

ТЕХНОГЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ПОЙМЕННЫХ МАКРОФИТАХ БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ КРАСНОЯРСКОГО ГХК: ВРЕМЕННЫЕ И ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЙ

М.Ю. Кропачева, М.С. Мельгунов, И.В. Макарова

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, пр-т. Коптюга, 3, Россия

Многолетнее изучение изменения удельных активностей техногенных радионуклидов в растительных компонентах пойменного биогеоценоза ближней зоны влияния Красноярского ГХК при удалении от источника загрязнения показало неоднозначную картину. При общем уменьшении уровней радиации после остановки реакторного хозяйства ГХК на исследованных участках наблюдается резкое, но неравномерное возрастание удельных активностей ^{137}Cs и ^{90}Sr в различные годы наблюдений. Основной причиной таких изменений может являться поступление изотопов в пойменный биогеоценоз вследствие работы радиохимического производства Красноярского ГХК.

пойма Енисея, искусственные изотопы, растения

TECHNOGENIC RADIONUCLIDES IN INUNDATED MAKROFITA OF THE NEAR ZONE OF INFLUENCE OF KRASNOYARSK GHK: TEMPORARY AND SPATIAL CHANGES OF CONTENTS

M.Yu. Kropacheva, M.S. Melgunov, I.V. Makarova

Long-term studies of specific activity of radionuclides in plant components of floodplain biogeocoenose in the Krasnoyarsk MCC near impact zone with a distance off the pollution source have showed an ambiguous picture. With a total reduction of radiation levels after shutdown of the MCC reactors, a sharp but uneven increase of ^{137}Cs and ^{90}Sr specific activities were observed on sampling sites in different years. The input of the isotopes in floodplain biogeocoenosis due to operation of radiochemical production of Krasnoyarsk MCC can be the main reason for these changes.

Yenisei floodplain, man-made isotopes, plants

Одной из наиболее интересных и важных проблем современной биогеохимии является проблема миграции и перераспределения искусственных изотопов, которые существуют в биогеоценозах менее века. Для оптимально решения этой проблемы необходимо изучение поведения искусственных изотопов в природных экосистемах, которые испытывают влияния со стороны предприятий ЯТЦ, но не подвергались экстремальным радиоактивным загрязнениям. Оптимальным вариантом такой экосистемы является пойма реки Енисей в ближней зоне влияния Красноярского горно-химического комбината (ГХК). Влияние на компоненты пойменного биогеоценоза в прошлом оказывали три реактора — два прямоточных (остановлены в 1992 году), использовавшиеся для наработки оружейного плутония, и один замкнутого цикла (остановлен в 2010 году), использовавшийся как электростанция для комбината и города Железногорска. Кроме реакторного хозяйства в состав комбината входит радиохимический завод с тремя видами хранилищ, в том числе и открытого типа, эксплуатируемый и по сей день.

Исследования радиоактивного загрязнения поймы Енисея продолжается с 1970 года. Несмотря на улучшение радиэкологического состояния поймы реки [4, 5], существуют значительные запасы долгоживущих искусственных изотопов в донных отложениях и пойменных почвах [1, 2, 6, 7, 10, 11, 12]. Таким образом, эти изотопы, поглощаемые растениями, и могут быть извлечены из форм органичных в подвижные формы.

В ходе экспедиционных работ 2004, 2011 и 2013 годов были исследованы острова и правый берег поймы Енисея в ближней зоне влияния Красноярского ГХК (20 км ниже по течению от предполагаемой сточки сброса). Пробы верхних частей растений отбирались на косе Атамановской (в голове, в середине с левой стороны и в хвосте косы, 6 км ниже по течению от точки сброса), острове Атамановском (в голове и в хвосте, 7 км ниже по течению от точки сброса), острове Березовом (в голове, 15 км ниже по течению от точки сброса) и в заливе Балчуговской протоки (18 км ниже по течению от точки сброса). Для опробования были выбраны растения рода Осока (*Carex L.*), как наиболее типичные для всех точек отбора. Все растения произрастали на линии уреза воды, в местах, подвергающихся затоплению в паводок. Отобранные пробы промывались в дистиллированной воде для определения активностей осевшей на растениях взвеси, затем высушивались до воздушно-сухого состояния и озолялись при температуре 450 °С с постепенным набором температуры для минимизации потерь. Методы определения приведены в таблице 1.

