

УДК 631.416 (045)

*Н.Г. Зыкина, М.Ф. Кузнецов***К ВОПРОСУ О ФОНОВОМ СОДЕРЖАНИИ НЕКОТОРЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ (V, Ni, Ti, Sn, Sc, Sr, Zr, Y, Yb) В ПОЧВАХ УДМУРТИИ**

Приводятся результаты исследования валового содержания ряда микроэлементов, в том числе редких редкоземельных металлов (Sc, Y, Yb), в почвах и почвообразующих породах Удмуртии. Для почвообразующих пород республики отмечено среднее накопление большинства элементов относительно кларка. Наибольшее концентрирование отмечено для олова, иттербия и ванадия ($K_k > 2$), рассеивание отмечено только для стронция. Содержание микроэлементов в гумусовых горизонтах дерново-подзолистых почв ниже, чем в почвообразующих породах. Незначительно накапливаются лишь цирконий и титан ($R < 1,3$). Более богаты верхние горизонты серых лесных почв, в которых аккумулируются Zr, Ti, Y и Sr. В дерново-карбонатных почвах происходит аккумуляция 6 из 9 элементов.

Ключевые слова: микроэлементы, тяжелые металлы, рассеянные элементы, редкоземельные элементы, фоновое содержание, профильное распределение.

DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-1-43-52

Техногенное влияние на биосферу значительно изменяет ее геохимические характеристики. Активная добыча и использование полезных ископаемых приводит к обогащению химического состава природных объектов микроэлементами, в том числе и редкоземельными. Изменение их содержания особенно ярко проявляется в депонирующих средах (почве, донных отложениях). Это приводит к трудностям в определении геохимического фона, а также проблемам оценки экологической безопасности таких изменений. Использование санитарно-гигиенических нормативов (ПДК и ОДК) не всегда возможно. Во-первых, данные показатели разработаны для узкого набора элементов, во-вторых, данные нормативы могут быть некорректны из-за естественных геохимических аномалий.

Так, например, для хрома некоторые региональные кларки очень сильно отличаются от общемирового: кларк по Виноградову – 200 мг/кг, по Боуэну – 100 мг/кг. Кларк почв США – 40 мг/кг, а в почвах Дании – среднее содержание хрома – 12 мг/кг [1]. В связи с этим очень важны исследования региональных особенностей содержания химических элементов в почвах. Основную роль в определении содержания химических элементов в почвах играет происхождение и состав почвообразующих пород.

Формирование почвообразующих пород на территории Удмуртии в большей степени связано с перигляциальными условиями плейстоцена, когда на большей части исследуемой территории сформировались делювиально-солифлюкционные и элювиально-делювиальные суглинки и глины, занимающие в настоящее время около 60 % площади республики. Около 20 % от общей площади представлено песками и супесями, которые характерны для низменных территорий. Большая часть данного типа почвообразующих пород сформировалась в результате эоловых процессов, активизировавшихся в условиях плейстоценового перигляциала [2].

Наиболее типичными для территории Удмуртской Республики являются дерново-подзолистые почвы (59 %), значительно меньше серых лесных (10 %) и дерново-карбонатных (5 %) почв [3].

Данные о фоновом содержании ряда микроэлементов в почвах Удмуртии опубликованы в нескольких монографиях и статьях [4-6]. Однако, в некоторых работах рассмотрен лишь узкий спектр элементов, в ряде работ не рассматривались почвенные разности и профильное распределение.

Материалы и методы исследований

Материалом для исследования являлись почвенные пробы, отобранные в 1978–1980 гг. в различных районах Удмуртской Республики. Было исследовано 25 почвенных разрезов, пробы отбирались по генетическим горизонтам. Названия почв даны по классификации 1977 г. [7]. Анализ микроэлементов производился М.Ф. Кузнецовым спектрографическим методом в лаборатории кафедры химии почв МГУ им. М.В. Ломоносова в 1984 г. по методике и эталонам МГУ [8]. Съёмка велась на спектрографах ИСП-28 и ДФС-8 одновременно. Содержание приводится в мг/кг абсолютно сухой почвы. Агрохимические свойства исследованных почв приводятся в монографии М.Ф. Кузнецова [4].

Математическая обработка результатов проведена с применением пакета для статистических вычислений программы Excel, вычислен коэффициент вариации (V , %). Достоверность отличий проверена с помощью критерия Манна-Уитни ($p < 0,05$). Рассчитаны кларки концентрации (K_k) химических элементов в почвах и почвообразующих породах обследованной территории. В связи с тем, что кларки в верхней части континентальной земной коры существенно отличаются у разных авторов, нами были взяты значения, рекомендованные Н.С. Касимовым и Д.В. Власовым [9], для скандия, циркония иттрия и иттербия взяты данные А.Н. Григорьева [10]. Значения кларков приведены в табл. 1. Данные по кларкам элементов в почвах мира взяты из монографии В.В. Добровольского [1] и указаны в табл. 2. В большинстве это кларки по Виноградову [11], его данные базировались на результатах исследования рассеянных элементов в почвах умеренного и бореального поясов Северного полушария. Для иттербия, кларк которого не был им определен, взят кларк по Шаклетту и Борнгену используемый В.В. Добровольским [1]. Для оценки степени аккумуляции элементов в почвенном профиле использован коэффициент радиальной дифференциации (R) относительно почвообразующей породы: $R = C_i/C_c$, где C_i и C_c – содержание элемента в i горизонте и в породе (гор. C) соответственно [12].

