Радионуклиды в воде реки Енисей

Ю.В. Александрова, А.Я. Болсуновский
Институт биофизики СО РАН, Красноярск

Река Енисей – основная водная артерия Красноярского края, по водности занимает первое место в России и является одной из крупнейших рек мира. На берегу реки вблизи г. Железногорска расположен Горно-химический комбинат (ГХК) Росатома, многолетняя деятельность которого привела к радиоактивному загрязнению поймы реки [1-6]. Прямые измерения содержания радионуклидов в отобранных пробах воды (без концентрирования) не всегда позволяют выявить техногенные радионуклиды. Для достоверного определения радионуклидов в воде необходимо использовать как высокочувствительные приборы, так и применять методы концентрирования проб.

Цель работы – определение содержания радионуклидов в воде реки Енисей в зоне влияния ГХК с использованием различных методов.

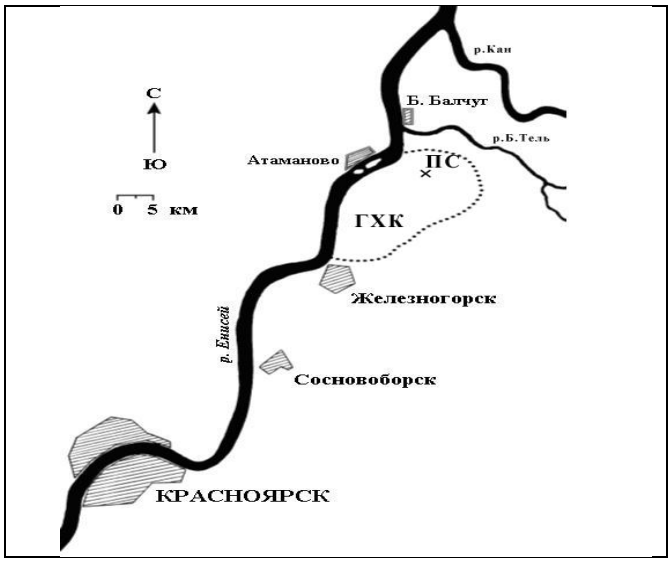

Рис.1. Карта-схема района ближней зоны влияния ГХК (Железногорск).

····· - граница санитарно-защитной зоны ГХК
ПС - полигон захоронения жидких радиоактивных отходов «Северный».

В качестве объектов исследования использовали пробы воды, отобранные в р. Енисей в весенне-осенний период 2001-2011 как в ближней зоне влияния ГХК на расстоянии до 15 км от места сброса (район сел Атаманово и Б.Балчуг), так и на значительном расстоянии ниже по течению реки. Объем отбираемых проб воды составлял до остановки реактора в 2010 году - 30-50 л и после остановки реактора - 75 л. Для измерения радионуклидов использовали широкий спектр инструментальных методов: жидкостно-сцинтилляционная спектрометрия с использованием спектрометра “Tri-Carb 2800” (США), гамма-спектрометрия с использованием спектрометра “Canberra” (США), масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой с использованием спектрометра “Agilent” (США), альфа-спектрометрия.

До остановки реактора в реку поступали сбросы реакторного и радиохимического заводов ГХК. Вследствие этого в воде регистрировались радионуклиды как активационного происхождения, так и осколочные радионуклиды цепной реакции. Из публикации специалистов ГХК [1] и экологических отчетов ГХК (2009) [6] следует, что в Енисей попадали следующие активационные радионуклиды: ^{24}Na, ^{32}P, ^{46}Sc, ^{51}Cr, ^{54}Mn, ^{58}Co, ^{59}Fe, ^{64}Cu, ^{65}Zn, ^{95}Zr и др. Этот факт подтверждался проведенными измерениями содержания радионуклидов в водных растениях и других гидробионтах [2-3]. В настоящее время после остановки реактора в воду Енисей могут поступать сбросы радиохимического завода ГХК, а также радионуклиды из донных отложений и смывов с пойменной территории. Ранее в ближней зоне влияния ГХК в пробах измеряемой воды объемом 1 литр в Институте биофизики СО РАН были достоверно определены только два короткоживущих активационных радионуклида (^{24}Na, ^{239}Np), а также, в отдельных случаях, долгоживущий ^{137}Cs. Результаты по содержанию других радионуклидов в воде были на пределе обнаружения. Для достоверного определения других активационных радионуклидов в воде был применен метод химического концентрирования с

использованием соединений $Fe(OH)_3$ и MnO_2 [4-5]. Для концентрирования использовали пробы воды реки объемом 20-75 л, отобранные в районе с. Атаманово в месте отбора водных растений. В качестве трассера использовали раствор изотопа ^{241}Am. Как следует из таблицы 1, в концентрированной пробе число достоверно определяемых гамма-излучающих радионуклидов значительно увеличилось, и при этом выход по ^{241}Am составил 95%. Во время работы реактора число регистрируемых радионуклидов выросло с 6 до 16 в концентрируемой пробе. После остановки реактора в воде без применения метода концентрирования регистрируются только 2 радионуклида (^{137}Cs и ^{141}Ce). После концентрирования их количество увеличивается до 9, однако значения существенно снижаются. Например, значение ^{60}Co в воде после остановки реактора снизилось в четыре раза с 3.2 до 0.8 мБк/л, а ^{65}Zn - на порядок (с 3.1 до 0.3 мБк/л). После остановки реактора короткоживущие радионуклиды, такие как ^{24}Na и ^{239}Np в воде не регистрируются.

