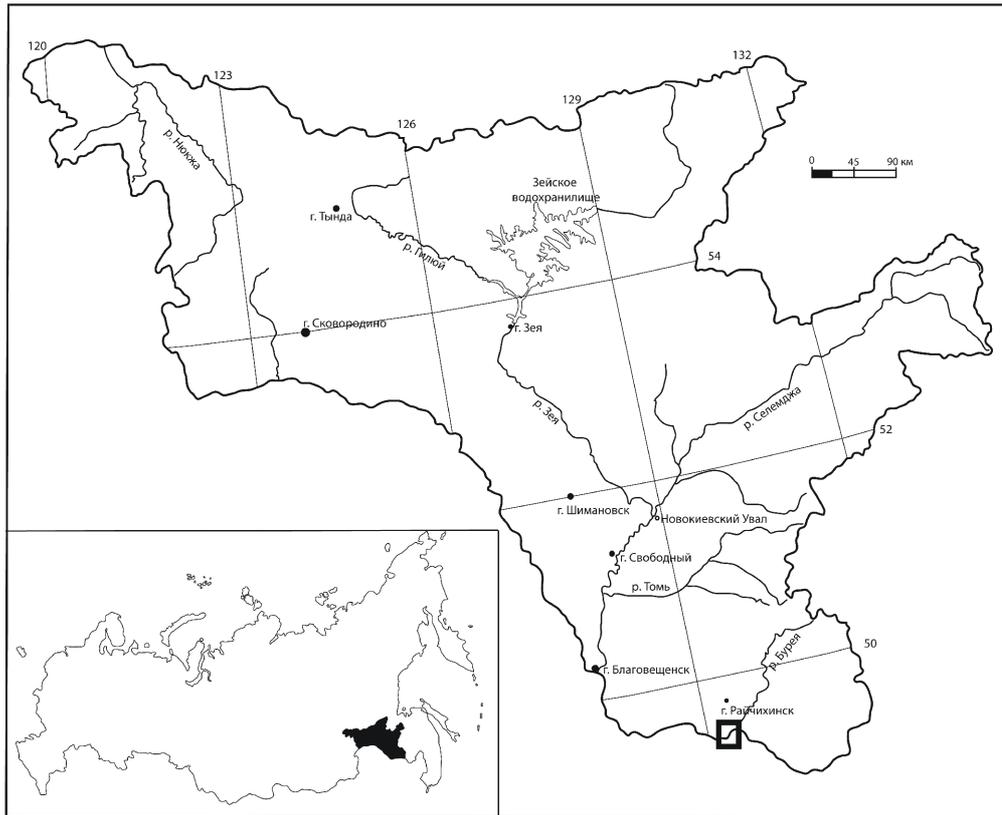


Рис. 1. Карта-схема расположения ключевого участка на территории Амурской области (□ – ключевой участок)

стности в аллювиальных почвах. Для этого выполнено исследование по изучению влияния крупных паводков на содержание и распределение валовых и подвижных РЗЭ в аллювиальных почвах, на примере катастрофического паводка 2013 года в Амурской области в среднем течении р. Амур.

В качестве объекта исследования для оценки влияния паводка на содержание и распределение РЗЭ в аллювиальных почвах поймы среднего течения р. Амур выбран ключевой участок, расположенный между селами Куприяново и Калинино, в районе р. Рыбная (рис. 1). Выбор ключа обусловлен проведением в данном районе детальных почвенных исследований с отбором почвенных проб, за два года до паводка, что дает возможность сравнить геохимическое состояние аллювиальных почв до паводка и после него.

В ходе экспедиции 2014 года установлено, что в зоне затопления паводковыми водами оказались три заложённых в 2011 году почвенных разрезов расположенных в пределах прирусловой поймы. Образцы отбирались по генетическим горизонтам, 8 образцов до паводка и девять после паводка. Идентификация почв была сделана в соответствии с классификацией и диагностикой почв России [6].

Определение валовых и подвижных форм РЗЭ было выполнено методом масс-спектропии с индуктивно-связанной плазмой в аналитическом центре коллективного пользования на базе ДВГИ ДВО РАН под руководством н.с. Зарубиной Н. В.

Для извлечения подвижных форм элементов был использован ацетатно-аммоний буфер с рН 4,8. Навеску пробы воздушно-сухой пробы 5 г заливали буферным раствором и оставляли на сутки при комнатной температуре. За время контакта пробы с раствором производили кратковременное перемешивание (7 раз). Полученные растворы минерализовали в микроволновой печи MARS- 5 (CEM Corporation, USA). Анализ на широкий спектр элементов был выполнен на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) Agilent 7700x (Agilent Technologies, Япония).

Для определения валовых содержаний элементов для разложения исследуемых образцов и перевода их в раствор применяли метод открытого кислотного разложения в смеси кислот HF, HNO<sub>3</sub>, HClO<sub>4</sub> в отношении 2,5 : 1 : 0,5 [5]. Навеска пробы составляла 0,05 г. Измерения концентраций элементов выполнены на ИСП-МС спектрометре