Результаты и их обсуждение

Изучение почвообразующих пород республики выявило значительные колебания содержания микроэлементов. В табл. 1 приведены данные по преобладающим в республике тяжелым почвообразующим породам, в их числе покровным суглинкам и глинам и карбонатным суглинкам и глинам.

Таблица 1

Содержание микроэлементов в почвообразующих породах Удмуртской Республики

	Ti	V	Zr	Ni	Sr	Sc	Y	Yb	Sn
Тяжелые почвообразующие породы ($n = 19$)									
М	6129,6	223,6	239,2	92,9	46,9	28,3	29,3	5,4	8,2
m	384,1	16,5	18,7	8,1	7,1	2,4	1,7	0,4	0,6
Медиана	6247	213,5	232	82	43	24	28	5,1	7,6
Минимум	3512	72	115	42	16	17,8	16	2	4,3
Максимум	8735	432	427	159	102	51	46	8,1	15,4
V	27	33	35	40	55	38	27	28	36
Кларк [9; 10]	3900	106	160	50	270	15,6	26	2,5	2,5
K_k	1,6	2,1	1,5	1,9	0,2	1,8	1,1	2,2	3,3
в том числе: покровные суглинки и глины ($n = 7$)									
М	5368,1	210,4	276,5	103,9	59,3	24,8	33,9	6,4	7,2
m	493,0	13,7	28,9	14,4	15,4	2,2	2,4	0,5	0,7
Медиана	5316	213,5	240	87,5	50	23,5	33,5	6,75	7,3
Минимум	3548	162	214	63	35	18	24	4,7	4,6
Максимум	7099	289	427	159	102	35	46	8,1	9,6
V , %	24	18	30	39	52	26	20	22	26
K_k	1,4	2,0	1,7	2,1	0,2	1,6	1,3	2,6	2,9
в том числе: карбонатные суглинки и глины ($n = 9$)									
М	6650,1	262,8	213,5	92,0	39,3	36,4	25,5	4,6	10,3
m	680,3	28,5	32,1	12,7	11,6	4,2	2,3	0,4	0,9
Медиана	7358	241	205	110	35,5	35,55	25,5	4,95	9,9
Минимум	3512	193	115	45	16	20	16	2	7,3
Максимум	8735	432	356	142	70	51	33	6	15,4
V , %	31	31	42	41	59	33	26	26	27
K_k	1,7	2,5	1,3	1,8	0,1	2,3	1,0	1,9	4,1

Из исследуемых элементов наиболее распространенным в земной коре является титан. Колебания валового содержания титана в породах Удмуртии довольно значительны (1122–26037 мг/кг), вследствие чего коэффициент вариации достигает 72 %. Это обусловлено разнообразием почвообра-

зующих пород. Песками и супесями покрыто лишь 20 % от общей площади республики, для большинства почв почвообразующими являются породы тяжелого гранулометрического состава. Валовое содержание титана значительно варьируется в легких по гранулометрическому составу породах республики. Максимальное содержание отмечено в породах с преобладанием крупнозернистого песка, в легких почвообразующих породах именно с данной фракцией отмечены наиболее тесные корреляции титана ($r=+0,87$). Титан относится к группе слабоподвижных и инертных элементов, поэтому его устойчивые минералы концентрируются в песчаной фракции [13; 14]. Достоверных отличий по содержанию титана между карбонатными и бескарбонатными суглинками и глинами нами не выявлено.

Для ванадия, никеля и циркония содержание в литосфере на порядок ниже. В окислительной среде эти элементы также являются слабоподвижными [13]. Диапазон колебаний содержания в почвообразующих породах Удмуртии достаточно широк: для ванадия – 54–612 мг/кг, для никеля 34–159 мг/кг и для циркония 62–427 мг/кг (коэффициент вариации – 57, 46 и 44 % соответственно). Такое варьирование связано с разным гранулометрическим составом. Так, содержание данных элементов достоверно ниже в легких почвообразующих породах: для ванадия – в 3,7 раза, для никеля – в 2,4 раза, для циркония – в 1,9 раза ($p<0,05$). Более высокое содержание данных элементов в тяжелых породах связано с их активной сорбцией на глинистых минералах [14]. Коэффициенты корреляции с фракцией физической глины для них: +0,63 – +0,67. Достоверных отличий в содержании V, Zr и Ni между карбонатными и выщелоченными суглинками и глинами не выявлено.

Содержание редкоземельных элементов (Sc, Y, Yb) в почвообразующих породах Удмуртии имеет значительные пределы колебаний: для скандия – 3,2–61 мг/кг, для иттрия – 6,3–46 мг/кг и для иттербия – 2–13 мг/кг, коэффициент вариации составил 58, 40 и 45 % соответственно. Значительная вариативность связана с отличиями гранулометрического состава и содержанием карбонатов в исследуемых почвообразующих породах Удмуртии. Так легкие почвообразующие породы содержат меньше скандия (3,2–6,6 мг/кг) и иттрия (6,3–14,5 мг/кг), чем тяжелые. Карбонатные суглинки и глины содержат в 1,9 раза больше скандия, а в выщелоченных породах больше иттрия в 1,3 раза. Такие отличия связаны с особенностями миграции данных элементов.