Табл.1. Радионуклидный состав проб воды р. Енисей в районе с. Атаманово до (апрель) и после (июнь) остановки реактора.

Нуклид	**Апрель 2010 г.**		**Июнь 2010 г.**	
	Исходная вода А, мБк/л	Концентрат А, мБк/л	Исходная вода А, мБк/л	Концентрат А, мБк/л
^{24}Na	7950±350	52±19		
^{46}Sc		6.0±0.5		0.7±0.1
^{51}Cr		50.4±5.8		
^{59}Fe		4.9±0.9		
^{60}Co		3.2±0.4		0.8±0.1
^{65}Zn		3.1±0.9		0.34±0.03
^{76}As	320±160	64±7		
^{85}Sr		2.2±0.5		0.8±0.2
^{99}Mo		8.8±1.5		
^{103}Ru		1.1±0.4		
^{106}Ru				4.8±1.2
^{124}Sb	72±19	1.9±0.6		
^{134}Cs		0.5±0.3		
^{137}Cs	39±32	3.1±1.4	82±28	2.1±0.5
^{141}Ce	61±25	2.4±0.7	141±43	0.18±0.07
^{144}Ce		3.0±1.7		1.8±0.6
^{154}Eu				0.7±0.2
^{239}Np	275±47	347±22		

Кроме гамма-излучающих радионуклидов в воде реки Енисей вблизи сбросов ГХК ранее регистрировали и бета-излучающие радионуклиды, такие как ^{32}P, ^{3}H, ^{99}Tc, ^{90}Sr [5-9]. Среди всех радионуклидов тритий является самым миграционным радионуклидом. В таблице 2 приведены данные по содержанию трития в образцах воды р. Енисей в районе г. Красноярска и на различном удалении ниже по течению реки. В пробах воды, отобранных в фарватерной части реки в г. Красноярске и далее по течению реки до с. Новоназимово, содержание трития составляет 2-5 Бк/л, что соответствует глобальному фону. Повышенная, по сравнению с фоном, концентрация трития обнаружена в воде вблизи устьев ручьев и рек, водосборы которых расположены в пределах санитарно-защитной зоны ГХК: вблизи устья р. Шумиха максимальная концентрация трития в период 2001-2006 гг. составила 81 Бк/л, вблизи устья руч. Плоский - 168 Бк/л [7]. Эти данные

согласуются с ранее полученными в 1998 г. результатами, что для руч. Плоского и р. Шумиха концентрация трития превышает фоновые значения для р. Енисей и составляет 56 и 125 Бк/л, соответственно [9]. В последующие периоды времени содержание трития в реке Енисей вблизи сбросов, например руч. Плоский, снижается до 18-53 Бк/л. После остановки реактора в 2010-2011 гг. содержание трития в реке вблизи устья р. Шумиха составляет 10-24 Бк/л, а вблизи руч. Плоский снижается до фонового уровня (табл.2).

Табл. 2. Содержание трития в пробах воды р. Енисей на различном расстоянии ниже по течению от г. Красноярска в разные периоды, Бк/л.

Место отбора	2001-2006 гг.	2007-2009 гг.	2010-2011 гг.
г.Красноярск (0 км)	2-5	<3.5	<3.5
Вблизи устья р.Шумиха (81 км)	75-81	-	10-24
Вблизи устья р.Плоский (85 км)	120-168	18-53	2-7
с.Атаманово (86 км)	3	10-31	2-4
с.Б.Балчуг (97 км)	4	<3.5-9	3
с. Захаровка (278 км)	3	-	-
с. Новоназимиво (600 км)	3	-	-

Известно, что на ГХК большая часть радиоактивных отходов закачана в подземные водоносные горизонты полигона «Северный», который расположен на водоразделе рек Енисей и Большая Тель (рис.1). В монографии Рыбальченко с соавторами [10] в разделе посвященному полигону «Северный» отмечается, что для захоронения жидких радиоактивных отходов используют водоносные горизонты I и II, расположенные на глубине 370-460 м и 180-280 м соответственно. Горизонт II, по данным специалистов, разгружается в долину р. Большая Тель; горизонт I, как предполагается, частично в долину р. Кан, частично в долину р. Большая Тель. Кроме долгоживущих радионуклидов, включая трансурановые элементы, в подземные горизонты производится закачка трития. Известно, что тритий является наиболее миграционным радионуклидом в водных системах, поскольку не задерживается никакими сорбционными системами. Проведенные в Институте биофизики СО РАН и в других организациях исследования [7-8] выявили, что в пробах воды р. Большая Тель наблюдалось превышение содержания трития относительно фоновых значений для р. Енисей (табл. 3). Содержание трития в пробах воды р. Большая Тель изменялось в зависимости от периода отбора. В летний период 2001-2006 гг. (июль-август) содержание трития в р. Большая Тель превышало фоновые значения для р. Енисей в 1.5-2 раза, в осенний период фоновые значения превышались в 10 и более раз.