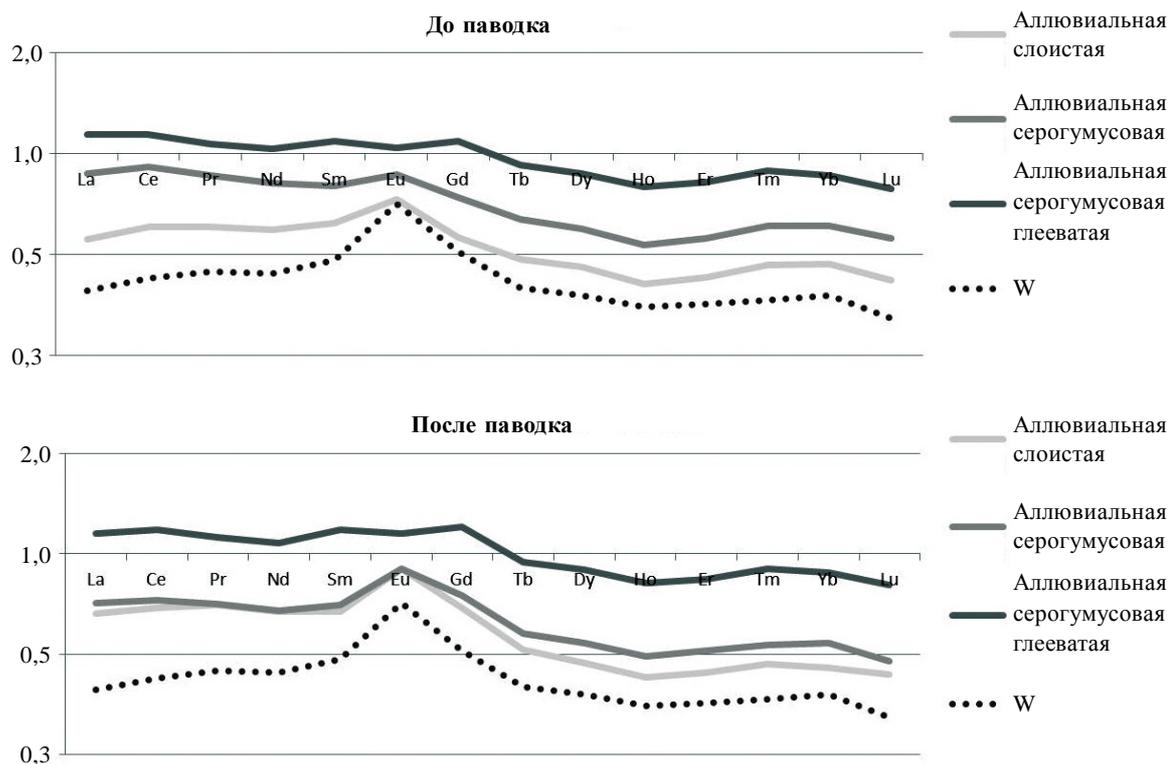


Рис. 2. Нормированное отношение содержания РЗЭ в аллювиальных почвах к ВКК

Agilent 7700x (Agilent Technologies, Япония). Правильность результатов определения подтверждена анализом стандартных образцов JR-1 и JB-3 (Геологическая служба Японии). Средние квадратичные отклонения результатов определения не превышали 10 % - 15 %, что соответствует критериям качества выполнения количественного элементного анализа, принятых в геохимических исследованиях.

Изученные аллювиальные почвы относятся к двум типам – аллювиальная слоистая (АС) и аллювиальная серогумусовая (АСГ) и одному подтипу – аллювиальная серогумусовая глееватая почва (АСГг). Паводок 2013 года вызвал значительные изменения в физико-химических и химических свойствах этих почв. В них повысилась кислотность, увеличилось содержание обменного марганца и магния и снизилось содержание обменного железа, кальция, калия, подвижного фосфора и органического вещества. В макроэлементном составе, в зависимости от приуроченности почв к пойменному рельефу наблюдается как вынос, так и аккумуляция элементов, причем изменения достигают до 20 % от до паводковых значений. Часть почв, сформированных недалеко от русла, была перекрыта слоем аллювия, сформировавшим новый горизонт W [15]. Подобные изменения не могли не сказаться на содержании РЗЭ (таблицы 1, 2).

Для общей характеристики содержания РЗЭ выполнено нормирование их содержания в аллювиальных почвах до и после паводка, к верхней континентальной коре (ВКК) по данным Rudnick и Gao [17] (рис. 2). Выбор ВКК связан с генезисом аллювиальных почв. Аллювий, на котором формируются почвы, представляет собой усредненный в ходе флювиального воздействия субстрат, образующийся преимущественно в результате выветривания коренных горных пород и осадочных пород ВКК, слагающих территорию речной сети. Также в графиках отображены данные, характеризующие содержание лантаноидов в сформированном после паводка горизонте W, перекрывшем аллювиальную серогумусовую почву. Процессы почвообразования не успели затронуть этот горизонт, поэтому он показывает содержание РЗЭ в исходном почвообразующем субстрате.

Нормирование к ВКК показало, что в АС и АСГ, песчаных-супесчаных по гранулометрическому составу, содержание всех РЗЭ ниже, чем в ВКК. В супесчаной-легкосуглинистой АСГг, содержание легких РЗЭ выше, чем в ВКК, а тяжелых РЗЭ почти сопоставимо. Следовательно, гранулометрический состав является определяющим в содержании РЗЭ в аллювиальных почвах. Это подтверждается значениями суммы РЗЭ. Максимальное содержание, как до паводка, так и после, отмечается

Таблица 1

Содержание валовых форм редкоземельных элементов в аллювиальных почвах до и после паводка, мг/кг

Тип почвы	Горизонты	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	ΣLREE	ΣHREE	
До паводка																			
Аллювиальная слоистая	W	21,71	47,47	5,17	19,16	3,42	0,82	2,58	0,39	2,06	0,39	1,14	0,16	1,07	0,15	105,69	97,75	7,94	
	C	12,76	28,77	3,44	12,96	2,42	0,65	1,94	0,29	1,53	0,29	0,83	0,12	0,77	0,11	66,88	61,00	5,88	
Аллювиальная серогумусовая	AУ1	28,58	61,34	6,81	24,96	4,22	0,99	3,23	0,48	2,58	0,48	1,41	0,20	1,30	0,19	136,77	126,9	9,87	
	AУ2	25,31	52,65	5,65	20,61	3,60	0,83	2,93	0,45	2,36	0,46	1,29	0,19	1,20	0,17	117,7	108,65	9,05	
Аллювиальная серогумусовая глебоватая	C	27,34	59,20	5,91	20,85	3,51	0,79	2,73	0,41	2,07	0,39	1,16	0,16	1,09	0,16	125,77	117,6	8,17	
	AУ	35,50	68,60	7,23	26,51	4,81	0,94	4,25	0,63	3,30	0,62	1,78	0,25	1,57	0,22	156,21	143,59	12,62	
	C1g	37,24	77,67	8,17	29,84	5,57	1,13	4,67	0,71	3,78	0,75	2,16	0,30	1,95	0,28	174,22	159,62	14,6	
	C2g	33,44	70,24	7,45	27,49	4,97	1,05	4,21	0,61	3,14	0,62	1,75	0,25	1,56	0,23	157,01	144,64	12,37	
После паводка																			
Аллювиальная слоистая	W	25,82	54,37	6,15	22,12	3,72	1,04	3,26	0,41	2,09	0,4	1,17	0,16	1,04	0,16	121,91	113,22	8,69	
	C	15,35	32,31	3,85	14,16	2,57	0,76	2,25	0,31	1,57	0,31	0,85	0,12	0,74	0,11	75,26	69,00	6,26	
Аллювиальная серогумусовая	W	12,14	26,75	3,17	11,87	2,27	0,71	2,05	0,28	1,48	0,29	0,82	0,11	0,74	0,10	62,78	56,91	5,87	
	[AУ1]	27,02	55,72	6,31	23,03	4,13	1,05	3,69	0,50	2,54	0,49	1,44	0,20	1,30	0,18	127,6	117,26	10,34	
Аллювиальная серогумусовая глебоватая	[AУ2]	28,00	53,91	5,75	20,02	3,50	0,91	3,25	0,43	2,23	0,44	1,25	0,17	1,11	0,16	121,13	112,09	9,04	
	C	21,06	46,61	4,92	17,94	3,34	0,95	3,04	0,41	2,18	0,42	1,19	0,16	1,08	0,15	103,45	94,82	8,63	
	AУ	33,53	69,42	7,55	27,15	5,05	1,09	4,66	0,63	3,32	0,64	1,84	0,25	1,65	0,24	157,02	143,79	13,23	
	C1g	40,19	83,49	8,88	32,36	6,65	1,32	5,60	0,75	4,02	0,78	2,20	0,31	1,96	0,28	188,79	172,89	15,9	
C2g	47,14	97,08	10,47	38,17	7,05	1,52	6,61	0,89	4,67	0,91	2,57	0,36	2,26	0,33	220,03	201,43	18,6		

