

УДК 631.438(571.15)

ЕСТЕСТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ПОЧВАХ БАССЕЙНА Р. ВЕРХНИЙ АЛЕЙ (СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ АЛТАЙ)

© 2019 г. Т. А. Рождественская^{1,*}, И. А. Трошкова^{1,**}

¹ *Институт водных и экологических проблем СО РАН
656038, Барнаул, ул. Молодежная, 1, Россия*

**E-mail: rtamara@iwep.ru*

***E-mail: egorka_iren@mail.ru*

Поступила в редакцию 13.04.2018 г.

После доработки 09.06.2018 г.

Принята к публикации 10.12.2018 г.

Исследовано поведение долгоживущих радиоактивных изотопов, имеющих наибольшее геохимическое значение (^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K), в почвенном покрове бассейна р. Верхний Алей (Северо-Западный Алтай). Выявлено, что содержание естественных радионуклидов в исследованных почвах не превышало фоновых величин и определялось их количеством в почвообразующих породах. Особенно четко эта закономерность проявилась для урана и тория – средние концентрации этих элементов в почвообразующих породах и почвах практически идентичны. В большинстве профилей почв наблюдали равномерное распределение урана-238 и тория-232 и накопление калия-40 в гумусово-аккумулятивном горизонте.

Ключевые слова: естественные радионуклиды, почвы бассейна р. Верхний Алей, северо-западный Алтай.

DOI: 10.1134/S0002188119030128

ВВЕДЕНИЕ

Естественные радионуклиды (^{238}U , ^{232}Th), входящие в природные ряды распада, являются вместе с ^{40}K источником природной радиоактивности Земли, создающей в биосфере природный радиационный фон. Радиационный фон неодинаков на разных участках земной поверхности и зависит от концентрации естественных радионуклидов в подстилающих почвы породах. Уровень радиоактивности почв, создаваемый излучением естественных радионуклидов, определяется в первую очередь содержанием этих нуклидов в материнских породах. Кроме того, уровень радиоактивности почв зависит от ландшафта, климатических условий, процессов вертикальной и горизонтальной миграции в почвах, их биологической аккумуляции и т.п. [1].

Цель работы – определение фонового содержания естественных радионуклидов в почвенном покрове бассейна Верхнего Аля и изучение особенностей их поведения в почвах.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования были почвообразующие породы и наиболее распространенные в бассейне Верхнего Аля почвы – черноземы обыкновенные и южные, почвы лугового генезиса, дерново-подзолистые и болотные почвы ленточных боров.

Свойства почв определены общепринятыми в почвоведении и агрохимии методами. Естественные радиоактивные элементы (^{238}U , ^{232}Th и ^{40}K) определяли в аналитическом центре ОИГГИ СО РАН на гамма-спектрометрических установках, собранных из больших сцинтилляционных кристаллов с колодцами, защитой из свинца и регистрирующей аппаратуры – многоканальных анализаторов на основе методических разработок В.А. Боброва и А.М. Гофмана [2]. Надежность полученных аналитических данных удостоверена Аттестационным свидетельством. Погрешность – ± 1 Бк/кг. Исследование проводили в период 2009–2015 гг. в рамках государственного задания по проекту VIII.76.1.4. “Биогеохимические и почвенно-гидрологические процессы на водосборах и их влияние на формирование гидрохимическо-

го стока в природных и антропогенных ландшафтах Сибири”.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследованный регион представляет собой слабоволнистые и широкоувалистые предгорные равнины Западного Алтая с отдельными сопками и широкими долинами рек. Климат территории – резко континентальный, характеризуется небольшим количеством осадков – от 150–200 мм в год на западе до 300 мм на востоке [3, 4].

Черноземы обыкновенные сформировались в условиях плакорного положения под разнотравно-злаковой растительностью. Почвообразующие породы представлены лессовидными суглинками, местами – продуктами выветривания плотных пород. Черноземы южные формируются в условиях засушливой степи с обедненным и разреженным типчаково-ковыльным растительным покровом на лессовидных суглинках, местами – на тяжелых глинистых отложениях.

