

УДК 550.47: 550+424

DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-2-54-62

**К ВОПРОСУ О РОЛИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИИ  
ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ  
ОСТРОВОВ РЕКИ ЕНИСЕЙ (БЛИЖНЯЯ ЗОНА ВЛИЯНИЯ  
КРАСНОЯРСКОГО ГХК)**

**TO THE QUESTION ON THE ROLE OF VEGETATION IN REDISTRIBUTION  
OF TECHNOGENIC RADIONUCLIDES IN ALLUVIAL DEPOSITS OF ISLANDS  
OF THE YENISEY RIVER (THE NEAR-FIELD INFLUENCE ZONE OF  
KRASNOYARSK MCE)**



**А. В. Чугуевский,**  
Институт геологии и  
минералогии  
им. В. С. Соболева  
СО РАН, г. Новосибирск  
chuguevsky@igm.nsc.ru

**A. Chuguevsky,**  
Institute of Geology and  
Mineralogy named after  
V. S. Sobolev SB RAS,  
Novosibirsk



**М. С. Мельгунов,**  
Институт геологии и  
минералогии  
им. В. С. Соболева  
СО РАН, г. Новосибирск  
mike@igm.nsc.ru

**M. Melgunov,**  
Institute of Geology and  
Mineralogy named after  
V. S. Sobolev SB RAS,  
Novosibirsk



**И. В. Макарова,**  
Институт геологии и  
минералогии  
им. В. С. Соболева  
СО РАН, г. Новосибирск  
makarova@igm.nsc.ru

**I. Makarova,**  
Institute of Geology and  
Mineralogy named after  
V. S. Sobolev SB RAS,  
Novosibirsk



**М. Ю. Кропачева,**  
Институт геологии и  
минералогии  
им. В. С. Соболева  
СО РАН, г. Новосибирск  
marya@igm.nsc.ru

**M. Kropatcheva,**  
Institute of Geology and  
Mineralogy named after  
V. S. Sobolev SB RAS,  
Novosibirsk

Отмечено, что в результате многолетней деятельности Красноярского горно-химического комбината (ГХК) (г. Железногорск), одного из предприятий ядерно-топливного цикла, пойма р. Енисей подверглась значительному загрязнению техногенными радионуклидами (ТРН). С начала 2000-х гг. ведется интенсивное изучение накопления долгоживущих ( $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) и короткоживущих ( $^{141,144}\text{Ce}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ) изотопов водными растениями и животными. Указано, что изучение растений береговой зоны, которые подвергаются затоплению во время паводков, к настоящему времени проведено недостаточно полно.

На примере осоки (*Carex L.*) рассмотрен возможный вклад наземной растительности в повторную миграцию гамма-излучающих ТРН из загрязненных почв поймы реки Енисей в ближней зоне влияния комбината.

Изучен характер накопления ТРН растениями береговой зоны в зависимости от гидрологического режима реки. Отмечено, что при прохождении паводка загрязнение ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ) связано с тонкодисперсной взвесью, осаждаемой на поверхности осоки. В отсутствие затопления происходит избирательное накопление  $^{137}\text{Cs}$  разными частями осоки с возрастанием его удельных содержаний в ряду «опад — старые листья — стебли — молодые листья — колосья». Выявлено, что накопленный растениями  $^{137}\text{Cs}$  активно выносится в водную фазу при отмирании растений в результате воздействия паводковых вод. Лабораторными экспериментами установлено, что в течение первых суток такого воздействия в раствор выносятся 60...70 % накопленного  $^{137}\text{Cs}$ , в течение 19 суток — до 80 %. На примере одного из островов оценено количество  $^{137}\text{Cs}$ , вовлекаемого ежегодно во вторичный перенос в результате жизнедеятельности растений

**Ключевые слова:** техногенные радионуклиды;  $^{137}\text{Cs}$ ;  $^{152}\text{Eu}$ ;  $^{60}\text{Co}$ ; водная миграция; почва; растения; *Carex L.*; распределение в биомассе; вторичное перераспределение; Красноярский ГХК; Енисей

As a result of long-term activity of the Krasnoyarsk mining and chemical enterprise (MCE) (Zheleznogorsk), one of the enterprises of the nuclear fuel cycle, the Yenisei River floodplain was significantly contaminated with artificial radionuclides (AR). Since the beginning of 2000-ies an intensive study of the accumulation of long-lived ( $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) and short-lived ( $^{141,144}\text{Ce}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ) isotopes of aquatic plants and animals was conducted. At the same time, the study of coastal zone plants, which are the subject to flooding during floods, has not been carried out sufficiently to date.