Таблица 2

Содержание подвижных форм редкоземельных элементов в аллювиальных почвах до и после паводка, мг/кг

Тип почвы	Гори-зонты	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	ΣLREE	ΣHREE
До паводка																		
Аллювиальная слоистая	W	0,178	0,297	0,039	0,169	0,036	0,007	0,034	0,005	0,024	0,004	0,011	0,001	0,006	0,001	0,812	0,726	0,086
	C	0,275	0,280	0,060	0,244	0,049	0,010	0,045	0,006	0,033	0,006	0,016	0,002	0,011	0,002	1,039	0,918	0,121
Аллювиальная серогумусовая	AY1	0,383	0,630	0,088	0,372	0,079	0,015	0,072	0,010	0,050	0,009	0,022	0,002	0,014	0,002	1,748	1,567	0,181
	AY2	1,570	2,916	0,387	1,648	0,329	0,063	0,298	0,044	0,219	0,040	0,101	0,012	0,066	0,010	7,703	6,913	0,79
Аллювиальная серогумусовая глиеватая	C	1,776	3,158	0,423	1,778	0,349	0,068	0,316	0,047	0,236	0,043	0,107	0,012	0,069	0,010	8,392	7,552	0,84
	AY	0,690	1,206	0,151	0,666	0,132	0,025	0,121	0,017	0,086	0,016	0,039	0,004	0,022	0,003	3,178	2,87	0,308
	C1g	2,027	4,370	0,521	2,268	0,472	0,088	0,421	0,063	0,320	0,059	0,148	0,017	0,097	0,014	10,885	9,746	1,139
	C2g	1,991	4,420	0,514	2,220	0,459	0,086	0,410	0,062	0,319	0,060	0,153	0,018	0,103	0,016	10,831	9,69	1,141
После паводка																		
Аллювиальная слоистая	W	0,395	0,769	0,093	0,387	0,082	0,016	0,075	0,011	0,055	0,01	0,025	0,003	0,017	0,002	1,94	1,742	0,198
	C	0,553	1,029	0,128	0,474	0,091	0,016	0,08	0,012	0,059	0,011	0,029	0,003	0,021	0,003	2,509	2,291	0,218
Аллювиальная серогумусовая	W	0,913	1,709	0,223	0,907	0,165	0,031	0,150	0,021	0,109	0,020	0,054	0,007	0,039	0,006	4,354	3,948	0,406
	[AY1]	0,590	0,942	0,137	0,530	0,110	0,022	0,102	0,015	0,073	0,013	0,032	0,004	0,021	0,003	2,594	2,331	0,263
	[AY2]	1,881	3,048	0,451	1,903	0,376	0,073	0,344	0,051	0,255	0,047	0,118	0,013	0,076	0,011	8,647	7,732	0,915
	C	1,853	1,029	0,332	1,212	0,196	0,037	0,169	0,027	0,138	0,024	0,060	0,007	0,037	0,005	5,126	4,659	0,467
Аллювиальная серогумусовая глиеватая	AY	1,776	3,158	0,423	1,778	0,349	0,068	0,316	0,047	0,236	0,043	0,107	0,012	0,069	0,010	8,392	6,98	0,85
	C1g	2,898	6,502	0,753	3,210	0,695	0,127	0,624	0,089	0,474	0,084	0,210	0,024	0,137	0,020	15,847	14,185	1,662
	C2g	3,568	7,758	0,909	3,877	0,827	0,150	0,738	0,112	0,573	0,102	0,256	0,029	0,167	0,025	19,091	17,089	2,002

Изменение содержания РЗЭ в аллювиальных почвах после паводка, %

РЗЭ	Аллювиальные почвы/горизонты											Среднее по почвам
	Слоистая			Серогумусовая				Серогумусовая глееватая				
	W	C	среднее по профилю	AY1	AY2	C	среднее по профилю	AY	C1g	C2g	среднее по профилю	
Валовая форма												
La	16	17	16	-6	10	-30	-9	-6	7	29	10	6
Ce	13	11	12	-10	2	-27	-12	1	7	28	12	4
Pr	16	11	13	-8	2	-20	-9	4	8	29	14	6
Nd	13	8	11	-8	-3	-16	-9	2	8	28	13	5
Sm	8	6	7	-2	-3	-5	-3	5	16	30	17	7
Eu	21	14	18	6	9	17	10	14	14	31	20	16
Gd	21	14	17	12	10	10	11	9	17	36	21	16
Tb	5	6	6	4	-5	0	0	0	5	31	12	6
Dy	1	3	2	-2	-6	5	-1	1	6	33	13	5
Ho	3	6	4	2	-5	7	2	3	4	32	13	6
Er	3	2	2	2	-3	3	0	3	2	32	12	5
Tm	0	0	0	0	-12	0	-4	0	3	31	11	2
Yb	-3	-4	-3	0	-8	-1	-3	5	1	31	12	2
Lu	6	0	3	-6	-6	-7	-6	8	0	30	13	3
Подвижная форма												
La	55	50	53	35	17	4	19	53	30	44	42	38
Ce	61	73	67	33	4	-207	-56	61	33	43	46	19
Pr	58	53	56	36	14	-27	8	59	31	43	45	36
Nd	56	49	52	30	13	-47	-1	59	29	43	44	32
Sm	56	46	51	28	13	-78	-12	61	32	44	46	28
Eu	56	38	47	32	14	-84	-13	62	31	43	45	26
Gd	55	44	49	29	13	-87	-15	63	33	44	47	27
Tb	55	50	52	33	14	-74	-9	63	29	45	46	30
Dy	56	44	50	32	14	-71	-8	63	32	44	47	29
Ho	60	45	53	31	15	-79	-11	64	30	41	45	29
Er	56	45	50	31	14	-78	-11	64	30	40	45	28
Tm	67	33	50	50	8	-71	-5	67	29	38	45	30
Yb	65	48	56	33	13	-86	-13	69	29	38	46	29
Lu	50	33	42	33	9	-100	-19	73	30	36	46	23

в глееватом горизонте АСГг (до 220 мг/кг). Минимальное содержание, до паводка, в почвообразующем горизонте АС (67 мг/кг), после – в новосформированном горизонте (63 мг/кг).