Таблица 1. Аналитические методы

Изотопы	Методы	Предел обнаружения	Общая ошибка метода (критерий 2σ)
⁹⁰ Sr	β-спектрометрия с радиохимической подготовкой с использованием радиометра РУБ-01П с низкофоновым детектором BDGB-06Р (Пятигорск, Россия)	0,1 Бк	20 %
¹³⁷ Cs	γ-спектрометрия с использованием колодезного HPGe полупроводникового детектора с низкофоновым криостатом EGPC 192-P21/SHF 00-30A-CLF-FA (EURISYS MEASURES, Франция) и коаксиального Ge(Li) полупроводникового детектора DGDK-100В (Дубна, Россия)	0,5–1 Бк	20 % для 40-100 Бк/кг 25–30 % для 10–40 Бк/кг 30 % для <10 Бк/кг

Из искусственных радионуклидов, характерных для загрязнения поймы в ближней зоне Красноярского ГХК, в верхних частях растений во все года наблюдений стабильно фиксировались только ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr. Пространственное изменение удельных активностей этих изотопов в растениях совпадает с характером распределения этих изотопов в субстрате. Так, наибольшие удельные активности изотопов, как в верхних частях растений, так и в субстрате наблюдаются в наиболее близкой к источнику загрязнения точке — на косе Атамановской. С

удалением от источника загрязнения удельные активности в компонентах берегового биогеоценоза стабильно падают и затем вновь возрастают в заливе Балчуговской протоки, где гидрологические условия благоприятствуют аккумуляции тонких взвесей [8, 9]. Замеры на участках произрастания отобранных растений показали постоянное снижение уровней радиации. Так, если в 2004 году уровни радиации в голове косы Атамановской составляли порядка 100 мкР/ч, то в 2011 году они составили уже 75 мкР/ч и снизились до 35–40 мкР/ч в 2013 году. Подобное снижение наблюдается и для других точек отбора — в голове острова Атамановского уровни радиации снизились с 55 мкР/ч в 2004 году до 20 мкР/ч в 2013 году, а в Балчуговской протоке — с 60 мкР/ч в 2004 году до 30–35 мкР/ч в 2013 году. Несмотря на очевидное снижение техногенной нагрузки на пойменные биогеоценозы ближней зоны влияния Красноярского ГХК после остановки последнего реактора, в верхних частях осоки вопреки ожиданиям продолжают наблюдаться значительные удельные активности радиоцезия и радиостронция (табл. 2).

Таблица 2. Изменение удельных активностей ^{137}Cs и ^{90}Sr в верхних частях растений (Бк/кг на сухой вес) в 2004, 2011 и 2013 гг.

Год опробования		2004 г.	2011 г.	2013 г.
Радионуклид		^{137}Cs		
коса Атамановская	голова	243	4400	5650
	середина	–	6520	–
	хвост	–	7400	165
о-в Атамановский	голова	160	4900	640
	хвост	–	–	1100
о-в Березовый		81	1230	200
Балчуговская протока		34	360	370
		^{90}Sr		
коса Атамановская	голова	26	1185	33
	середина	–	270	–
	хвост	–	485	17
о-в Атамановский	голова	12	100	26
	хвост	–	–	38
о-в Березовый		8,5	17	8,7
Балчуговская протока		1,9	12	16

В 2011 году в верхних частях растений на практически всех исследованных участках отмечено значительное повышение удельных активностей ^{137}Cs и ^{90}Sr по сравнению с предыдущими годами. В 2013 году высокие содержания радиоцезия по-прежнему

сохранялись в голове косы Атамановской (ближайшей с источнику загрязнения точке), но на более отдаленных участках поймы наблюдается снижение содержаний ^{137}Cs . В то же время удельные активности ^{90}Sr в 2013 году снизились до практически тех же значений, что наблюдались в 2004 году.