In this article, on the example of the sedges (*Carex L.*) the possible contribution of the ground vegetation in the re-migration of gamma-emitting AR from contaminated soils of the Yenisei River floodplain in the near zone of influence of the plant is considered.

The nature of accumulation of AR by plants of the coastal zone, depending on the hydrological regime of the river, is studied. The passage of flood pollution ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ) is associated with fine suspension deposited on the surface of sediment. In the absence of flooding occurs selective accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  in different parts of the sedge with the increase of its specific contents in a series of "grass litter – old leaves – stems – young leaves – heads". It was found that  $^{137}\text{Cs}$ , accumulated by plants, is actively carried into the aqueous phase during the death of plants as a result of the impact of flood waters. Laboratory experiments have established that during the first day of such exposure 60...70 % of the accumulated  $^{137}\text{Cs}$  is carried into the solution, within 19 days – up to 80 %. On the example of one of the islands the quantity of  $^{137}\text{Cs}$ , involved annually in secondary transport as a result of vital activity of plants, is estimated

**Key words:** artificial radionuclides;  $^{137}\text{Cs}$ ;  $^{152}\text{Eu}$ ;  $^{60}\text{Co}$ ; water migration; soil; plants; *Carex L.*, distribution on biomass; secondary redistribution; Krasnoyarsk mining and chemical enterprise; Yenisei River

**Введение.** В результате деятельности Красноярского горно-химического комбината (ГХК), пойма р. Енисей, особенно в ближней зоне влияния ( $\approx 0-18$  км от места сброса) подверглась значительному загрязнению техногенными радионуклидами (ТРН) [5; 9–13]. На загрязненных участках аллювиальные отложения содержат высокие концентрации  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и изотопов плутония. В водных растениях наряду с перечисленными долгоживущими изотопами до 2010 г. (остановки последнего прямого реактора) фиксировались короткоживущие  $^{141,144}\text{Ce}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$  [2; 5; 7].

В работе Ф. В. Сухорукова с соавторами [5] показано, что все формы нахождения ТРН, определяющие их сохранность в аллювиальных почвах, препятствуют их переходу в водные растворы. Основные запасы ТРН, поступившие в р. Енисей в результате деятельности ГХК, прочно депонированы в почвах и донных осадках, и их водная миграция возможна только в составе взвесей. Вместе с тем, по некоторым данным [19], в пробах воды р. Енисей, даже в дальней зоне влияния ГХК, фиксируется

$^{137}\text{Cs}$ . Этот факт может быть обусловлен либо продолжающимся сбросом ГХК, либо повторной миграцией  $^{137}\text{Cs}$  из загрязненных аллювиальных отложений. Еще одним источником его в воде может быть растительность, произрастающая на загрязненной территории. В сходных по проблематике регионах (территории, подвергшиеся загрязнению в результате аварии на ЧАЭС, зона влияния комбината «Маяк») отмечается значительное накопление  $^{137}\text{Cs}$  в растениях [15; 17; 18].

На примере одного из островов, расположенных в ближней зоне влияния ГХК, нами проведена оценка возможного вклада растительности береговой зоны в процесс вторичного перераспределения радионуклидов. Выбор объекта обусловлен несколькими причинами. Во-первых, именно в ближней зоне представлен весь спектр радионуклидов, концентрация которых здесь достаточно высока, чтобы проводить аналитические работы с высокой степенью достоверности. Во-вторых, несмотря на то, что в рассматриваемом районе с начала 2000-х гг. ведется интенсивное изучение накопления радионуклидов водными

растениями и животными [2; 6–8], работы по изучению растений береговой зоны, которые подвергаются затоплению во время паводков, к настоящему времени проведены недостаточно полно [16].

**Методология и методика исследования.** В качестве полигона выбрана коса Атамановская (сейчас это остров), расположенная вблизи правого берега реки Енисей, в 5 км ниже сброса радиоактивных вод (рис. 1). В весенне-осенний период коса покрыта густым травостоем, главным образом осокой (*Carex L.*). Ежегодно с мая по август она эпизодически подвергается затоплению в результате прохождения паводковых вод и сбросов Красноярской ГЭС.