В целом на содержание валовых РЗЭ паводок повлиял неоднозначно. В пределах одного почвенного профиля, в разных горизонтах, может наблюдаться одновременно как накопление, так и вымывание (таблица 3).

Содержание легких лантаноидов возросло в АС и АСГг, тогда как тяжелые лантаноиды в этих почвах накапливаются незначительно, или даже вы-

мываются. В АСГ большинство легких и тяжелых РЗЭ вымываются.

Необычный характер аккумуляции лантаноидов в АС, тогда как в АСГ наблюдается их вымывание, при их близких к идентичным почвенных свойствах можно объяснить положением этих почв на рельефе. Аллювиальная серогумусовая почва сформирована на вершине берегового вала, который во время паводка был расположен в области водного потока высокой динамики, что обусловило интенсивное промывание ее паводковыми водами и как следствие вымывание илестых частиц,

сорбирующих на себе РЗЭ. Аллювиальная слоистая почва расположена у подножья берегового вала, куда за счет турбулентности водного потока смещались продукты разрушения берегового вала. Следовательно, можно говорить о механическом внесении РЗЭ в почву.

Максимальное увеличение содержания среди РЗЭ отмечается у европия и гадолиния, в среднем на 16 %. Минимальное увеличение отмечается у Yb, Lu и Tm в связи с их вымыванием из песчаных горизонтов, что характерно для тяжелых лантаноидов, подверженных воздействию паводковых и грунтовых вод [18]. Это обусловлено тем, что тяжелые лантаноиды формируют простые комплексы, более подверженные вымыванию, чем легкие лантаноиды, встречающиеся преимущественно в свободном виде [19, 20].

Особый интерес вызывает горизонт C2g в АСГг, где после паводка отмечается значительное накопление лантаноидов. Этот горизонт по содержанию илестых и глинистых частиц, органического углерода, и другим почвенным свойствам уступает вышележащему горизонту. Но в нем интенсивней всего проявляются признаки глеевого процесса, свидетельствующие о восстановительных условиях, которые могут сдерживать миграцию органических и минеральных комплексов содержащих РЗЭ.

На подвижные РЗЭ паводок оказал преимущественно благоприятное влияние. В среднем содержание большинства подвижных РЗЭ возросло на 28 %. Максимальное увеличение отмечается в гумусово-аккумулятивных горизонтах, тогда как в нижних горизонтах оно выражено слабее или же наблюдается вымывание лантаноидов. В АС содержание подвижных лантаноидов увеличилось в среднем на 50 %, в АСГг на 40 %. В АСГ в верхних горизонтах после паводка содержание подвижных лантаноидов повысилось до 30 %, а в горизонте С снизилось на 70 %. В результате в сумме общее содержание подвижных РЗЭ в АСГ после паводка оказалось ниже, чем до паводка. Если затрагивать какой-то определенный элемент, то максимальная степень варьирования отмечается у подвижного церия, что связано с его способностью менять валентность и как следствие его высокой мобильностью и зависимостью от реакции среды почвенного раствора и окислительно-восстановительных условий [21]. Если в АС после паводка его содержание увеличилось на 67 %, то в АСГ его содержание снизилось на 56 %.

Помимо непосредственного влияния на содержания РЗЭ путем вымывания их из аллювиальных почв или внесения с аллохтонным взвешенным или растворенным веществом, паводковые воды изменяют почвенные свойства, что также влияет на характер миграции РЗЭ. Имеющиеся литературные данные свидетельствуют о влиянии на содержания РЗЭ в аллювиальных почвах реакции среды почвенного раствора, частиц глинистых и илестых фракций, органического вещества, емкости катионного обмена, оксидов и гидроксидов железа, марганца и фосфора [18, 22]. Для выявления закономерностей в распределении лантаноидов по почвенному профилю, использовался корреляционный анализ Пирсона с применением программы Statistica v.6 (таблицы 4, 5). В качестве переменных, помимо РЗЭ, использовались углерод органического вещества, обменные и подвижные формы кальция, магния, водорода, алюминия, железа, марганца, фосфора, валовые формы макроэлементов и фракции гранулометрического состава.

Большое значение гранулометрического состава в содержании и распределении лантаноидов подтверждается литературными данными [23, 24]. Это связано с высокой сорбирующей способностью по отношению к РЗЭ глинистых и особенно коллоидных частиц. Рассматриваемые почвы преимущественно песчаные-супесчаные, поэтому зависимость содержания РЗЭ от гранулометрического состава средней интенсивности. Если смотреть по фракциям, то содержание РЗЭ больше всего зависит от частиц фракций средней и мелкой пыли, а не ила как должно было быть. После паводка характер отношений РЗЭ с гранулометрическим составом изменился незначительно, вследствие слабо возросшей связи с РЗЭ со всеми фракциями меньше 0,05. Данное явление выглядит несколько странно на фоне вымывания из слоистой и серогумусовой почв частиц фракции крупной и средней пыли, хотя содержание мелкой пыли и ила возросло.

Связь между глинистой фракцией гранулометрического состава и содержанием РЗЭ подтверждают высокие положительные КК РЗЭ с валовым алюминием. Тонкие фракции, на которых сорбируются РЗЭ, преимущественно состоят из вторичных алюмосиликатов [15].