Количество олова в почвообразующих породах Удмуртии колеблется от 3,7 до 15,4 мг/кг ($V = 37\%$). Его содержание в карбонатных породах (10,3 мг/кг) достоверно выше, чем в покровных суглинках и глинах (7,2 мг/кг).

Присутствие стронция в почвообразующих породах Удмуртии значительно ниже кларка, что обусловлено его очень активной водной миграцией в кислых условиях [13]. Пределы колебаний его содержания в почвообразующих породах республики составили 16 – 110 мг/кг ($V= 51\%$). Достоверных отличий между содержанием его в легких и тяжелых по гранулометрическому составу породах нами не выявлено.

Микроэлементный состав почвообразующих пород Удмуртии, с учетом результатов предыдущих исследований [4] можно представить в виде ряда: $Ti > Mn > V, Zr > Ni > Sr, Zn > Sc, B > Y, Cu > Co > Sn > Yb > Mo > I$. В целом в почвообразующих породах республики наибольшее концентрирование относительно кларка литосферы отмечено для олова, ванадия и никеля ($K_k > 2,0$). По сравнению с почвообразующими породами соседних регионов [15; 16] более высокие концентрации отмечены нами для олова и иттербия, более низкие – для стронция.

Содержание микроэлементов в почвообразующих породах определяет их концентрацию в почвах. Расчет коэффициентов корреляции показал для большинства исследованных элементов прямую зависимость (табл. 2). В таблице приведено содержание микроэлементов в гумусовых (A_1 и A_n) горизонтах тяжелых по гранулометрическому составу почв в целом, а также содержание в типичных почвах республики. Содержание микроэлементов имеет значительные пределы колебаний (V от 20 до 35 %), что обусловлено отличиями не только почвообразующих пород, но и процессов почвообразования. О степени аккумуляции элементов в почвенном профиле относительно почвообразующей породы судили по величине коэффициента радиальной дифференциации (R) (рис. 1).

Концентрации большинства исследуемых микроэлементов в тяжелых почвах Удмуртии слабо отличается от кларка почв ($K_k = 0,6 - 1,5$). Больше присутствие отмечено для скандия ($K_k Sc = 2,3$) и никеля ($K_k Ni = 1,9$), рассеивание типично для стронция ($K_k Sr = 0,2$).

Таблица 2

**Содержание исследуемых микроэлементов в гумусовых горизонтах почв,
типичных для Удмуртской Республики**

	Ti	V	Zr	Ni	Sc	Sr	Y	Yb	Sn
Почвы тяжелого гранулометрического состава (n = 21)									
М	6501,4	148,0	278,6	76,8	16,3	58,1	28,7	4,4	6,5
m	406,5	7,2	15,3	5,3	0,9	5,2	2,0	0,2	0,4
Медиана	5983	136,5	267,5	82	15,7	56	28	4,35	6,1
Минимум	3540	92	151	27	7,4	27	14,6	3,3	3,7
Максимум	10077	223	415	111	24	89	49	6,6	9,8
V, %	29	24	27	33	28	34	33	20	33
Кларк почв [1]	4600	100	300	40	7	300	50	3	10
Кк	1,4	1,5	0,9	1,9	2,3	0,2	0,6	1,5	0,7
r	+0,48	+0,66	+0,44	+0,43	+0,60	+0,21	-0,11	+0,57	+0,89
Дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы (n = 7)									
М	6091,9	145,6	304,3	60,7	12,6	50,7	25,7	4,4	5,7
m	471,8	13,3	19,8	9,1	1,1	7,4	1,6	0,5	0,8
Медиана	5845,0	131,0	270,0	54,0	13,0	50,5	27,0	4,3	5,3
Минимум	4333	116	252	40	7,4	27	18	3,3	3,7
Максимум	8068	222	386	111	16	81	29	12	9,7
Кк	1,3	1,5	1,0	1,5	1,8	0,2	0,5	1,5	0,6
Дерново-карбонатные глинистые почвы (n = 6)									
М	7548,8	178,2	232,7	95,2	22,7	38,3	32,8	5,6	8,0
m	573,2	16,3	22,4	13,6	0,7	15,4	4,5	1,0	0,7
Медиана	7963,0	172,5	237,5	97,0	23,0	42,0	34,0	4,9	8,2
Минимум	5363	120	151	56	20	10	17	3,4	5,9
Максимум	9100	223	307	151	24	63	48	10	9,8
Кк	1,6	1,8	0,8	2,4	3,2	0,1	0,7	1,9	0,8
Серые лесные средне- и тяжелосуглинистые почвы (n = 8)									
М	8579,5	141,8	325,3	91,0	16,0	68,0	30,7	4,4	7,0
m	1186,5	6,4	24,5	6,6	1,0	12,6	4,0	0,2	0,8
Медиана	8763,0	141,0	341,5	95,5	15,4	75,5	29,0	4,4	7,4
Минимум	4434	115	197	50	13	32	14,6	3,7	3,8
Максимум	13755	167	415	110	22	89	49	5,4	9,4
Кк	1,9	1,4	1,1	2,3	2,3	0,2	0,6	1,5	0,7