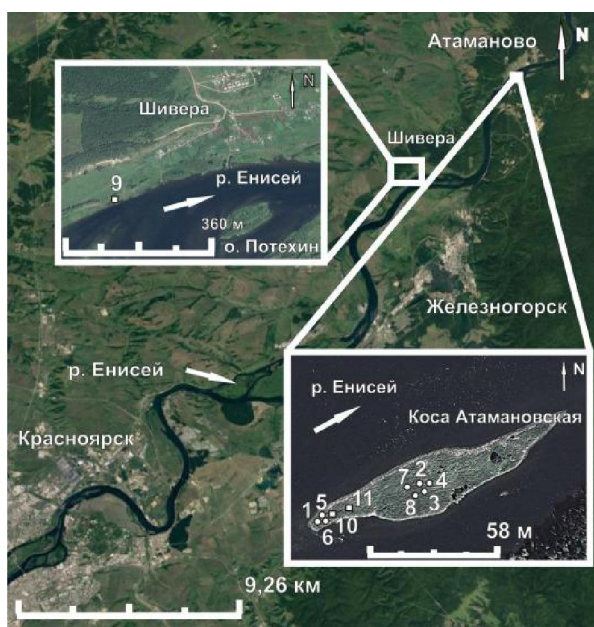


Рис. 1. Район проведения исследований с указанием точек опробования (1 – M1; 2 – M2-1; 3 – M2-2; 4 – M3; 5 – E01-05-1; 6 – E01-05-2; 7 – E02-05-1; 8 – E02-05-2; 9 – E282; 10 – E283; 11 – E286) / Fig. 1. The location of the study area indicating test points (1 – M1; 2 – M2-1; 3 – M2-2; 4 – M3; 5 – E01-05-1; 6 – E01-05-2; 7 – E02-05-1; 8 – E02-05-2; 9 – E282; 10 – E283; 11 – E286)

Отбор проб осоки осуществлялся на участках, подвергавшихся затоплению в 2004 г. (рис. 1, точки 1–4), и на участках, не подвергавшихся затоплению в 2005 г. (рис. 1, точки 5–8) и 2007 г. (рис. 1, точки 10, 11). В 2007 г. на территории, не

подверженной воздействию сточных вод комбината (рис. 1, точка 9), проведён отбор фоновых проб осоки и подстилающих почв.

При пробоотборе наземная часть растений полностью срезалась с фиксированной площади. В случаях, когда это возможно, материал разделялся на части (опад, стебли, молодые листья, подсохшие листья, колосья), в других – анализировался целиком. Перед анализом пробы высушивались до воздушно-сухого состояния. С целью снижения порога обнаружения ТРН пробы 2004–2005 гг. озолены в муфеле при температуре 450 °С. Пробы, отобранные в 2007 г., не озолялись ввиду их участия в лабораторном эксперименте.

В месте отбора проб осоки в 2007 г. проведено опробование подстилающих почв по стандартизованной методике [5], состоящей в послойном (по 5 см) отборе почвенного разреза на всю его глубину до подстилающих пород (рис. 1, точки 9–11).

Определение содержаний гамма-излучающих ТРН в золе растений проводилось методом высокоразрешающей полупроводниковой гамма-спектрометрии с использованием НРСе колодезного коаксиального полупроводникового детектора (ППД) (предел обнаружения 0,01 Бк, разрешение по гамма-линии 1332,5...2,1 кэВ).

Определение содержаний гамма-излучающих ТРН в пробах почвы и неозолненных пробах осоки проводилось в сосуде Маринелли на коаксиальном Ge(Li) ППД ДГДК – 200 (предел обнаружения 0,2 Бк, разрешение по гамма-линии 1332,5...2,6 кэВ).

**Результаты исследования и их обсуждение.** В табл. 1 приведены результаты измерения содержания ТРН в подстилающих почвах на фоновом (рис. 1, точка 9) и загрязненном (рис. 1, точки 10, 11) участках.

В фоновой пробе содержится только <sup>137</sup>Cs, обусловленный глобальными выпадениями. В пробах, отобранных на косе Атамановской, фиксируются все характерные для ближней зоны влияния ГХК ТРН [5; 9–13]. По всему разрезу присутству-

ют  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ . Доминирующую роль при этом играют первые два изотопа, активность которых достигает нескольких тысяч Бк/кг. Большой разброс значений

свидетельствует о широком распространении на изучаемой территории «горячих» частиц различных типов [1; 3; 4; 9].