В отношении реакции среды почвенного раствора прослеживается закономерное снижение содержания лантаноидов при понижении рН почвенного раствора. После паводка почвы стали

Коэффициенты корреляции (Пирсона) содержания валовых форм редкоземельных элементов от свойств аллювиальных почв и валового макроэлементного состава

	До паводка		После паводка	
	$\Sigma$ LREE	$\Sigma$ HREE	$\Sigma$ LREE	$\Sigma$ HREE
Макроэлементы				
Si <sub>2</sub> O	<b>-0,86</b>	<b>-0,85</b>	<b>-0,93</b>	<b>-0,89</b>
TiO <sub>2</sub>	0,16	-0,00	<b>0,78</b>	0,66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>0,85</b>	<b>0,81</b>	<b>0,91</b>	<b>0,92</b>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,36	0,23	<b>0,77</b>	<b>0,70</b>
MnO	0,40	0,47	0,37	0,32
CaO	0,03	0,09	-0,10	-0,09
MgO	<b>0,86</b>	<b>0,93</b>	<b>0,94</b>	<b>0,96</b>
Na <sub>2</sub> O	0,46	0,50	0,08	0,21
K <sub>2</sub> O	<b>-0,88</b>	<b>-0,87</b>	<b>-0,83</b>	<b>-0,85</b>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,33	0,32	<b>0,76</b>	0,65
Физико-химические и химические свойства				
pH <sub>KCl</sub>	-0,17	-0,04	-0,52	-0,57
Ca <sup>2+</sup>	<b>0,80</b>	<b>0,89</b>	0,61	0,65
Mg <sup>2+</sup>	<b>0,84</b>	<b>0,92</b>	<b>0,82</b>	<b>0,89</b>
H <sup>+</sup>	<b>0,79</b>	<b>0,79</b>	0,51	0,63
Al <sup>3+</sup>	0,06	-0,16	<b>0,74</b>	<b>0,78</b>
C орг. в-ва	0,47	0,52	0,66	<b>0,70</b>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,30	0,35	-0,32	-0,25
MnO <sub>2</sub>	0,69	<b>0,78</b>	0,47	0,52
FeO	-0,45	-0,59	<b>0,75</b>	<b>0,80</b>
Фракции гранулометрического состава				
0,5-0,25	0,48	0,63	0,35	0,40
0,25-0,1	<b>-0,90</b>	<b>-0,78</b>	-0,36	-0,40
0,1-0,05	0,31	0,22	-0,17	-0,19
0,05-0,01	0,31	0,29	0,34	0,39
0,01-0,005	0,67	0,66	<b>0,69</b>	<b>0,74</b>
0,005-0,001	0,61	0,49	<b>0,68</b>	<b>0,72</b>
<0,001	0,35	0,30	0,44	0,47

кислее и сразу резко возросли отрицательные КК. Это связано с негативным влиянием повышенной кислотности почв на способность РЗЭ образовывать малоподвижные комплексы с органическим веществом, аморфным железом, марганцем, фосфором, т.е. чем кислее почвы, тем легче вымываются из нее РЗЭ [21, 22, 25].

Влияние оксидов и гидроксидов марганца и железа на сорбцию РЗЭ достаточно изученный вопрос, т.к. оксиды основные носители лантаноидов в зоне гипергенеза [2, 18, 26]. Несмотря на то, что в литературных источниках приводятся данные преимущественно о взаимодействии оксалатнорастворимых форм Mn и Fe с РЗЭ, были определены КК РЗЭ с обменными и валовыми формами и, судя по ним, характер отношений РЗЭ с Mn и Fe после паводка сменился с мангофильного на

сидерафильный. С учетом снижения после паводка содержания обменного и валового железа, тогда как содержание Mn возросло, эта особенность указывает, что содержание лантаноидов не зависит напрямую от содержания оксидов железа и марганца в почве. Сорбция РЗЭ оксидами Mn и Fe определяется, судя по литературным данным и КК, окислительно-восстановительным потенциалом и реакцией среды. Усиление кислотности почв и развитие восстановительных условий в результате влияния паводка создали ситуацию, в которой РЗЭ лучше сорбируются на оксидах железа.

Зависимость содержания РЗЭ от органического вещества проявляется слабо, что связано с более высокой сорбционной значимостью гранулометрического состава и гидроксидов марганца и железа [24, 27]. Увеличение КК РЗЭ с органичес-

Коэффициенты корреляции (Пирсона) содержания подвижных форм редкоземельных элементов от свойств аллювиальных почв и валового макроэлементного состава

	До паводка		После паводка	
	$\Sigma$ LREE	$\Sigma$ HREE	$\Sigma$ LREE	$\Sigma$ HREE
Физико-химические и химические свойства				
pH <sub>KCl</sub>	<b>-0,77</b>	<b>-0,77</b>	<b>-0,88</b>	<b>-0,87</b>
Ca <sup>2+</sup>	0,24	0,24	0,27	0,31
Mg <sup>2+</sup>	0,41	0,41	0,65	<b>0,68</b>
H <sup>+</sup>	<b>0,91</b>	<b>0,92</b>	0,50	0,51
Al <sup>3+</sup>	0,57	0,55	<b>0,92</b>	<b>0,92</b>
C орг. в-ва	-0,11	-0,12	0,38	0,41
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-0,31	-0,33	-0,61	-0,61
MnO <sub>2</sub>	<b>0,85</b>	<b>0,87</b>	0,40	0,43
FeO	-0,11	-0,10	<b>0,68</b>	<b>0,70</b>
Фракции гранулометрического состава				
0,5-0,25	0,24	0,26	0,39	0,40
0,25-0,1	-0,46	-0,44	-0,35	-0,35
0,1-0,05	0,52	0,53	0,10	0,07
0,05-0,01	-0,23	-0,25	0,01	0,04
0,01-0,005	0,51	0,50	0,58	0,58
0,005-0,001	0,66	0,64	0,60	0,62
<0,001	0,06	0,04	0,23	0,26

ким веществом можно объяснить разными причинами. С одной стороны во время паводка аллювиальные почвы находились под водой, и в них преобладали восстановительные условия, при которых лантаноиды способны образовывать прочные малоподвижные хелаты с углеродом органического вещества. До паводка в почвах преобладал окислительный режим, при котором подобные органоминеральные соединения нестабильны и недолговечны и корреляция между РЗЭ и органическим веществом прослеживалась слабее [28]. Так же паводок привел к вымыванию в первую очередь фульвокислот, образующих с РЗЭ подвижные комплексы, легко вымываемые грунтовыми водами или поглощаемые растениями. В результате увеличилась доля гуминовых кислот, выступающих по отношению к РЗЭ миграционным барьером, за счет образования прочных, малоподвижных комплексов, что улучшило корреляционную связь [30].

Как правило, между фосфором и РЗЭ наблюдаются сильные положительные взаимоотношения, обусловленные низкой растворимостью фосфатов лантаноидов и их аккумуляций в почвах [31]. В исследуемых аллювиальных почвах до паводка наблюдаются слабо проявляющие себя отношения между РЗЭ и валовыми, и подвижными формами фосфора. После паводка положительная корреляция между валовым фосфором и редкоземельным

элементам значительно увеличивается, а в отношении с подвижным фосфором меняются на отрицательные. Как указывалось выше, взаимосвязь между подвижной формой фосфора и редкоземельными элементами контролируются реакцией среды почвенного раствора, чем кислее почва, тем хуже образуются фосфорные комплексы с лантаноидами. Отношения с валовой формой фосфора обусловлены типом отлагаемого аллювия и содержанием в нем фосфорсодержащих минералов. Почвообразующие процессы разрушают минералы фосфора, и связь между ними и РЗЭ слабеет, паводок, внося новые фосфорсодержащие минералы, снова укрепляет эту связь.