Практически все площади черноземов распашаны. Реакция среды профиля черноземов щелочная (табл. 1), содержание карбонатов достигает в отдельных разрезах 25%, гранулометрический состав суглинистый или супесчаный, преобладает фракция мелкого песка. Количество гумуса в верхнем горизонте не превышает 7%, резко уменьшается вниз по профилю; гумус, как правило, гуматного состава. Следовательно, миграция вещества в профиле почв происходит в условиях щелочной реакции среды, окислительной обстановки и мощных карбонатных систем. Тип водного режима – непромывной.

По понижениям рельефа формируются луговые почвы, характеризующиеся среднесуглинистым гранулометрическим составом и довольно высоким содержанием гумуса (табл. 2).

Дерново-подзолистые почвы формируются под сосновыми борами на древнеаллювиальных тонко- и среднезернистых песках [5]. Они составляют почвенные комплексы в структуре почвенного покрова с черноземами или каштановыми почвами.

До 90–99,5% гранулометрического состава дерново-подзолистых почв приходится на фракцию песка; доля ила редко превышает 3%, иногда эта фракция отсутствует. Поэтому даже при небольшом количестве выпадающих в степной зоне атмосферных осадков профиль почв периодически промывается, что приводит к формированию отчетливо выраженных иллювиальных горизонтов, характеризующихся накоплением окислов

железа и служащих барьером на пути миграции химических элементов.

Реакция среды в верхней части профиля слабокислая, в нижней – близкая к нейтральной (табл. 3). В отсутствие травяного яруса дерновый процесс проявляется слабо, что приводит к формированию весьма маломощного гумусового горизонта, где содержание гумуса <1%. При наличии травяного покрытия содержание органического вещества в верхних горизонтах может достигать 5% (разр. РСП-1), с глубиной его количество резко уменьшается. Емкость поглощения дерново-подзолистых почв низкая. В составе обменных оснований преобладает кальций (до 90% емкости обмена) [6]. Таким образом, разнообразие типов почвообразования, ландшафтно-геохимических условий миграции химических элементов предопределило особенности педогеохимии исследованных территорий.

Так как по гранулометрическому составу почвообразующие породы изученных черноземов относятся в основном к одной разновидности – среднесуглинистой, концентрации радионуклидов в них существенно не отличались. Достоверная зависимость содержания нуклида от гранулометрического состава почвообразующей породы выявлена только для калия-40. Коэффициент корреляции между его содержанием и количеством частиц фракции средней пыли составил 0.74 (критическая величина коэффициента равна 0.67, $P = 0.05$). В целом содержание радионуклидов в почвообразующих породах находилось на уровне фона (составляющего для урана 2–6 мг/кг [6], тория – 8 мг/кг [7]).

Выявлено, что содержание естественных радионуклидов в исследованных почвах определялось их количеством в почвообразующих породах (табл. 1–4). Особенно четко эта закономерность проявилась для урана и тория: средние концентрации этих элементов в почвообразующих породах и почвах были практически одинаковыми.

Содержание ^{238}U в дерново-подзолистых почвах было в 3.5 раза, ^{232}Th – в 3.1 раза меньше, чем в зональных почвах – черноземах, что обусловлено преобладанием в составе песков кварца, характеризующегося низкой радиоактивностью. Прочное закрепление урана и тория в почвах происходит, как правило, за счет их сорбции органическими веществами и глинистыми минералами [5], однако в исследованных почвах эти субстанции практически отсутствовали, поэтому элементы находятся, вероятно, в основном в составе первичных минералов. Процессы аккумуляции элементов из водных растворов в данных услови-

Таблица 1. Содержание, удельная активность радионуклидов и свойства черноземных почв