Таблица 1 / Table 1

Содержание ТРН в подстилающей почве (рис. 1, точки 9–11, 2007) / Concentrations of artificial radionuclides selected in the underlying soil (fig. 1, points 9–11, 2007)

Образец / Sample	Бк/кг / Bq/kg,				Образец / Sample	Бк/кг / Bq/kg,			
	$^{152}\text{Eu}$	$^{154}\text{Eu}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{60}\text{Co}$		$^{152}\text{Eu}$	$^{154}\text{Eu}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{60}\text{Co}$
E282/1			6		E286/1	556	98	193	531
E282/2			17		E286/2	96	20	510	3793
E282/3			8		E286/3	1534	229	644	161
E282/4			1		E286/4	847	178	461	404
E283/1	125	н.о.	486	1046	E286/5	372	74	262	166
E283/2	51	13	203	90	E286/6	1494	430	455	270
E283/3	332	54	335	136	E286/7	2625	774	285	169
E283/4	658	84	295	199	E286/8	3003	678	444	75
E283/5	273	72	293	350	E286/9	358	67	206	120
E283/6	1032	151	292	87	E286/10	1664	357	1839	245
E283/7	1559	423	340	631	E286/11	2142	701	234	217
E283/8	7284	1880	360	891	E286/12	1388	211	2024	212
E283/9	2061	449	344	243	E286/13	3585	998	282	332
E283/10	4938	951	944	204	E286/14	800	99	556	79
E283/11	2547	601	427	118	E286/15	856	176	2197	97
					E286/16	1815	310	675	169

Содержание ТРН в пробах растений, отобранных в 2004 г. на участке, подвергнувшемся затоплению во время 10-дневного паводка, приведено в табл. 2. В золе растений присутствуют все наиболее распространенные радионуклиды, характерные для ближней зоны влияния ГХК, в соотношении, типичном для вмещающих

почв. Обнаружение в двух пробах короткоживущего изотопа  $^{65}\text{Zn}$  говорит о продолжавшемся на время опробования поступлении радиоактивных отходов в экосистему р. Енисей. По всей видимости, это загрязнение связано с тонкодисперсной взвесью, принесенной паводковыми водами и осаждаемой на поверхности растений.

Таблица 2 / Table 2

Содержание ТРН в осоке, собранной на территории, подвергшейся воздействию паводка (рис. 1, точки 1–4, 2004 г.) / Concentrations of artificial radionuclides in the sedge, selected on flooded area (fig. 1, points 1–4, 2004)

Образец / Sample	Бк/кг, зола / Bq/kg, ash				Бк/кг, сухая масса / Bq/kg, air-dry weight			
	$^{152}\text{Eu}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{65}\text{Zn}$	$^{60}\text{Co}$	$^{152}\text{Eu}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{65}\text{Zn}$	$^{60}\text{Co}$
M1 (стебли / stems)	310	140	330	620	25	12	28	52
M2-1, (стебли / stems)	230	270		300	55	65		70
M2-2 (опад / grass litter)	170	200	75	290	45	55	20	80
M3 (опад / grass litter)	1450	790		1010	230	125		160

В 2005 г. пробы осоки отобраны на не затоплявшемся участке косы. Из всех характерных для ближней зоны влияния ГХК ТРН в них в количествах, превышающих пределы обнаружения, присутствует только  $^{137}\text{Cs}$  (табл. 3). Его удельная активность

значительно превышает активность в рассмотренных ранее пробах (табл. 2). Видно, что концентрация  $^{137}\text{Cs}$  (в расчете на сухую массу) возрастает в ряду «опад — старые листья — стебли — молодые листья — колосья».

Таблица 3 / Table 3

Содержание ТРН в осоке, отобранной на территории, не подвергшейся воздействию паводка (рис. 1, точки 5–8, 2005 г.) / Concentrations of artificial radionuclides in the sedge, selected on non-flooded area (fig. 1, points 5–8, 2005)

Образец / Sample	$^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг, зола, / $^{137}\text{Cs}$ , Bq/kg, ash	$^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг, сухая масса / $^{137}\text{Cs}$ , Bq/kg, air-dry weight
E01-05-01 (стебли / stems)	3740	140
E01-05-01 (молодые листья / young leaves)	3010	270
E01-05-01 (старые листья / old leaves)	1335	110
E01-05-02 (стебли / stems)	1290	130
E01-05-02 (молодые листья / young leaves)	800	270
E01-05-03 (опад / grass litter)	750	75
E02-05-01 (стебли / stems)	895	40
E02-05-01 (молодые листья / young leaves)	440	46
E02-05-01 (старые листья / old leaves)	280	32
E02-05-01 (колосья / ears)	2680	90
E02-05-02 (стебли / stems)	1470	70
E02-05-02 (молодые листья / young leaves)	1610	125
E02-05-03 (опад / grass litter)	195	50

Сравнение данных табл. 1, 2 показывает, что в ходе нормального развития осоки она избирательно накапливает  $^{137}\text{Cs}$ . В случае отмирания растения во время паводковых затоплений происходит вынос накопленного  $^{137}\text{Cs}$  из его структуры. Такой вынос, возможно, происходит и при стоке дождевых и талых вод. Об этом свидетельствуют пониженные уровни концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в прошлогоднем опаде, а также в засохших листьях развивающихся растений. Полученные данные показывают, что  $^{137}\text{Cs}$  может активно вовлекаться в водный перенос из загрязненных аллювиальных почв за счет жизнедеятельности растений.