Обменные катионы в большинстве своем формируют сильную положительную связь с содержанием РЗЭ. Из-за зависимости емкости катионного обмена (ЕКО) от гранулометрического состава и органического вещества, формирующих поглощательную способность почв, эти отношения вторичны, что подтверждает изменения приоритетов КК после паводка. До паводка в составе ЕКО преобладали Са и Mg, после Mg и Al. В результате РЗЭ до паводка коррелировали с обменными формами Са, Mg и H, после паводка с обменными Mg и Al.

Природа хорошо выраженной связи между РЗЭ и валовой формой Mg имеет тот же характер, что и

связь между РЗЭ и валовой формой Al, т.е. связь вторична вследствие поглощения Mg глинистыми коллоидами [7]. Кварц по отношению к лантаноидам обладает минимальной поглощающей способностью, поэтому коэффициенты корреляции валового кремния и РЗЭ носят ярко выраженный отрицательный характер [11]. Положительные коэффициенты корреляции титана и отрицательные калия носят также вторичный характер. Титан содержится в почве преимущественно в виде ильменита, и поэтому проявляет положительную связь с железом. Валовой калий, находящийся в силикатных минералах группы калиевых полевых шпатов и плагиоклазов, положительно коррелирует с содержанием кремния.

Данных по геохимии подвижных форм РЗЭ мало, поэтому трудно оценить влияние паводка и почвенных свойств на их содержание и распределение в аллювиальных почвах. Тем не менее, корреляционный анализ показал, что для подвижных РЗЭ, в большинстве своем характерны те же закономерности, что и для валовых форм (таблица 5). В первую очередь это высокие отрицательные КК содержания подвижных РЗЭ с реакцией среды и подвижным фосфором, которые после паводка только возросли и изменили характер отношений с оксидами железа и марганца с мангофильного на сидерафильный и преобладающая, в гранулометрическом составе, роль фракций средней и мелкой пыли.

Влияние содержания органического вещества и гранулометрического состава на подвижные РЗЭ выражено гораздо слабее, по сравнению с валовыми формами, хотя после паводка эти связи незначительно окрепли. Так же содержание подвижных РЗЭ, не проявляя четких отношений с обменными кальцием и магнием, хорошо коррелирует с обменной кислотностью, обусловленной водородом до паводка и алюминием после. Это подтверждает преобладающую роль кислотности почв в содержании и распределении подвижных РЗЭ.

Итак, аллювиальные почвы из-за пестроты условий почвообразования характеризуются высоким варьированием собственных свойств и зачастую данные полученные с рядом расположенных ключевых участков могут довольно сильно различаться. Тем не менее, в отношении исследуемых аллювиальных почв прирусловой поймы среднего течения р. Амур можно утверждать следующее.

1. Содержание лантаноидов колеблется: валовых форм от 100 мг/кг в песчаных горизонтах до 200 мг/кг в легкосуглинистых горизонтах и под-

вижных форм от 2 до 20 мг/кг в соответствующих горизонтах.

2. На содержание и распределение валовых форм РЗЭ в аллювиальных почвах влияют следующие почвенные свойства в порядке убывания: гранулометрический состав (фракции средней и тонкой пыли) – реакция среды почвенного раствора – оксиды и гидроксиды марганца, алюминия и железа – органическое вещество – соединения фосфора.

3. На содержание и распределение подвижных форм РЗЭ в аллювиальных почвах влияют следующие почвенные свойства в порядке убывания: реакция среды почвенного раствора – оксиды и гидроксиды марганца, алюминия и железа – гранулометрический состав (фракции средней и мелкой пыли) – органическое вещество.

4. Наводнение оказало преимущественно положительное влияние на содержание РЗЭ, особенно на европий и гадолиний, но в песчаных горизонтах наблюдается вымывание тяжелых лантаноидов.

5. Паводок, изменяя почвенные свойства, увеличивает сорбционную по отношению к РЗЭ роль гранулометрического состава, органического вещества и валовых и подвижных форм железа и валовых форм фосфора, но ослабляет влияние валовых и подвижных форм марганца и подвижного фосфора. Основной причиной изменения приоритетов аккумуляции РЗЭ различными оксидами и гидроксидами служит повышение кислотности почв и возможное изменение характера окислительно-восстановительных условий в аллювиальных почвах во время их затопления.

6. Наряду с почвенными свойствами, на содержание РЗЭ в аллювиальных почвах влияет динамика паводковых вод, обуславливающая механическое внесение или вынос РЗЭ, и зависящая в свою очередь от рельефа поймы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брянин С. В. Вертикальное распределение редкоземельных элементов в почвах южной тайги верхнего Приамурья, сформированных на горных породах различного состава / С. В. Брянин // Тихоокеанская геология. – 2015. – Т. 34, № 3. – С. 104-111.

2. Водяницкий Ю. Н. Геохимическое фракционирование лантанидов в почвах и горных породах (обзор литературы) / Ю. Н. Водяницкий // Почвоведение. – 2012. – № 1. – С. 69-81.

3. Водяницкий Ю. Н. Лантаниды почвы и их влияние на растения / Ю. Н. Водяницкий // Агрохимия. – 2012. – № 4. – С. 84-96.