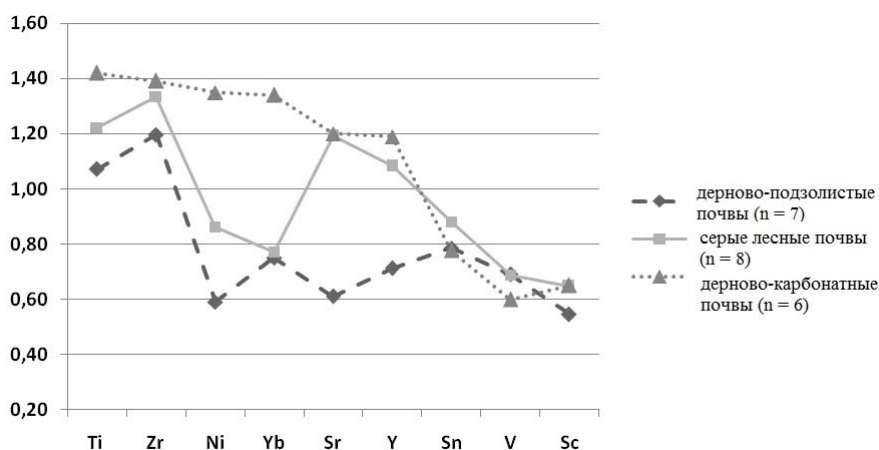


Рис. 1. Значения коэффициента радиальной дифференциации (R) для гумусовых (A₁ и A_n) горизонтов почв Удмуртии

В тяжелых по гранулометрическому составу почвах колебания содержания скандия составили: 7,4–24,0 мг/кг. Наибольшее содержание скандия выявлено в дерново-карбонатных почвах ($K_k Sc = 3,2$). Минимум приходится на легкие дерново-подзолистые почвы, здесь его содержание в 3,9 раза ниже, чем в тяжелых, при колебаниях от 2,2 до 8,0 мг/кг. Значения коэффициента радиальной дифференциации (R) показывают, что для всех видов почв типично вымывание элемента из верхней части профиля ($R < 0,7$) (рис. 1).

Пределы содержания никеля в почвах Удмуртии – 13–111 мг/кг. Среди типичных почв Удмуртии наиболее богаты никелем также дерново-карбонатные почвы ($K_k = 2,4$). Элемент аккумулируется в гумусовом горизонте данных почв ($R = 1,35$). Содержание никеля в легких дерново-подзолистых почвах в 3,5 раза ниже, чем в тяжелых и не превышает 35 мг/кг. Из дерново-подзолистых и серых лесных почв республики никель вымывается, его содержание выше в почвообразующей породе ($R < 0,9$).

Так же, как и для почвообразующих пород, для почв республики характерно значительное рассеивание стронция ($K_k Sr = 0,2$). Его содержание в почвах Удмуртии колеблется от 25 до 89 мг/кг. Наименьшие концентрации данного элемента типичны для дерново-карбонатных почв ($K_k Sr = 0,1$). Данный элемент концентрируется в верхних горизонтах дерново-карбонатных и серых лесных почв ($R = 1,2$) и вымывается из них в дерново-подзолистых почвах ($R = 0,6$).

Для остальных элементов типично незначительное концентрирование (Ti, V, Yb) или слабое рассеивание (Zr, Y и Sn), однако для разных почв республики существуют свои отличия (табл. 2).

Содержание титана в гумусовых горизонтах почв республики значительно варьирует. Эти особенности определяются разнообразием почвообразующих пород. Для легких пород диапазон колебаний титана составил 862–19845 мг/кг, тяжелые породы отличаются большей стабильностью. При этом наибольшее количество титана типично для серых лесных почв ($K_k Ti = 1,9$), а наименьшее содержание наблюдается в дерново-подзолистых почвах. По отношению к почвообразующей породе происходит концентрирование титана в гумусовом горизонте всех почв ($R = 1,1–1,4$).

Данные особенности можно отметить и для циркония: он концентрируется в гумусовых горизонтах всех типов почв ($R > 1,2$), особенно в дерново-карбонатных (рис. 1). Однако его количество в данных почвах ниже, чем в остальных ($K_k Zr = 0,8$). Максимальное содержание циркония типично для гумусовых горизонтов серых лесных почв. Пределы колебаний для почв республики составили: 98–415 мг/кг, при этом содержание в тяжелых почвах в 1,7 раза выше, чем в легких дерново-подзолистых.

Незначительно выше кларка концентрация в почвах республики ванадия ($K_k V = 1,5$). Пределы содержания ванадия в тяжелых по гранулометрическому составу почвах составили 92–223 мг/кг. Это значительно выше, чем в легких дерново-подзолистых почвах, где количество ванадия в среднем в 3,3 раза ниже и варьирует от 28 до 78 мг/кг. Максимальное содержание ванадия типично для дерново-карбонатных почв ($K_k V = 1,8$). Данный элемент не накапливается в верхней части профиля, его концентрация для всех почв выше в почвообразующей породе ($R < 0,7$).

Редкоземельный элемент Yb находится в почвах в концентрациях, близких к кларку ($K_k = 1,5$). Диапазон колебаний его содержания 1,3–10,0 мг/кг. Достоверных отличий между легкими и тяжелыми по гранулометрическому составу почвами не выявлено. Наибольшее количество иттербия отмечено в дерново-карбонатных почвах ($K_k Yb = 1,9$), в них же наблюдается аккумуляция элемента в гумусовом горизонте ($R = 1,3$). Тогда как из верхней части профиля других почв данный элемент вымывается ($R < 0,8$).