С целью оценки скорости выноса накопленного растениями  $^{137}\text{Cs}$  проведен лабораторный эксперимент, в ходе которого 19 неозоленных навесок проб осоки E-283 и E-286 (рис. 1, точки 10, 11) на различные сроки (от 0,5 ч до 19 сут) помещались в ди-

стиллированную воду [8]. В табл. 4 представлены валовые исходные содержания ТРН в этих пробах и пробе осоки, отобранной на фоновом участке (E-282).

Результаты эксперимента приведены на рис. 2. Уже после получасовой выдержки в раствор переходит около 30 %  $^{137}\text{Cs}$ , связанного на поверхности растительности в легкомигрирующих формах. В течение первых суток эти значения достигают 60...70 % и далее сохраняются на этом уровне на протяжении следующих нескольких суток эксперимента. В данный период времени происходит вымывание изотопа из внутренних клеточных структур растения. И лишь в случае последней пробы (выдержка 19 сут) выход изотопа возрастает до 80 %, что может быть вызвано началом деградации целлюлозы в составе клеточных стенок и высвобождением прочно связанного с ней изотопа.

Таблица 4 / Table 4

Содержание ТРН в растительных пробах (рис. 1, точки 9–11, 2007 г.) / Concentrations of artificial radionuclides in the plant samples (fig. 1, points 9–11, 2007)

Образец / Sample	$^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг, сухая масса / $^{137}\text{Cs}$ , Bq/kg, air-dry weight, Bq/kg	Масса на м <sup>2</sup> , кг / Weight per m <sup>2</sup> , kg	Масса по всей косе, кг / Mass throughout the spit, kg	Активность по косе в сезон, Бк / Activity on the spit in the season, Bq
Е-282 (общая / total)	12			
Е-283 (общая / total)	682	0,192	2746	$1,87 \cdot 10^6$
Е-286 (общая / total)	154	0,229	3275	$3,9 \cdot 10^5$

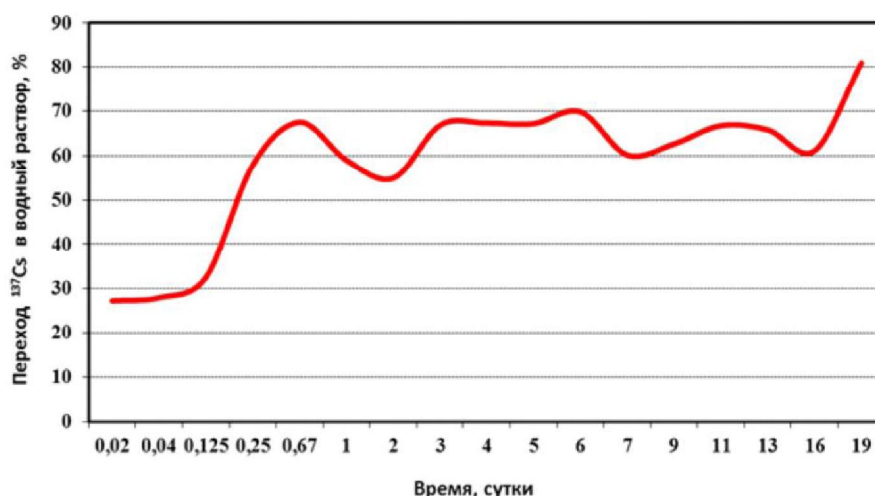


Рис. 2. Динамика перехода  $^{137}\text{Cs}$  в водный раствор. Результаты лабораторного эксперимента [7] / Fig. 2. Dynamics of transition  $^{137}\text{Cs}$  in aqueous solution. Results of the laboratory experiment [7]

На основе результатов, полученных в ходе лабораторного эксперимента, проведена количественная оценка масштабов вовлечения  $^{137}\text{Cs}$  во вторичное перераспределение за счет жизнедеятельности наземных растений, произрастающих на временно затопляемых загрязненных участках в пределах косы Атамановской. Площадь косы составляет порядка 14300 м<sup>2</sup>. Затоплению (во время весенне-летнего паводка) подвергается вся эта территория. Результаты соответствующих расчетов представлены в табл. 4. Видно, что в зависимости от номера опорной точки общая активность  $^{137}\text{Cs}$ , ежегодно выносимого с территории косы с паводковыми водами за счет таких процессов, может составлять от 0,38 (т. Е-286) до 1,87 МБк (т. Е-283).