Генетический горизонт	Глубина образца, см	Гумус	CaCO ₃	Ил	Физическая глина		pH _{H2O}	Емкость катионного обмена	²³⁸ U (Ра)	²³² Th	K _{вал} , %	Бк/кг			Т _{1/2} для содержания
					%	г/кг						²³⁸ U (Ра)	²³² Th	⁴⁰ K	
Чернозем обыкновенный среднемощный суглинистый (правобережье Гилевского водохранилища, разр. 1)															
А	0–10	4.3	Нет	16.6	41.8	7.7	42.6	1.6	7.8	1.76	20.2	31.7	551	4.88	
Ак	30–40	2.8	1.9	16.1	36.7	8.2	41.0	1.4	6.8	1.54	17.6	27.7	482	4.86	
АВк	50–60	1.1	18.1	21.3	40.0	8.6	31.9	2.1	6.9	1.38	26.5	28.1	432	3.29	
Вк	65–75	0.6	12.4	24.3	41.7	8.6	15.2	1.6	6.1	1.25	20.2	24.8	391	3.81	
Ск	85–95	0.3	11.6	19.1	34.1	8.7	10.6	1.8	6.8	1.37	22.7	27.7	429	3.78	
Чернозем слабовыщелоченный среднемощный суглинистый на крупнопесчано-дресвянисто-суглинистом элювии (разр. 3)															
Апах	0–10	5.8		15.6	39.3	6.5	44.8	1.8	7.4	1.79	22.7	30.1	560	4.11	
А	30–40	5.8	Нет	13.4	36.6	6.9	45.6	1.7	6.8	1.50	21.4	27.7	470	4.00	
АВ	55–65	1.8		21.8	39.7	7.4	30.4	1.0	6.4	1.18	12.6	26.0	369	6.40	
В1	70–80	1.2		21.4	34.5	7.7	24.3	3.0	7.8	1.90	37.8	31.7	595	2.60	
В2к	100–110	0.3	12.7	17.1	34.6	8.6	16.7	2.7	7.2	1.39	34.0	29.3	435	2.67	
Ск	140–150	0.2	9.4	18.9	39.2	8.7	15.2	2.3	7.5	1.37	29.0	30.5	429	3.26	
СДк	160–170	0.3	20.3	20.6	53.1	8.6	20.8	2.3	8.8	1.59	29.0	35.8	498	3.83	
Чернозем обыкновенный мощный суглинистый на суглинистых оглеенных отложениях (левобережье Гилевского водохранилища, разр. 5)															
Апах	10–20	5.9	0.3	13.8	38.8	7.6	35.7	2.2	8.2	1.59	27.7	33.4	498	3.73	
Ак	40–50	4.0	3.6	16.7	36.7	8.4	37.2	1.7	6.5	1.45	21.4	26.5	454	3.82	
Ак	80–90	2.4	13.9	22.6	48.8	8.6	26.8	2.4	7.3	1.56	30.2	29.7	488	3.04	
АВк	100–110	2.9	0.1	23.9	45.0	8.5	23.8	1.6	5.7	1.37	20.2	23.2	429	3.56	
Вк	130–140	0.2	4.3	22.7	50.5	8.5	19.3	1.7	8.9	1.57	21.4	36.2	491	5.24	
ВСк	160–170	0.2	1.7	26.3	42.9	8.4	34.2	2.4	7.6	1.72	30.2	30.9	538	3.17	
Ск	190–200	0.2	–	21.4	48.3	8.4	19.3	2.6	8.8	1.87	32.8	35.8	585	3.38	
Чернозем обыкновенный среднемощный суглинистый на карбонатных суглинках (в 2 км выше Сухого Лога, разр. 10)															
Апах	0–15	3.6	2.1	9.7	34.1	8.1	19.3	2.0	8.8	1.60	25.2	35.8	501	4.40	
Ак	20–30	3.0	3.1	9.8	36.0	8.3	25.3	2.0	7.2	1.36	25.2	29.3	426	3.60	
АВк	40–50	1.2	9.1	17.6	41.2	8.4	16.4	1.9	7.8	1.73	23.9	31.7	541	4.11	
Вк	50–60	1.1	25.4	17.1	45.2	8.4	10.4	0.9	9.4	1.61	11.3	38.3	504	10.4	
Ск	80–90	0.5	13.5	16.3	41.5	8.5	17.1	2.1	8.3	1.43	26.5	33.8	448	3.95	
Ск	120–130	0.2	14.0	20.1	55.5	8.7	5.2	2.1	7.4	1.58	26.5	30.1	495	3.52	