4. Водяницкий Ю. Н. Распределение редкоземельных (Y, La, Ce) и других тяжелых металлов в профиле почв подзолистого ряда / Ю. Н. Водяницкий, С. В. Горячкин, А. Т. Савичев // Почвоведение. – 2011. – № 5. – С. 546-555.
5. Использование метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в элементном анализе окружающей среды / В. К. Карандашев [и др.] // Заводская лаборатория. – 2007. – Т. 73, № 1. – С. 12-22.
6. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов [и др.]. – Смоленск : Ойкумена, 2004. – 341 с.
7. Ковда В. А. Биогеохимия почвенного покрова / В. А. Ковда. – Москва : Наука, 1985. – 263 с.
8. Кожевникова Н. М. Распределение церия, неодима и самария в каштановой почве Забайкалья / Н. М. Кожевникова, Е. П. Ермакова // Вестник Северо-Восточного научного центра Дальневосточного отделения РАН. – 2010. – № 3. – С. 95-98.
9. Кожевникова Н. М. Особенности распределения валового и подвижных форм церия, неодима, самария в профиле серой лесной почвы Забайкалья / Н. М. Кожевникова // Агрохимия. – 2010. – № 6. – С. 65-68.
10. Мартынов А. В. Изменение свойств аллювиальных почв после крупного паводка на примере среднего течения р. Амур / А. В. Мартынов // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 3. – С. 405.
11. Переломов Л. В. Взаимодействие редкоземельных элементов с биотическими и абиотическими свойствами почв / Л. В. Переломов // Агрохимия. – 2007. – № 11. – С. 85-96.
12. Перельман А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман, Н. С. Касимов. – Москва : Астрель-2000, 1999. – 610 с.
13. Сорокина О. А. Содержание редкоземельных элементов в пойменных почвах долины р. Зея (бассейн р. Амур) / О. А. Сорокина, М. Н. Гусев // Вестник Северо-Восточного научного центра Дальневосточного отделения РАН. – 2014. – № 3. – С. 36-40.
14. Сорокина О. А. Содержание химических элементов в аллювиальных почвах и донных отложениях реки Уркан (бассейн реки Амур) / О. А. Сорокина, Н. В. Зарубина // Почвоведение. – 2013. – № 6. – С. 681-690.
15. Харитоновна Н. А. Редкоземельные элементы в поверхностных водах Амурской области. Особенности накопления и фракционирования / Н. А. Харитоновна, Е. А. Вах // Вестник Томского государственного университета. – 2015. – № 395. – С. 232-244.
16. Шраг В. И. Пойменные почвы их мелиорация и сельскохозяйственное использование / В. И. Шраг. – Москва : Россельхозиздат, 1969. – 269 с.
17. Rudnick R. L. Composition of the Continental Crust. In The Crust / R. L. Rudnick, S. Gao // Treatise on Geochemistry. – Elsevier, 2003. – Vol. 3. – P. 1-64.
18. Mihajlovic J. Geochemical Fractions of Rare Earth Elements in Two Floodplain Soil Profiles at the Wupper River, Germany / J. Mihajlovic, S Hans-Joachim, J. Rinklebe // Geoderma. – 2014. – № 228-229. – P. 160-172.
19. Cantrell K. J. Rare Earth Element Complexation by Carbonate and Oxalate Ions / K. J. Cantrell, R. H. Byrne // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1987. – № 51(3). – P. 597-605.
20. Cerium Anomalies in Lateritic Profiles / J.-J. Braun [et al.] // Geochim Cosmochim Acta. – 1990. – № 54(3). – P. 781-795.
21. Effects of Redox Potential and pH Value on the Release of Rare Earth Elements from Soil / X. Cao [et al.] // Chemosphere. – 2001. – № 44(4). – P. 655-661.
22. Trace Metal Behavior in Estuarine and Riverine Floodplain Soils and Sediments : a Review / G. Du Laing [et al.] // Science of the Total Environment. – 2009. – № 407(13). – P. 3972-3985.
23. Tyler G. Rare Earth Elements in Forest-Floor Herbs as Related to Soil Conditions and Mineral Nutrition / G. Tyler, T. Olsson // Biological Trace Element Research. – 2005. – № 106(2). – P. 177-191.
24. Laveuf C. A Review on the Potentiality of Rare Earth Elements to Trace Pedogenetic Processes / C. Laveuf, S. Cornu // Geoderma. – 2009. – № 154(1-2). – P. 1-12.
25. Adsorption and Desorption of Exogenous Rare Earth Elements in Soils: I. Rate and Forms of Rare Earth Elements Sorbed / J. G. Zhu [et al.] // Pedosphere. – 1993. – № 3(4). – P. 299-308.
26. Yan X. P. Sequential Leachates of Multiple Grain Size Fractions From a Clay-Rich Till, Saskatchewan, Canada: Implications for Controls on the Rare Earth Element Geochemistry of Porewaters in an Aquitard / X. P. Yan, R. Kerrich, M. J. Hendry // Chemical Geology. – 1999. – № 158(1-2). – P. 53-79.
27. Al(III) and Fe(III) Binding by Humic Substances in Freshwaters, and Implications for Trace Metal Speciation / E. Tipping [et al.] // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2002. – № 66(18). – P. 3211-3224.
28. Geochemical Characteristics of Rare Earth Elements in Different Types of Soils in China / W. Lijun [et al.] // Journal Rare Earths. – 1998. – № 16(1). – P. 51-58.
29. Germund Tyler. Rare Earth Elements in Soil and Plant Systems – A Review / Germund Tyler // Plant and Soil. – 2004. – № 267(1). – P. 191-206.
30. Effects of Humic Acid on Speciation and Bioavailability to Wheat of Rare Earth Elements in Soil / X. Gu [et al.] // Chemical Speciation and Bioavailability. – 2001. – № 13(3). – P. 83-88.
31. Zhang Y. Does the Long-Term Application of Calcium Superphosphate Lead to an Increase of the Soil Rare Earth Element Contents? / Y. Zhang, L. B. Deng, W. H. Ye // Journal of Environmental Sciences. – 2006. – № 18(1). – P. 130-134.

## REFERENCES

1. Brjanin S. V. Vertikal'noe raspredelenie redkozemel'nyh jelementov v pochvah juzhnoj tajgi verh-

nego Priamur'ja, sformirovannyh na gornyh porodah razlichnogo sostava / S. V. Brjanin // *Tihookeanskaja geologija*. – 2015. – Т. 34, № 3. – С. 104-111.

2. Vodjanickij Ju. N. Geohimicheskoe frakcionirovanie lantanidov v pochvah i gornyh porodah (obzor literatury) / Ju. N. Vodjanickij // *Pochvovedenie*. – 2012. – № 1. – С. 69-81.

3. Vodjanickij Ju. N. Lantanidy pochvy i ih vlijanie na rastenija / Ju. N. Vodjanickij // *Agrohimiya*. – 2012. – № 4. – С. 84-96.

4. Vodjanickij Ju. N. Raspredelenie redkozemel'nyh (Y, La, Ce) i drugih tjazhelyh metallov v profile pochv podzolistogo rjada / Ju. N. Vodjanickij, S. V. Gorjachkin, A. T. Savichev // *Pochvovedenie*. – 2011. – № 5. – С. 546-555.

5. Ispol'zovanie metoda mass-spektrometrii s induktivno svjazannoj plazmoj v jelementnom analize okruzhajushhej sredy / V. K. Karandashev [i dr.] // *Zavodskaja laboratorija*. – 2007. – Т. 73, № 1. – С. 12-22.