**Выводы. 1.** Растения, произрастающие на загрязненных участках поймы реки Енисей, избирательно накапливают  $^{137}\text{Cs}$  из подстилающих почв. Удельные содержания его в различных частях растений возрастают в ряду «опад — старые листья — стебли — молодые листья — колосья».

**2.** Накопленный растениями  $^{137}\text{Cs}$  активно выносится в водную фазу при отмирании растений в результате воздействия паводковых, дождевых и талых вод.

**3.** Растительность береговой зоны, таким образом, вносит заметный вклад в процесс вторичного перераспределения радионуклидов в ближней зоне влияния Красноярского ГХК.



## Список литературы

1. Болсуновский А. Я., Горяченкова Т. А., Черкезян В. О., Мясоедов Б. Ф. Горячие частицы в Красноярском крае // *Радиохимия*. 1998. Т. 40, № 3. С. 271–274.
2. Болсуновский А. Я., Муратова Е. Н., Суковатый А. Г., Пименов А. В., Санжараева Е. А., Зотина Т. А., Седельникова Т. С., Паньков Е. В., Корнилова М. Г. Радиоэкологический мониторинг реки Енисей и цитогенетические характеристики водного растения *Elodea canadensis* // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2007. Т. 47, № 1. С. 63–73.
3. Болсуновский А. Я., Черкезян В. О., Барсукова К. В., Мясоедов Б. Ф. Исследование высокоактивных проб почв и горячих частиц поймы реки Енисей // *Радиохимия*. 2000. Т. 42, № 6. С. 560–564.
4. Гритченко З. Г., Кузнецов Ю. В., Легин В. Н., Струков В. Н., Мясоедов Б. Ф., Новиков А. П., Шиплов А. Е., Савицкий Ю. В. «Горячие» частицы 2-го рода в пойменных почвах реки Енисей // *Радиохимия*. 2001. Т. 43, № 6. С. 863–865.
5. Закономерности распределения и миграции радионуклидов в долине реки Енисей / Ф. В. Сухоруков, А. Г. Дегерменджи, В. М. Белолыцкий [и др.]. Новосибирск: Гео, 2004. 286 с.
6. Зотина Т. А. Распределение техногенных радионуклидов в биомассе макрофитов реки Енисей // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2009. Т. 49, № 6. С. 729–737.
7. Зотина Т. А., Трофимова Е. А., Карпов А. Д., Болсуновский А. Я. Накопление радионуклидов в трофических цепях р. Енисей после остановки реакторного производства на горно-химическом комбинате // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2014. Т. 54, № 4. С. 405–414.
8. Кропачева М. Ю., Чугуевский А. В., Мельгунов М. С., Богуш А. А. Поведение <sup>137</sup>Cs в системе почва-ризосфера-растение на примере поймы реки Енисей // *Сибирский экологический журнал*. 2011. № 5. С. 719–727.
9. Кузнецов Ю. В., Ревенко Ю. А., Легин В. К. К оценке вклада реки Енисей в общую радиоактивную загрязненность Карского моря // *Радиохимия*. 1994. Т. 36. С. 546–559.
10. Носов А. В. Исследование механизмов миграции радиоактивных веществ в пойме Енисея // *Метеорология и гидрология*. 1997. № 12. С. 84–91.
11. Носов А. В., Ашанин М. В., Иванов А. Б., Мартынова А. М. Радиоактивное загрязнение р. Енисей, обусловленное сбросами Красноярского горно-химического комбината // *Атомная энергия*. 1993. Т. 74. С. 144–150.
12. Сухоруков Ф. В., Мельгунов М. С., Ковалев С. И. «Горячие» частицы в аллювиальных отложениях реки Енисей в ближней зоне влияния Красноярского ГХК (новые данные) // *Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы II Междунар. конф.* Томск: Тандем-Арт, 2004. С. 601–605.
13. Сухоруков Ф. В., Мельгунов М. С., Ковалев С. И., Болсуновский А. Я. Техногенные радионуклиды в аллювиальных почвах реки Енисей (остров Атамановский) // *Актуальные вопросы геологии и географии Сибири*. 1998. Т. 3. С. 285–287.
14. Bolsunovsky A., Melgunov M., Chuguevskii A., Lind O.C., Salbu B. Unique diversity of radioactive particles found in the Yenisei river floodplain // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7.
15. Korobova E., Ermakov A., Linnik V. <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr mobility in soils and transfer in soil-plant systems in the Novozybkov district affected by the Chernobyl accident // *Appl. Geochem.* 1998. Vol. 13. P. 803–814.
16. Kropacheva M., Melgunov M., Makarova I. The artificial and natural isotopes distribution in sedge (*Carex l.*) biomass from the Enisei river flood-plain: adaptation of the sequential elution technique // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2017. Vol. 167. P. 180–187.
17. Malek M. A., Hinton T. G., Webb S. B. A comparison of <sup>90</sup>Sr and <sup>137</sup>Cs uptake in plants via three pathways at two Chernobyl contaminated sites // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2002. Vol. 58. No. 2–3. P. 129–141.
18. Pozolotina V. N., Molehanova I. V., Karavaeva E. N., Mikhaylovskaya L. N., Antonova E. V. Radionuclides in terrestrial ecosystems of the zone of Kyshtym accident in the Urals // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2010. Vol. 101. No. 6. P. 438–442.
19. Vakulovskii S. M., Tertyschnik E. G., Kabanov A. I. Radionuclide transport in the yenisei river // *Atomic Energy*. 2008. Vol. 105, No. 5. P. 285–291.