Таблица 2. Содержание, удельная активность радионуклидов и свойства луговых почв

Генети- ческий горизонт	Глубина образца, см	Гумус	СаСО ₃	Ил	Физичес- кая глина	рН _{Н₂О}	Емкость катионного обмена	238U (Ra)		232Th		238U (Ra)	232Th	40K	Т _{1/2} в млн лет
								мг/кг	%	мг/кг	%				
Луговая солончаковая суглинистая на озерных отложениях (берег оз. Соленого, разр. РСП-3)															
A	0-5	-	-	8.5	24.2	7.3	-	1.9	6.6	23.9	26.9	1.77	554	3.47	
	5-10	-	-	13.3	26.9	7.3	-	2.3	7.8	29.0	31.7	1.99	623	3.39	
	10-15	-	-	6.6	25.4	7.5	-	2.4	8.8	30.2	35.8	2.03	635	3.67	
	15-20	-	-	7.2	24.3	7.8	-	1.7	8.2	21.4	33.4	2.05	642	4.82	
ABк	20-25	-	-	8.4	23.9	8.2	-	1.8	8.0	22.7	32.6	2.18	682	4.44	
	25-30	-	-	8.6	24.9	8.4	-	1.8	7.3	22.7	29.7	2.19	685	4.06	
	30-35	-	-	9.2	24.6	8.2	-	2.2	6.4	27.7	26.0	1.88	588	2.91	
	35-40	-	-	9.1	31.6	8.2	-	1.7	6.3	21.4	25.6	1.76	551	3.71	
	55-65	-	-	17.0	32.1	8.6	-	2.3	7.4	29.0	30.1	1.86	582	3.22	
	75-85	-	-	18.1	30.3	8.7	-	2.2	7.4	27.7	30.1	1.75	548	3.36	
Ск	100-110	-	-	7.0	15.2	9.0	-	1.9	7.1	23.9	28.9	1.57	491	3.74	
Луговая солончаковая среднемогучая суглинистая (в 200 м от заболоченного массива Алейской степи, разр. РСП-6)															
Алер. к	0-5	-	-	12.5	34.7	8.2	-	2.2	7.0	27.7	28.5	2.11	660	3.18	
А к	5-10	-	-	13.2	37.7	8.2	-	2.3	8.0	29.0	32.6	2.24	701	3.48	
	10-15	-	-	9.5	29.7	8.0	-	2.3	8.7	29.0	35.4	2.20	689	3.78	
	15-20	-	-	18.1	43.7	8.2	-	2.1	7.8	26.5	31.7	1.93	604	3.71	
ABк	20-25	-	-	19.8	39.4	8.3	-	2.1	8.6	26.5	35.0	2.14	670	4.10	
	25-30	-	-	21.4	36.8	7.4	-	2.2	7.6	27.7	30.9	1.90	595	3.45	
	30-35	-	-	24.8	40.8	8.5	-	2.2	7.7	27.7	31.3	1.97	617	3.50	
ABк	35-40	-	-	25.2	42.4	8.7	-	2.3	9.9	29.0	40.3	2.31	723	4.30	
Вк	60-70	-	-	25.9	48.6	-	-	2.5	8.2	31.5	33.4	1.73	541	3.28	
ВСк	90-100	-	-	25.6	40.7	8.9	-	2.6	8.5	32.8	34.6	1.72	538	3.27	
Ск	120-130	-	-	25.4	41.5	8.3	-	2.5	8.2	31.5	33.4	1.73	541	3.28	
Луговая суглинистая солончаковая (разрез РСП-7)															
Алер	0-7	9.8	Нет	10.6	32.1	7.5	-	1.8	7.7	22.7	31.3	2.03	635	4.28	
А	10-20	3.9	-	10.5	26.0	8.0	-	2.4	9.2	30.2	37.4	2.22	695	3.83	
А	22-32	3.0	0.8	15.1	31.3	8.2	-	2.0	7.4	25.2	30.1	2.15	673	3.70	
ABк	40-50	2.4	3.2	16.5	35.4	8.8	-	2.7	8.5	34.0	34.6	2.08	651	3.15	
В1	53-63	2.1	2.2	19.4	39.5	9.0	-	2.7	9.7	34.0	39.5	2.39	748	3.59	
В2	70-89	-	10.1	20.4	33.5	9.4	-	2.3	8.8	29.0	35.8	1.93	604	3.83	
Ск	125-135	-	5.9	11.5	18.3	9.7	-	1.7	6.6	21.4	26.9	1.76	551	3.88	