Незначительное рассеивание относительно кларка почв наблюдается в почвах республики для олова ($K_k Sn = 0,7$). Его количество в поверхностных горизонтах почв тяжелого гранулометрического состава невелико: 3,7–9,8 мг/кг. Пределы содержания для легких почв составили: 4,3–7,5 мг/кг. Отличия между данными почвами по содержанию элемента недостоверны. Наиболее богаты оловом дерново-карбонатные почвы. Содержание олова для всех исследованных типов почв выше в почвообразующей породе ($R < 0,9$).

Таким образом, среди почв с тяжелым гранулометрическим составом дерново-подзолистые почвы содержат меньше титана, никеля, олова, скандия и иттрия, по сравнению с дерново-карбонатными и серыми лесными. Эти особенности обусловлены более легким гранулометрическим составом почв подзолистого типа, а перечисленные элементы в основном приурочены к илистой фракции [14] с низким содержанием гумуса. Для дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава отмечено более низкое содержание скандия, никеля, циркония и ванадия. При этом дерново-карбонатные почвы имеют более низкие концентрации циркония и стронция, что обусловлено меньшим содержанием данных элементов в их почвообразующих породах – карбонатных суглинках и глинах (табл. 1).

По отношению к кларку почв дерново-подзолистые почвы республики содержат больше скандия ($K_k = 1,8$). Для дерново-карбонатных почв отмечено более высокое содержание скандия, никеля, иттербия, ванадия и титана ($K_k = 1,6-3,2$). Серые лесные почвы выше кларка накапливают скандий, никель и титан ($K_k = 1,9-2,3$). Активно рассеивается в почвах республики стронций ($K_k = 0,1-0,2$).

Расчет коэффициента радиальной дифференциации (R) показал, что разные почвы республики значительно отличаются по содержанию исследуемых элементов (рис. 1). В сравниваемых почвах незначительно накапливаются в гумусовом горизонте дерново-подзолистых почв лишь цирконий ($R = 1,2-1,4$) и титан ($R = 1,1-1,4$). Остальные исследованные элементы вымываются. Это связано с активным развитием процесса оподзоливания, сопровождающегося разрушением глинистых минералов и выносом из профиля продуктов их распада, со слабой биогенной аккумуляцией и невысоким содержанием гумуса. Особенно сильно обеднен поверхностный горизонт данных почв скандием, никелем, стронцием и ванадием ($R < 0,7$).

Более активная биогенная аккумуляция наблюдается в серых лесных почвах, в них аккумулируется не только титан и цирконий, но и стронций с иттрием. В дерново-карбонатных почвах в гумусовых горизонтах почв накапливается большинство элементов (6 из 9), вымывается только ванадий, скандий и олово.

Распределение исследуемых химических элементов в почвенном профиле типичных почв республики представлено в табл. 3. На основе коэффициент-радиальной дифференциации (R) построены графики распределения микроэлементов в профиле дерново-подзолистых и серых лесных почв (рис. 2 и 3).

Таблица 3

Распределение исследуемых элементов по генетическим горизонтам почв Удмуртии

Генетический горизонт	Глубина взятия образца, см	Ti	V	Zr	Ni	Sc	Sr	Y	Yb	Sn
Разрез 131. Дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая почва на покровном суглинке, подстилаемом карбонатным суглинком. Завьяловский район										
A _п	0–22	7282	142	252	56	10	56	27	12	5,2
A ₂	22–29	9240	193	313	53	10	92	31	12	4,9
B ₁	40–50	7171	232	180	94	17	78	25	7	5,7
B ₂	70–80	12464	249	279	116	20	104	28	11	7,3
C	100–110	8824	222	313	116	20	82	38	13	7,5
Разрез 132. Дерново-карбонатная слабовыщелоченная глинистая почва на карбонатном среднем суглинке. Алнашский район										
A _п	0–20	8481	223	151	151	23	63	34	10	6,3
B	20–30	9674	320	122	143	31	56	31	13	8,2
C	82–92	6779	230	115	142	22	43	22	6	7,4
Разрез 134. Серая лесная оподзоленная тяжелосуглинистая слабосмытая на покровной глине. Граховский район										
A _п	0–23	11960	151	415	95	14	89	49	4,5	6,2
A ₂ B ₁	23–33	7434	142	200	71	13	47	30	8,9	4,6
B ₁	45–55	9120	251	229	105	19	80	26	10,2	7,8
B ₂	80–90	7171	180	335	116	21	73	43	9,2	6,5
BC	133–143	6247	150	197	82	20	58	25	9,2	5,7
Разрез 147. Дерново-глеявая глинистая иловато-пылеватая на покровном суглинке. Завьяловский район										
A _п	0–25	4114	92	171	94	16	80	31	3,8	4,1
A ₁	25–35	3540	109	234	72	17	71	15	3,9	4,1
B ₁	46–56	3449	104	247	93	20	70	34	4,6	5,1
B _{2g}	71–81	3911	105	200	58	19	23	32	4,6	5,0
C _g	126–136	2303	72	234	42	19	18	21	3,5	4,3