## References

1. Bolsunovsky A. Ya., Goryachenkova T. A., Cherkezyan V. O., Myasoedov B. F. *Radiohimiya* (Radiochemistry), 1998, vol. 40, no. 3, pp. 271–274.
2. Bolsunovsky A. Ya., Muratova E. N., Sukovaty A. G., Pimenov A. V., Sanzharaeva E. A., Zotina T. A., Sedelnikova T. S., Pankov E. V., Kornilova M. G. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* (Radiation Biology. Radioecology), 2007, vol. 47, no. 1, pp. 63–73.

3. Bolsunovsky A. Ya., Cherkezyan V. O., Barsukova K. V., Myasoedov B. F. *Radiohimiya* (Radiochemistry), 2000, vol. 42, no. 6, pp. 560–564.
4. Gritchenko Z. G., Kuznetsov Yu. V., Legin V. N., Strukov V. N., Myasoedov B. F., Novikov A. P., Shishlov A. E., Savitsky Yu. V. *Radiohimiya* (Radiochemistry), 2001, vol. 43, no. 6, pp. 863–865.
5. *Zakonomernosti raspredeleniya i migratsii radionuklidov v doline reki Enisey* (Patterns of distribution and migration of radionuclides in the valley of the Yenisei River) / F. V. Sukhorukov, A. G. Degermendzhi, V. M. Belolipetsky (ets.). Novosibirsk: Geo, 2004. 286 p.
6. Zotina T. A. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* (Radiation Biology. Radioecology), 2009, vol. 49, no. 6, pp. 729–737.
7. Zotina T. A., Trofimova E. A., Karpov A. D., Bolsunovsky A. Ya. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* (Radiation Biology. Radioecology), 2014, vol. 54, no. 4, pp. 405–414.
8. Kropacheva M. Yu., Chuguevsky A. V., Melgunov M. S., Bogush A. A. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* (Siberian Journal of Ecology), 2011, no. 5, pp. 719–727.
9. Kuznetsov Yu. V., Revenko Yu. A., Legin V. K. *Radiohimiya* (Radiochemistry), 1994, vol. 36, pp. 546–559.
10. Nosov A. V. *Meteorologiya i gidrologiya* (Meteorology and Hydrology), 1997, no. 12, pp. 84–91.
11. Nosov A. V., Ashanin M. V., Ivanov A. B., Martynova A. M. *Atomnaya energiya* (Atomic Energy), 1993, vol. 74, pp. 144–150.
12. Sukhorukov F. V., Melgunov M. S., Kovalev S. I. *Radioaktivnost i radioaktivnye elementy v srede obitaniya cheloveka: materialy II Mezhdunar. Konf* (Radioactivity and radioactive elements in the human environment: materials of the II Intern. conf.). Tomsk: Tandem Art, 2004, p. 601–605.
13. Sukhorukov F. V., Melgunov M. S., Kovalev S. I., Bolsunovsky A. Ya. *Aktualnye voprosy geologii i geografii Sibiri* (Actual issues of geology and geography of Siberia), 1998, vol. 3, pp. 285–287.
14. Bolsunovsky A., Melgunov M., Chuguevsky A., Lind O. C., Salbu B. *Scientific Reports* (Scientific Reports), 2017, vol. 7.
15. Korobova E., Ermakov A., Linnik V. *Appl. Geochem* (Appl. Geochem), 1998, vol. 13, pp. 803–814.
16. Kropacheva M., Melgunov M., Makarova I. *Journal of Environmental Radioactivity* (Journal of Environmental Radioactivity), 2017, vol. 167, pp. 180–187.
17. Malek M. A., Hinton T. G., Webb S. B. *Journal of Environmental Radioactivity* (Journal of Environmental Radioactivity), 2002, vol. 58, no. 2–3, pp. 129–141.
18. Pozolotina V. N., Molehanova I. V., Karavaeva E. N., Mikhaylovskaya L. N., Antonova E. V. *Journal of Environmental Radioactivity* (Journal of Environmental Radioactivity), 2010, vol. 101, no. 6, pp. 438–442.
19. Vakulovskii S. M., Tertyshnik E. G., Kabanov A. I. *Atomic Energy* (Atomic Energy), 2008, vol. 105, no. 5, pp. 285–291.