Таблица 3. Содержание, удельная активность радионуклидов и свойства дерново-подзолистых почв

Генети- ческий горизонт	Глубина образца, см	Гумус	СаСО ₃	Ил	Физи- ческая глина	рН _{Н₂О}	Емкость катионного обмена	238U (Ra)		232Th	K _{вал} , %	238U (Ra)		232Th	40K	Th : U соотно- шение
								мг/кг	%			мг/кг	Бк/кг			
Дерново-подзолистая песчаная на песчаных отложениях (2 км на северо-запад от с. Ракиты, разр. РСП-1)																
А ₀	0-1.5	-	-	-	-	-	-	0.2	1.9	0.36	2.5	7.7	113	9.50		
Адер	1.5-6.5	-	-	-	-	-	-	0.8	3.2	1.78	10.1	13.0	557	4.00		
А	6.5-11.5	4.5	Нет	2.5	4.9	6.6	7.0	0.5	2.2	1.89	6.3	9.0	592	4.40		
А1А2	11.5-16.5	3.8		2.0	4.4	6.1	8.6	0.5	2.3	2.23	6.3	9.4	698	4.60		
А ₂ В	21.5-26.5	1.3		0.0	3.8	6.3	5.3	0.3	2.3	2.22	3.8	9.4	695	7.67		
В ₁	35-45	3.1		1.1	3.8	6.5	7.0	0.4	2.4	2.22	5.0	9.8	695	6.00		
В ₂	55-65	2.5		2.7	3.8	7.0	5.3	0.5	2.3	2.25	6.3	9.4	704	4.60		
В ₃	90-100	0.5		2.7	4.1	6.8	8.8	0.4	2.3	2.17	5.0	9.4	679	5.75		
В ₄	115-125	-		0.7	3.4	6.9	1.8	0.6	2.2	2.15	7.6	9.0	673	3.67		
В _С	140-150	-		2.0	4.5	6.9	5.3	0.3	2.0	2.04	3.8	8.1	639	6.67		
	170-180	-		1.0	1.7	6.9	5.3	0.4	2.3	2.22	5.0	9.4	695	5.75		
Боровая дерновая песчаная (1.5 км от с. Ляпуниха на юго-восток, разр. РСП-13)																
А ₀	0-3	1.9	Нет	-	-	-	-	1.0	2.1	0.21	12.6	8.5	66	2.10		
Адер	3-9	0.3		3.4	7.6	5.3	27.5	0.7	2.9	1.54	8.8	11.8	482	4.14		
А	10-20	0.1		1.8	4.0	5.8	12.8	0.4	2.2	1.64	5.0	9.0	513	5.50		
В	35-45	0.0		2.2	4.0	6.6	12.8	0.7	1.8	1.65	8.8	7.3	516	2.57		
В _С	90-100	-		0.0	2.0	7.0	9.2	0.3	1.9	1.71	3.8	7.7	535	6.33		
С	160-170	-		0.5	3.8	7.1	-	0.9	2.2	1.69	11.3	9.0	529	2.44		
Дерновая боровая (5 км от с. Угловское по направлению на с. Ракиты, разр. РСП-15)																
А ₀	0-1	0.6	Нет	-	-	-	-	1.6	1.7	Следы	20.2	6.9	Следы	1.06		
А	1-11	0.1		0.0	3.2	6.4	9.2	0.5	2.0	1.61	6.3	8.1	504	4.00		
А1А2	20-30	0.0		0.0	1.3	6.4	12.8	0.3	2.5	1.68	3.8	10.2	526	8.33		
В	50-60	-		0.0	2.1	7.0	7.3	0.5	2.3	1.92	6.3	9.4	601	4.60		
С	150-160	-		0.0	1.6	7.0	5.5	0.6	2.4	1.88	7.6	9.8	588	4.00		
Дерново-подзолистая на песчаных отложениях (1 км на запад от с. Топольное, разр. РСП-16)																
А ₀	0-5	0.9	Нет	-	-	-	-	2.6	3.2	0.35	32.8	13.0	110	1.23		
Адер	5-9	0.1		0.1	2.1	6.4	18.3	1.1	3.9	2.52	13.9	15.9	789	3.55		
А1А2	9-19	0.0		0.0	1.9	6.0	12.8	0.6	2.9	1.74	7.6	11.8	545	4.83		
А2В	25-35	0.0		0.0	1.3	6.8	11.0	0.6	2.8	1.86	7.6	11.4	582	4.67		
В	50-60	-		0.0	3.3	6.9	12.8	0.8	2.5	1.76	10.1	10.2	551	3.13		
В _С	90-100	-		1.2	1.9	7.2	11.0	0.6	3.1	1.66	7.6	12.6	520	5.17		
С	130-140	-		0.0	1.8	7.3	11.0	0.7	3.3	1.82	8.8	13.4	570	4.71		
А2В	45-55	-		0.0	0.4	6.7	14.7	0.2	2.6	1.47	2.5	10.6	460	13.0		
В	65-75	-		0.0	1.5	6.6	5.5	0.7	3.1	1.64	8.8	12.6	513	4.43		
В _С	90-100	-		0.0	0.4	6.7	12.8	0.8	3.3	1.82	10.1	13.4	570	4.13		
С	160-170	-		6.9	26.3	6.8	11.0	0.6	2.4	1.59	7.6	9.8	498	4.00		