Табл. 3. Содержание трития в пробах воды р. Большая Тель на различном расстоянии вверх по течению от устья в разные периоды, Бк/л.

Место отбора	2001-2006 гг.	2007-2009 гг.	2010-2011 гг.
Устье (0 м)	3-55	6-42	1-3*
(50 м)	6-35	3-35	-
(300 м)	5-27	3-37	1-3*
(500 м)	4-40	3-34	1-3*
(1000 м)	4-38	3-37	1-3*

* - Обработана часть проб

Максимальные концентрации трития достигали 35-40 Бк/л по данным измерений Института биофизики СО РАН и 55-90 Бк/л - по данным измерений МосНПО «РАДОН». В 2008 г. наоборот, в летний период содержание трития было на уровне 21-37 Бк/л, а осенью снизилось до 11-15 Бк/л. В последние годы (2010-2011 гг.) также продолжались исследования проб воды р. Большая Тель на содержание трития, однако отбор проб был нерегулярный. В настоящий период обработана только часть проб и, как следует из табл.3, можно отметить снижение содержания трития до фоновых значений. В дальнейшем исследования содержания трития будут продолжены.

Многолетние исследования содержания ^{238}U в разных районах бассейна реки Енисей масс-спектрометрическими методами, выполненные в Институте химии и химической технологии СО РАН и Институте неорганической химии СО РАН впервые выявили многократное превышение ^{238}U над фоновым содержанием. К таким районам относятся участки р. Енисей вблизи сбросов ГХК, а также участки р. Большая Тель. В этих районах содержание ^{238}U достигает 2.1-4.0 мкг/л (иногда 16 мкг/л), что почти на порядок превышает содержание ^{238}U в воде выше по течению от ГХК (0.3-0.6 мкг/л) [11]. Исследования изотопного состава урана в пробах воды, проведенные в Институте неорганической химии СО РАН, показали наличие техногенного изотопа урана ^{236}U в пробах р. Большая Тель и выявили отклонение изотопного отношения $^{238}U/^{235}U$ (167±3 и 177±3) от равновесного природного ($^{238}U/^{235}U$=138). Это свидетельствует о техногенном происхождении части урана в воде р. Большая Тель в связи с деятельностью ГХК [11].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Ю.В., Ревенко Ю.А., Легин В.К. и др. К оценке вклада реки Енисей в общую радиоактивную загрязненность Карского моря // Радиохимия, 1994, т.36, вып.6, с.546-559.
2. Сухоруков Ф.В., Дегерменджи А.Г., Болсуновский А.Я. и др. Закономерности распределения и миграции радионуклидов в долине реки Енисей / Новосибирск, Изд-во СО РАН. Филиал «Гео». 2004. с.287.
3. Bolsunovsky A. Artificial radionuclides in aquatic plants of the Yenisei River in the area affected by effluents of a Russian plutonium complex // Aquatic Ecology. 2004. V. 38 (1). p.57-62.
4. Бондарева Л.Г., Болсуновский А.Я., Трапезников А.В., Дегерменджи А.Г. Использование новой методики концентрирования трансурановых элементов в пробах воды реки Енисей // Доклады Академии наук. 2008. Т. 423, №4. с. 479-482.
5. Болсуновский А.Я., Сухоруков Ф.В., Жижаев А.М. Радионуклиды в воде реки Енисей / Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Барнаул: Изд-во АРТ, 2010. С.38-41.
6. Отчет по экологической безопасности ФГУП «Горно-химический комбинат» за 2009 год. «Библиотечка Общественного совета Росатома», 2010. 36 с.
7. Bolsunovsky A., Bondareva L. Tritium in surface waters of the Yenisei River basin // J. Environmental Radioactivity. 2003. V.66 (3), p. 285-294.
8. Болсуновский А.Я., Бондарева Л.Г. Новые данные по содержанию трития в одном из притоков реки Енисей // Доклады Академии наук. 2002. Т. 385. № 5. с. 714-717
9. Носов А.В., Мартынова А.М., Шабанов В.Ф. и др. Исследование выноса трития водотоками с территории Красноярского ГХК // Атомная энергия. 2001. Т. 90. №1. с. 77-80.
10. Рыбальченко А.И., Пименов М.К., Костин П.П. и др. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов. М.: ИздАТ, 1994. 256 с.
11. Болсуновский А.Я., Жижаев А.М., Сапрыкин А.И., Дегерменджи А.Г., Рубайло А.И. Первые данные по содержанию урана в воде бассейна реки Енисей в зоне влияния предприятий Росатома // Доклады Академии наук. 2011. Т. 439. № 3. с. 383-388.