### Коротко об авторах

**Чугуевский Алексей Викторович**, младший научный сотрудник, лаборатория геохимии благородных и редких элементов и экогеохимии, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия. Область научных интересов: геохимия техногенных радионуклидов, геоэкология, изотопная геохимия  
chuguevsky@igm.nsc.ru

**Мельгунов Михаил Сергеевич**, канд. геол.-минер. наук, старший научный сотрудник, лаборатория геохимии благородных и редких элементов и экогеохимии, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия. Область научных интересов: геохимия техногенных и естественных радионуклидов  
mike@igm.nsc.ru

**Макарова Ирина Владимировна**, ведущий инженер, лаборатория геохимии благородных и редких элементов и экогеохимии, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия. Область научных интересов: аналитическая химия, изотопная радиохимия  
makarova@igm.nsc.ru

**Кропачева Марья Юрьевна**, канд. геол.-минер. наук, младший научный сотрудник, лаборатория геохимии благородных и редких элементов и экогеохимии, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия. Область научных интересов: биогеохимия техногенных радионуклидов, геоэкология и природопользование, изотопная геохимия  
marya@igm.nsc.ru



***Briefly about the authors***

---

**Aleksey Chuguevsky**, junior research scientist, Laboratory of Geochemistry of Noble and Rare Elements and Ecogeochemistry, Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia. Sphere of scientific interests: man-made isotopes geochemistry, geocology, isotopic geochemistry

**Mikhail Melgunov**, candidate of geological and mineralogical sciences, senior research scientist, Laboratory of Geochemistry of Noble and Rare Elements and Ecogeochemistry, Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia. Sphere of scientific interests: man-made and natural isotopes geochemistry

**Irina Makarova**, leading engineer, Laboratory of Geochemistry of Noble and Rare Elements and Ecogeochemistry, Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia. Sphere of scientific interests: analytical chemistry, isotope radiochemistry

**Marya Kropacheva**, candidate of geological and mineralogical sciences, junior research scientist, Laboratory of Geochemistry of Noble and Rare Elements and Ecogeochemistry, Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia. Sphere of scientific interests: man-made isotopes biogeochemistry, geocology and environmental management, isotopic geochemistry

---

Работа выполнена в рамках государственного задания — проект № 0330-2016-0011, при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ 18-05-00953 А. Аналитические исследования проведены в «ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН»

---

***Образец цитирования***

---

*Чугуевский А. В., Мельгунов М. С., Макарова И. В., Крощачева М. Ю. К вопросу о роли растительности в перераспределении техногенных радионуклидов в аллювиальных отложениях островов реки Енисей (ближняя зона влияния Красноярского ГХК) // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2019. Т. 25. № 2. С. 54–62. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-2-54-62.*

*Chuguevsky A., Melgunov M., Makarova I., Kropacheva M. To the question on the role of vegetation in redistribution of technogenic radionuclides in alluvial deposits of islands of the Yenisei river (the near-field influence zone of Krasnoyarsk MCE) // Transbaikal State University Journal, 2019, vol. 25, no. 2, pp. 54–62. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-2-54-62.*

Статья поступила в редакцию: 12.09.2018 г.  
Статья принята к публикации: 25.01.2019 г.