Таблица 4. Вариационно-статистические параметры содержания и удельной активности радионуклидов в почвах

Горизонт	²³⁸ U (Ra)	²³² Th	K _{вал} , %	²³⁸ U (Ra)	²³² Th	⁴⁰ K
	мг/кг			Бк/кг		
Черноземы						
A, AB	<u>0.8–3.6</u> 2.0 ± 0.1	<u>4.1–10.3</u> 7.4 ± 0.2	<u>0.89–2.25</u> 1.71 ± 0.04	<u>10.1–49.1</u> 25.2 ± 0.8	<u>16.7–48.4</u> 30.1 ± 0.7	<u>279–704</u> 535 ± 12
B	<u>0.8–4.0</u> 2.1 ± 0.1	<u>3.9–9.9</u> 7.6 ± 0.2	<u>0.70–2.24</u> 1.50 ± 0.05	<u>10.1–50.4</u> 26.5 ± 1.2	<u>15.9–40.3</u> 30.9 ± 0.8	<u>219–701</u> 470 ± 15
BC, C	<u>0.5–3.1</u> 2.1 ± 0.1	<u>1.5–10.9</u> 7.3 ± 0.4	<u>0.45–2.40</u> 1.47 ± 0.07	<u>6.3–39.1</u> 26.5 ± 1.4	<u>6.1–44.4</u> 29.7 ± 1.5	<u>14–751</u> 460 ± 21
Профиль в целом	<u>0.5–4.0</u> 2.1 ± 0.1	<u>1.5–10.9</u> 7.4 ± 0.1	<u>0.45–2.40</u> 1.59 ± 0.03	<u>6.3–50.4</u> 26.5 ± 0.7	<u>6.1–44.4</u> 30.1 ± 0.5	<u>141–751</u> 498 ± 9
Луговые почвы						
A, AB	<u>1.7–2.7</u> 2.1 ± 0.1	<u>6.6–9.9</u> 8.3 ± 0.1	<u>1.77–2.57</u> 2.14 ± 0.03	<u>21.4–34</u> 26.5 ± 0.5	<u>26.9–40.3</u> 33.8 ± 0.6	<u>554–804</u> 671 ± 9
B	<u>1.7–2.7</u> 2.3 ± 0.1	<u>6.3–9.7</u> 7.8 ± 0.4	<u>1.73–2.39</u> 1.90 ± 0.07	<u>21.4–34.0</u> 28.5 ± 1.3	<u>25.6–39.5</u> 31.6 ± 1.6	<u>542–748</u> 596 ± 23
BC, C	<u>1.7–2.6</u> 2.2 ± 0.2	<u>6.6–8.5</u> 7.8 ± 0.4	<u>1.57–1.87</u> 1.73 ± 0.05	<u>21.4–32.8</u> 27.7 ± 2.2	<u>26.9–34.6</u> 31.6 ± 1.6	<u>491–585</u> 541 ± 15
Профиль в целом	<u>1.7–2.7</u> 2.1 ± 0.1	<u>6.3–9.9</u> 8.1 ± 0.1	<u>1.57–2.57</u> 2.06 ± 0.03	<u>21.4–34.0</u> 27.0 ± 0.5	<u>25.6–40.3</u> 33.2 ± 0.5	<u>491–804</u> 643 ± 10
Дерново-подзолистые почвы						
A ₀	<u>0.2–2.6</u> 1.4 ± 0.4	<u>1.7–5.1</u> 2.7 ± 0.5		<u>2.5–32.8</u> 17.7 ± 4.5	<u>6.9–20.8</u> 10.9 ± 2.2	<u>Следы–379</u> 155 ± 57