6. Klassifikacija i diagnostika pochv Rossii / L. L. Shishov [i dr.]. – Smolensk : Ojkumena, 2004. – 341 s.

7. Kovda V. A. Biogeohimiya pochvennogo pokrova / V. A. Kovda. – Moskva : Nauka, 1985. – 263 s.

8. Kozhevnikova N. M. Raspredelenie cerija, neodima i samarija v kashtanovoj pochve Zabajkal'ja / N. M. Kozhevnikova, E. P. Ermakova // *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo centra Dal'nevostochnogo otdelenija RAN*. – 2010. – № 3. – С. 95-98.

9. Kozhevnikova N. M. Osobennosti raspredelenija valovogo i podviznyh form cerija, neodima, samarija v profile seroj lesnoj pochvy Zabajkal'ja / N. M. Kozhevnikova // *Agrohimiya*. – 2010. – № 6. – С. 65-68.

10. Martynov A. V. Izmenenie svojstv alljuvial'nyh pochv posle krupnogo pavodka na primere srednego techenija r. Amur / A. V. Martynov // *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*. – 2016. – № 3. – С. 405.

11. Perelomov L. V. Vzaimodejstvie redkozemel'nyh jelementov s bioticheskimi i abioticheskimi svojstvami pochv / L. V. Perelomov // *Agrohimiya*. – 2007. – № 11. – С. 85-96.

12. Perel'man A. I. Geohimiya landshafta / A. I. Perel'man, N. S. Kasimov. – Moskva : Astreja-2000, 1999. – 610 s.

13. Sorokina O. A. Soderzhanie redkozemel'nyh jelementov v pojmyennyh pochvah doliny r. Zeja (bassejn r. Amur) / O. A. Sorokina, M. N. Gusev // *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo centra Dal'nevostochnogo otdelenija RAN*. – 2014. – № 3. – С. 36-40.

14. Sorokina O. A. Soderzhanie himicheskikh jelementov v alljuvial'nyh pochvah i donnyh otlozhenijah reki Urkan (bassejn reki Amur) / O. A. Sorokina, N. V. Zarubina // *Pochvovedenie*. – 2013. – № 6. – С. 681-690.

15. Haritonova N. A. Redkozemel'nye jelementy v poverhnostnyh vodah Amurskoj oblasti. Osobennosti nakoplenija i frakcionirovanija / N. A. Haritonova, E. A. Vah // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*. – 2015. – № 395. – С. 232-244.

16. Shrag V. I. Pojmyenne pochvy ih melioracija i sel'skohozyajstvennoe ispol'zovanie / V. I. Shrag. – Moskva : Rossel'hozizdat, 1969. – 269 s.

17. Rudnick R. L. Composition of the Continental Crust. In *The Crust* / R. L. Rudnick, S. Gao // *Treatise on Geochemistry*. – Elsevier, 2003. – Vol. 3. – P. 1-64.

18. Mihajlovic J. Geochemical Fractions of Rare Earth Elements in Two Floodplain Soil Profiles at the Wupper River, Germany / J. Mihajlovic, S. Hans-Joachim, J. Rinklebe // *Geoderma*. – 2014. – № 228-229. – P. 160-172.

19. Cantrell K. J. Rare Earth Element Complexation by Carbonate and Oxalate Ions / K. J. Cantrell, R. H. Byrne // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1987. – № 51(3). – P. 597-605.

20. Cerium Anomalies in Lateritic Profiles / J.-J. Braun [et al.] // *Geochim Cosmochim Acta*. – 1990. – № 54(3). – P. 781-795.

21. Effects of Redox Potential and pH Value on the Release of Rare Earth Elements from Soil / X. Cao [et al.] // *Chemosphere*. – 2001. – № 44(4). – P. 655-661.

22. Trace Metal Behavior in Estuarine and Riverine Floodplain Soils and Sediments : a Review / G. Du Laing [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2009. – № 407(13). – P. 3972-3985.

23. Tyler G. Rare Earth Elements in Forest-Floor Herbs as Related to Soil Conditions and Mineral Nutrition / G. Tyler, T. Olsson // *Biological Trace Element Research*. – 2005. – № 106(2). – P. 177-191.

24. Laveuf C. A Review on the Potentiality of Rare Earth Elements to Trace Pedogenetic Processes / C. Laveuf, S. Cornu // *Geoderma*. – 2009. – № 154(1-2). – P. 1-12.

25. Adsorption and Desorption of Exogenous Rare Earth Elements in Soils: I. Rate and Forms of Rare Earth Elements Sorbed / J. G. Zhu [et al.] // *Pedosphere*. – 1993. – № 3(4). – P. 299-308.

26. Yan X. P. Sequential Leachates of Multiple Grain Size Fractions From a Clay-Rich Till, Saskatchewan, Canada: Implications for Controls on the Rare Earth Element Geochemistry of Porewaters in an Aquitard / X. P. Yan, R. Kerrich, M. J. Hendry // *Chemical Geology*. – 1999. – № 158(1-2). – P. 53-79.

27. Al(III) and Fe(III) Binding by Humic Substances in Freshwaters, and Implications for Trace Metal Speciation / E. Tipping [et al.] // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2002. – № 66(18). – P. 3211-3224.

28. Geochemical Characteristics of Rare Earth Elements in Different Types of Soils in China / W. Lijun [et al.] // *Journal Rare Earths*. – 1998. – № 16(1). – P. 51-58.

29. Germund Tyler. Rare Earth Elements in Soil and Plant Systems - A Review / Germund Tyler // *Plant and Soil*. – 2004. – № 267(1). – P. 191-206.

30. Effects of Humic Acid on Speciation and Bioavailability to Wheat of Rare Earth Elements in Soil / X. Gu [et al.] // *Chemical Speciation and Bioavailability*. – 2001. – № 13(3). – P. 83-88.

31. Zhang Y. Does the Long-Term Application of Calcium Superphosphate Lead to an Increase of the Soil Rare Earth Element Contents? / Y. Zhang, L. B. Deng, W. H. Ye // Journal of Environmental Sciences. – 2006. – № 18(1). – P. 130-134.

Мартынов Александр Викторович  
кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории геоэкологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Благовещенск, т. 8(4162) 225335, E-mail: [lexx\\_1981@list.ru](mailto:lexx_1981@list.ru)

Martynov Alexander Viktorovich  
Candidate of Geographical Sciences, Researcher of the Laboratory of Geoecology of the Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Geology and Nature Management of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Blagoveshchensk, tel. 8(4162) 225335, E-mail: [lexx\\_1981@list.ru](mailto:lexx_1981@list.ru)