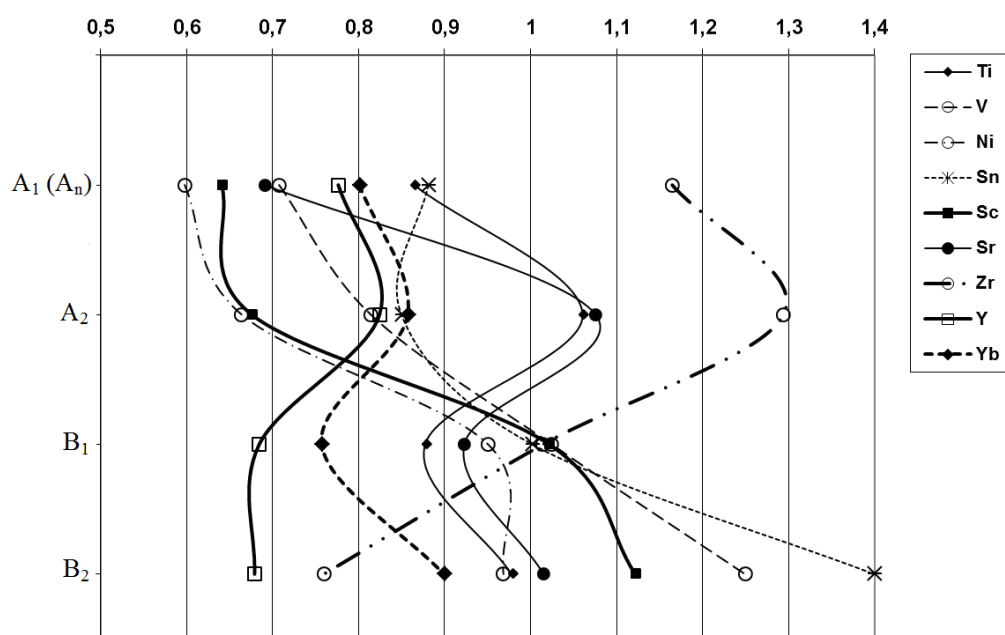


Рис. 2. Распределение микроэлементов в профиле дерново-подзолистых среднесуглинистых почв (n = 7)

Для дерново-подзолистых почв типично обеднение профиля большинством элементов (рис. 2). Элювиально-иллювиальный тип распределения с минимумом в гор. A₂ и накоплением в иллювиальных горизонтах наблюдается для скандия, никеля и олова. Максимум в иллювиальных горизонтах отмечен также для стронция, иттербия и ванадия. Гумусовый горизонт данных почв, как правило, обеднен микроэлементами, исключение составляют титан и цирконий. Это элементы-гидролизаты слабого биологического захвата [13] и для них типично накопление в верхней части профиля. Данные элементы приурочены к стойким минералам, накапливающимся в песчаной фракции [14], а дерново-подзолистые почвы республики отличаются преобладанием мелкопесчаной и крупнопылевой фракций [4].

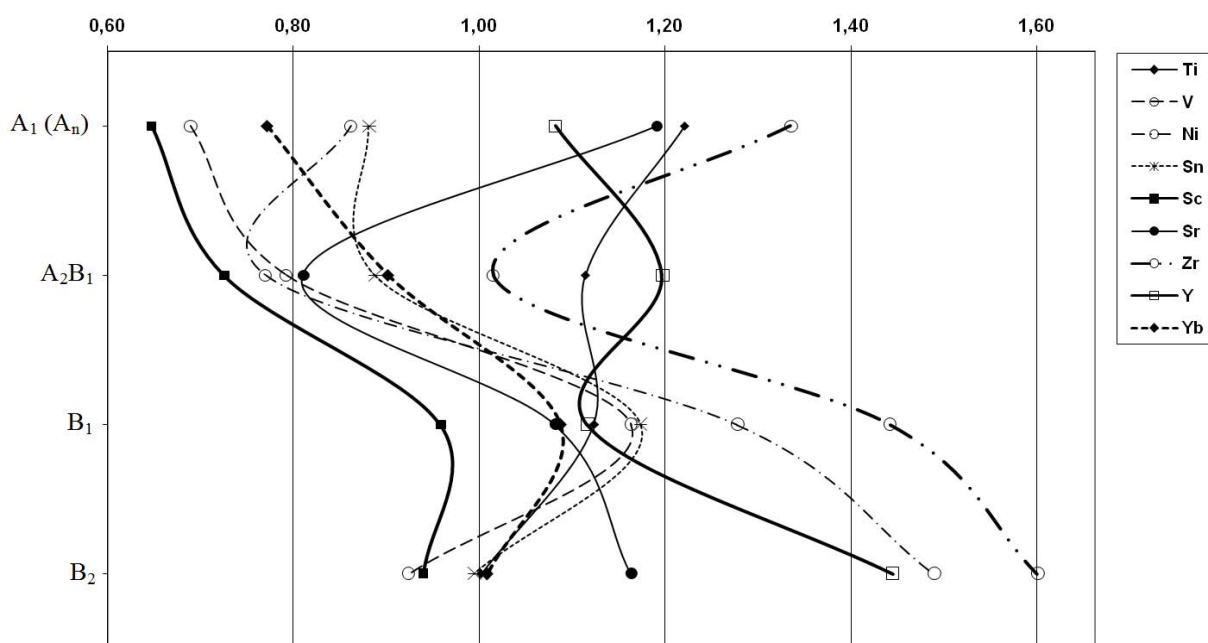


Рис. 3. Распределение микроэлементов в профиле серых лесных средне- и тяжелосуглинистых почв (n = 8)