A	<u>0.2–1.1</u> 0.6 ± 0.1	<u>1.7–3.9</u> 2.5 ± 0.1		<u>2.5–13.9</u> 7.1 ± 0.5	<u>6.9–15.9</u> 10.0 ± 0.4	<u>460–789</u> 561 ± 14
B	<u>0.3–0.8</u> 0.5 ± 0.1	<u>1.4–3.1</u> 2.3 ± 0.1		<u>3.8–10.1</u> 6.8 ± 0.6	<u>5.7–12.7</u> 9.2 ± 0.6	<u>460–704</u> 575 ± 21
BC, C	<u>0.3–0.9</u> 0.6 ± 0.1	<u>1.9–3.3</u> 2.6 ± 0.2		<u>3.8–11.3</u> 7.7 ± 0.9	<u>7.7–13.4</u> 10.6 ± 0.8	<u>498–695</u> 563 ± 22
Профиль в целом (без A ₀)	<u>0.2–1.1</u> 0.6 ± 0.01	<u>1.4–3.9</u> 2.4 ± 0.1		<u>2.5–13.9</u> 7.1 ± 0.4	<u>5.7–15.9</u> 9.9 ± 0.3	<u>460–789</u> 565 ± 10

Примечание. Над чертой – пределы изменения, под чертой – среднее ± ошибка среднего.

ях маловероятны. Удельная активность ⁴⁰K, напротив, в дерново-подзолистых почвах была несколько больше по сравнению с зональными.

Достоверных различий в концентрации радионуклидов в разных почвенных горизонтах не выявлено ни в одном из типов почв. Отмечена лишь тенденция к аккумуляции элементов в горизонтах, обогащенных органическим веществом, а также в иллювиальных горизонтах некоторых почвенных разрезов. Накопление в верхних горизонтах почв наиболее характерно для калия, относящегося к важным биогенным элементам, в геохимии которых первостепенное значение име-

ет биологический круговорот [8]. Определенную роль в ограничении миграции элемента, характеризующегося довольно высокой подвижностью в водных растворах, вниз по профилю и за его пределы играет и непромывной водный режим. Гумусовые горизонты луговых почв, характеризующихся большей продуктивностью по сравнению с черноземами, отличались достоверно более высоким содержанием этого нуклида.