Известно, что определенную долю в активность верхних частей растений может приносить активность взвесей, осевших на поверхности растений во время паводков, когда значительные части островов и берегов поймы подвергаются затоплению [3]. Нами были проанализированы смывы твердой фракции взвеси с растений с косы Атамановской. Измерения показали, что в общей активности в верхних частях растений доля, приходящаяся на взвесь, может достигать 8 % для ^{137}Cs и 23 % для ^{90}Sr . Таким образом, на фоне общего снижения уровней радиации на исследованных участках сохранение и даже увеличение уровней удельных активностей в верхних частях растений можно объяснить осаждением на растениях связанных форм в виде взвесей, которое происходит во время паводковых явлений в пойме, а также поглощением растениями растворенных форм изотопов. Основной причиной таких вариаций удельных активностей в верхних частях растений может являться поступление изотопов в пойменный биогеоценоз вследствие работы радиохимического производства Красноярского ГХК.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ 14-05-00139 и 14-05-0155.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болсуновский А.Я., Атурова В.П., Бургер М. и др. Радиоактивное загрязнение территории населенных пунктов Красноярского края в регионе размещения горно-химического комбината // Радиохимия, 1999. Т. 41. № 6. С. 563–568.
2. Бондарева Л.Г., Болсуновский А.Я. Изучение форм нахождения техногенных радионуклидов ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{152}Eu и ^{241}Am в донных отложениях р. Енисей // Радиохимия, 2008. Т. 50. № 5. С. 475–480.
3. Зотина Т.А. Распределение техногенных радионуклидов в биомассе макрофитов реки Енисей // Радиационная биология. Радиоэкология, 2009. Т. 49. № 6. С. 729–737
4. Носов А.В., Ашанин М.В., Иванов А.Б. и др. Радиоактивное загрязнение р. Енисей, обусловленное сбросами Красноярского горно-химического комбината // Атомная энергия, 1993. Т. 74. № 2. С. 144–150
5. Носов А.В., Мартынова А.М. Анализ радиационной обстановки на р.Енисей после снятия с эксплуатации прямоточных реакторов Красноярского ГХК // Атомная энергия, 1996. Т. 81. № 3. С. 226–232.
6. Сухоруков Ф.В., Дегерменджи А.Г., Белолипецкий В.М. и др. Закономерности распределения и миграции радионуклидов в долине реки Енисей. Под ред. Шабанова В.Ф., Дегерменджи А.Г. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал "Гео", 2004. 286 с.
7. Bolsunovsky A., Zotina T., Bondareva L. Accumulation and release of ^{241}Am by a macrophyte of the Yenisei River (*Elodea canadensis*) // Journal of Environmental Radioactivity,

2005. V. 82. P. 33–46.

8. Kropacheva M.Yu., Chuguevsky A.V., Melgunov M.S. et al. Behavior of ^{137}Cs in the soil-rhizosphere-plant system the Yenisei River floodplain // Contemporary Problems Of Ecology, 2011. V. 4. Issue 5. P. 528–534.

9. Kropacheva M., Melgunov M., Makarova I. Radiocesium and radiostrontium in alluvial soil and riverside plants rhizosphere (near impact zone of Krasnoyarsk MCC) // Central European Geology, 2013. V. 56. Issue 2-3. P. 153–159.

10. Linnik V.G., Brown J.E., Dowdall M. et al. Patterns and inventories of radioactive contamination of island sites of the Yenisey River, Russia // Journal of Environmental Radioactivity, 2006. V. 87. P. 188–208.

11. Linnik V.G., Korobova E.M., Brown J. et al. Investigation of radionuclides in the Yenisey River floodplain systems: Relation of the topsoil radionuclide contamination to landscape features // Journal of Geochemical Exploration, 2014. V. 142. P. 60–68.

12. Vakulovsky S. M., Kryshev I.I., Nikitin A. I. et al. Radioactive Contamination of the Yenisei River // Journal of Environmental Radioactivity, 1995. V. 29. Issue 3. P. 225–236.