Почвенный профиль серых лесных почв также характеризуется высокой степенью дифференциации в распределении микроэлементов (рис. 3). По сравнению с дерново-подзолистыми почвами республики для данных почв наблюдается большее содержание элементов в профиле. Только для скандия содержание в почве всегда ниже, чем в почвообразующей породе. Элювиально-иллювиальный тип распределения отмечен для циркония, стронция и никеля. Для многих элементов минимальное содержание приходится не на элювиальный, а на гумусовый горизонт. Это редкоземельные элементы – скандий, иттрий и иттербий, а также ванадий и олово. Максимум в гумусовом горизонте отмечен только для титана, что также связано с его слабой миграционной способностью.

Дерново-карбонатные и дерново-глеевые почвы не имеют столь сильно расчлененного профиля, для большинства элементов типично достаточно равномерное распределение (табл. 3).

Заключение

Таким образом, для почвообразующих пород Удмуртской Республики отмечено среднее накопление большинства элементов относительно кларка. Рассеивание типично для стронция, его содержание ниже кларка в 5 раз. Легкие почвообразующие породы Удмуртии содержат меньше скандия, ванадия, никеля, иттрия и циркония, чем тяжелые. Содержание Sn и Sc в 1,4–1,5 раза выше в карбонатных суглинках и глинах, а Y в 1,3 раза больше в выщелоченных породах.

Микроэлементный состав почвообразующих пород Удмуртии можно представить в виде ряда: Ti > Mn > V, Zr > Ni > Sr, Zn > Sc, B > Y, Cu > Co > Sn > Yb > Mo > I.

На содержание микроэлементов в почвах значительное влияние оказывает их количество в почвообразующих породах. Расчет коэффициентов корреляции показал для большинства элементов прямую зависимость. По сравнению с кларком почв в тяжелых по гранулометрическому составу почвах Удмуртии большинство исследуемых микроэлементов незначительно накапливаются, рассеивание типично только для стронция (Кк Sr = 0,2).

Дерново-подзолистые почвы Удмуртии содержат меньше титана, никеля, олова, скандия и иттрия, чем дерново-карбонатные и серые лесные почвы. При этом дерново-карбонатные почвы имеют более низкие концентрации циркония и стронция, что обусловлено меньшим содержанием данных элементов в их почвообразующих породах – карбонатных суглинках и глинах.

По сравнению с дерново-подзолистыми почвами республики, для серых лесных и дерново-карбонатных почв наблюдается большее содержание элементов в профиле. Не только элювиальный, но и гумусовый горизонт дерново-подзолистых почв значительно обеднен микроэлементами, исключение составляют титан и цирконий. Для серых лесных почв элювиально-иллювиальный тип распределения отмечен для: циркония, стронция и никеля. Для ванадия, скандия, иттрия, иттербия и олова минимальное содержание приходится на гумусовый горизонт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Изд. центр «Академия», 2003. 342 с.
2. География Удмуртии: природные условия и ресурсы: учеб. пособие. Ч. 1 / под ред. И.И. Рысина. Ижевск: Изд. дом «Удмуртский университет», 2009. 255 с.
3. Ковриго В.П. Почвы Удмуртской Республики: монография. Ижевск: РИО Ижевская ИЖГСХА, 2004. 490 с.
4. Кузнецов М.Ф. Микроэлементы в почвах Удмуртии. Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1994. 287 с.
5. Габдуллин В.М., Стурман В.И. Фоновые концентрации тяжелых металлов в поверхностном слое почв Удмуртии и основные факторы, влияющие на них // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. 2004. № 8. С. 3-16.
6. Безносков А.И., Башмаков Л.Б., Нелюбин В.Г. Содержание тяжелых металлов в пахотных почвах Удмуртской Республики: монография. Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2005. 74 с.
7. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 221 с.
8. Зырин Н.Г., Обухов А.И., Белицина Г.Д. Методические указания по спектрографическому определению микроэлементов в почве и золе растений. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1971. 105 с.
9. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015. №2. С. 7-17.
10. Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2009. 382 с.
11. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 238 с.
12. Авессоломова И.А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1987. 108 с.

13. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Высш. шк., 1966. 392 с.
14. Протасова Н.А., Щербаков А.П. Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Sr, Ba, B, I, Mo) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2003. 368 с.
15. Асылбаев И.Г., Хабиров И.К. Особенности накопления редкоземельных элементов в почвах и породах Южного Урала // *Агрохимия*. 2015. №7. С. 71-80.
16. Шакиров Ю.С. Концентрация химических элементов в почвах, породах и растениях западного, северного и северо-восточного региона республики Башкортостан: автореф. дисс... канд. биол. наук. Уфа, 2012. 23 с.