О тенденции к накоплению тория в горизонтах с большим содержанием карбонатов либо на их верхней границе свидетельствовали не только повышенные абсолютные величины содержания

элемента, но и более широкое торий-урановое соотношение в этих горизонтах (табл. 1, разр. 10), которое обычно в горных породах близко к 3-м.

Так как миграционная способность ^{232}Th очень низкая (при щелочной реакции элемент в почвенном растворе отсутствует вследствие сорбции), более высокое, чем в почвообразующих породах, торий-урановое соотношение указывало на вынос урана как подвижного в данных условиях (щелочной реакции среды почвенного раствора) элемента за пределы почвенного профиля. Содержание исследованных элементов находилось на уровне кларка в почвах (3.0–5.1 мг/кг для урана и 4–16 мг/кг для тория [9]). Удельная активность ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K в карбонатных почвах была близка данным для черноземов – 26, 44 и 500 Бк/кг соответственно [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, разные типы почв наследуют уровень концентраций естественных радионуклидов почвообразующего материала. В большинстве профилей почв отмечено равномерное распределение урана-238 и тория-232 и накопление калия-40 параллельно валовому калию в гумусово-аккумулятивном горизонте. Содержание элементов в почвенном покрове бассейна р. Верхний Алей не превышало фоновых величин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дричко В.Ф., Крисюк Б.Э., Тавникова И.Г. Частотное распределение концентраций радия-226, тория-228 и калия-40 в различных почвах // Почвоведение. 1977. № 9. С 75–80.
2. Бобров В.А., Гофман А.М. Лабораторный гамма-спектрометрический анализ естественных радиоактивных элементов: Метод. разработки. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1971. 68 с.
3. Агроклиматические ресурсы Алтайского края. Л.: Гидрометеоздат, 1971. 155 с.
4. Агроклиматический справочник по Кулундинской группе районов Алтайского края (Бурлинский, Славгородский, Табунский, Кулундинский, Ключевской, Михайловский, Волчихинский, Угловский). Новосибирск, 1969. 88 с.
5. Рачкова Н.Г., Шуктомова И.И., Таскаев А.И. Состояние в почвах естественных радионуклидов урана, радия и тория (обзор) // Почвоведение. 2010. № 6. С. 698–705.
6. Евтеева Л.С., Перельман А.И. Геохимия урана в зоне гипергенеза. М.: Атомиздат, 1962. 239 с.
7. Ковальский В.В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. 299 с.
8. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высш. шк., 1989. 528 с.
9. Баранов В.И., Морозова Н.Г. Радиоактивные методы и их применение в исследованиях почв // Физико-хим. методы исслед-я почв. М.: Наука, 1966. С. 5.
10. Почвоведение. Учеб. для ун-тов. Ч. 1. / Под ред. Ковды В.А., Розанова Б.Г. М.: Высш. шк., 1988. 400 с.

Natural Radionuclides in Soils of Upper Aley River Basin (North-Western Altai)

T. A. Rozhdestvenskaya^{a,#} and I. A. Troshkova^{a,##}

^a Institute for Water and Environmental Problems SB RAS
ul. Molodezhnaya 1, Barnaul 656038, Russia

[#]E-mail: rtamara@iwep.ru

^{##}E-mail: egorka_iren@mail.ru

The behavior of long-lived radioactive isotopes having the greatest geochemical value (^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K) in the soil cover of the Upper Alei basin (North-Western Altai) was studied. It was found that the concentration of natural radionuclides in the studied soils did not exceed the background values and was determined by their content in parent rocks. This consistent pattern was especially clearly manifested for uranium and thorium – the average concentrations of these elements in soil-forming rocks and soils were almost identical. An uniform distribution of uranium-238 and thorium-232 and accumulation of potassium-40 in the humus-accumulative horizon were observed in most soil profiles.

Key words: natural radionuclides, soils of Upper Alei river basin, North-Western Altai.