Поступила в редакцию 24.01.2020

Зыкина Наталья Григорьевна, кандидат биологических наук, доцент

E-mail: ngzykina@yandex.ru

Кузнецов Максим Филиппович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»

426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, 1 (корп. 1)

N.G. Zykina, M.F. Kusnetsov

ON BACKGROUND CONTENT OF SOME MICROELEMENTS (V, Ni, Ti, Sn, Sc, Sr, Zr, Y, Yb) IN SOILS OF UDMURTIA

DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-1-43-52

The article presents the results of a study of the gross content of a number of microelements, including rare rare-earth metals (Sc, Y, Yb), in soils and soil-forming rocks of Udmurtia. For soil-forming rocks of that area, the average accumulation of most elements relative to clarke was noted. The highest concentration was observed for tin, ytterbium, and vanadium ($K_k > 2$), while dispersion was observed only for strontium. The content of microelements in humus horizons of sod-podzolic soils is lower than in soil-forming rocks. Only zirconium and titanium accumulate slightly ($R < 1,3$). The upper horizons of gray forest soils, where Zr, Ti, Y, and Sr are accumulated, are richer. In sod-carbonate soils, 6 out of 9 elements are accumulated.

Keywords: microelements, heavy metals, scattered elements, rare-earth elements, background content.

REFERENCES

1. Dobrovolskiy V.V. *Osnovy biogeokhimii* [Fundamentals of biogeochemistry], Moscow: Akademiya Publ., 2003, 342 p. (in Russ.).
2. *Geografiya Udmurtii: prirodnye usloviya i resursy. Uchebnoe posobie. Ch. 1* [The geography of the Udmurt Republic: natural conditions and resources. Textbook. Part 1], Rysin I.I. (ed), Izhevsk: Udmurt. Gos. Univ., 2009, 255 p. (in Russ.).
3. Kovrigo V.P. *Pochvy Udmurtskoy respubliki* [Soils of the Udmurt Republic], Izhevsk: Izhevskaya Gos. Sel'skokhoz. Akademiya Publ., 2004, 490 p. (in Russ.).
4. Kusnetsov M.F. *Mikroelementy v pochvakh Udmurtii* [Trace elements in soils of the Udmurt Republic], Izhevsk: Udmurt. Gos. Univ., 1994, 287 p. (in Russ.).
5. Gabdullin V.M., Sturman V.I. [Background concentrations of heavy metals in the surface layer of Udmurtia soils and the main factors affecting them], in *Vestn. Udm. Univ. Ser. Biol. Nauki o Zemle*, 2004, no. 8, pp. 3-16 (in Russ.).
6. Beznosov A.I., Bashmakov L.B., Nelyubin V.G. *Soderzhanie tyazhelykh metallov v pakhotnykh pochvakh Udmurtskoy Respubliki* [Content of heavy metals in arable soils of the Udmurt Republic], Izhevsk: Izhevskaya Gos. Sel'skokhoz. Akademiya Publ., 2005, 74 p. (in Russ.).
7. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnostics of soils of the USSR], Moscow: Kolos Publ., 1977, 221 p. (in Russ.).
8. Zyrin N.G., Obukhov A.I., Belitsina G.D. *Metodicheskie ukazaniya po spektrograficheskomu opredeleniyu mikroelementov v pochve i zole rasteniy* [Methodological guidelines for spectrographic determination of trace elements in soil and plant ash], Moscow: Moskovskiy Univ., 1971, 105 p. (in Russ.).
9. Kasimov N.S., Vlasov D.V. [Clarkes of chemical elements as comparison standards in ecogeochemistry], in *Vestn. Mosk. Univ. Ser. 5. Geografiya*, 2015, no. 2, pp. 7-17 (in Russ.).
10. Grigor'ev N.A. *Raspreделение khimicheskikh elementov v verkhney chasti kontinental'noy kory* [Chemical element distribution in the upper continental crust]. Yekaterinburg: Institut geologii i geokhimii UrO RAN, 2009, 382 p. (in Russ.).

11. Vinogradov A.P. *Geokhimiya redkikh i rasseyannykh khimicheskikh elementov v pochvakh* [Geochemistry of rare and scattered chemical elements in soils], Moscow: AN SSSR Publ., 1957, 238 p. (in Russ.).
12. Avessolomova I.A. *Geokhimicheskie pokazateli pri izuchenii landshaftov* [Geochemical indicators for landscape studies], Moscow: Mosk. Gos Univ., 1987, 108 p. (in Russ.).
13. Perel'man A.I. *Geokhimiya landshafta* [Landscape geochemistry], Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1966, 392 p. (in Russ.).
14. Protasova N.A., Shcherbakov A.P. *Mikroelementy (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Sr, Ba, B, I, Mo) v chernozemakh i serykh lesnykh pochvakh Tsentral'nogo Chernozem'ya* [Microelements (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) in Chernozems and Grey Forest Soils within Central Chernozemic Region], Voronezh: Voronezh. Gos. Univ., 2003, 368 p. (in Russ.).
15. Asylbaev I.G., Khabirov I.K. [The Features of accumulation of rare earth elements in soils and rocks on South Ural], in *Agrokhimiya*, 2015, no.7, pp. 71-80 (in Russ.).
16. Shakirov Yu.S. [Concentration of chemical elements in soils, rocks and plants of the western, northern and north-eastern region of the Republic of Bashkortostan], Abstract of diss. Cand. Biol. Sci., Ufa, 2012, 23 p. (in Russ.).

Received 24.01.2020

Zykina N.G., Candidate of Biology, Associate Professor

E-mail: ngzykina@yandex.ru

Kuznetsov M.F., Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Udmurt State University

Universitetskaya st., 1/1, Izhevsk, Russia, 426034