

активации поверхности и увеличению сорбции. Действие ингибитора коррозии противоположное — в их присутствии сорбция уменьшается. Сорбция ^{60}Co на стали 20 почти в 100 раз превышает сорбцию ^{137}Cs , причем влияние предварительной обработки или присутствие ингибитора сказывается на сорбции ^{60}Co в большей степени. При добавке ингибитора в загрязняющий раствор нивелируется влияние вида конструкционного материала и радионуклида на сорбцию. Объяснение механизма сорбции простое: при введении в систему анодных ингибиторов коррозии потенциал поверхности металла сдвигается в положительную сторону и подход к поверхности положительно заряженных радиоактивных ионов затруднен.

На основании исследований сделаны следующие выводы:

при останове ЯЭУ и эксплуатации в стояночном режиме количество десорбируемых радионуклидов с внутренних поверхностей оборудования контура коррелирует со скоростью коррозии металлов;

добавка в водный теплоноситель ингибиторов анодного типа снижает как коррозию, так и десорбцию радионуклидов с конструкционных материалов;

посредством пассивации поверхностей оборудования ЯЭУ и добавок в теплоноситель ингибиторов коррозии можно значительно снизить загрязнение оборудования радионуклидами.

Поступила в Редакцию 16.10.02

УДК 543.544: 546.718

СОРБЦИЯ Тс(VII) ВОЛОКНИСТЫМИ СОРБЕНТАМИ

Медведева И.Б., Кузнецова Н.А., Ровный С.И. (ФГУП ПО «Маяк»)

^{99}Tc как осколочный элемент образуется в результате переработки отработавшего ядерного топлива и поступает в окружающую среду в результате сброса с радиохимического производства, локализуясь преимущественно в водных объектах. До сих пор не предложено эффективных способов его фракционного выделения и утилизации. Повышенный интерес к нему обусловлен как недостаточностью данных о содержании в водных объектах в связи с трудностями анализа низкой концентрации Тс(VII) обычными радиохимическими и радиометрическими методами, так и высокой миграционной способностью вследствие нахождения в легкорастворимой форме в виде пертехнетат-аниона TcO_4^- [1, 2].

Известно, что Тс(VII) в виде пертехнетат-иона TcO_4^- обнаруживает большое сродство с различными анионообменными смолами. Коэффициент распределения анионитами уменьшается в ряду АВ-17 > АВ-18 > ЭДЭ-10П > АВ-16 [3, 4]. Замещение азота на мышьяк или фосфор увеличивает сорбционную способность, что подтверждается данными об извлечении технеция с помощью сильноосновного анионита ЧФО (с четвертичными фосфониевыми основаниями). Сорбция анионитами ЧФО и АВ-17 максимальна в нейтральной среде (при pH 5—8 коэффициент распределения для ЧФО и АВ-17 составляет более $1 \cdot 10^5$ и $3 \cdot 10^4$ соответственно) [4]. Целью настоящей работы было исследование сорбционных свойств нового класса волокнистых сорбентов по отношению к Тс(VII) из водных растворов различного состава.

В работе использовали волокнистые сорбенты торговой марки ПОЛИОРГС, представляющие собой:

химически модифицированные комплексообразующие сорбенты с гидразидиновыми группами (сорбент ПОЛИОРГС 32), гидразидиновыми и амидоксимными группами (сорбент ПОЛИОРГС 33);

физически модифицированные сорбенты в виде композиции двух полимеров: полиакрилонитрильного волокна и мелкодисперсного порошкообразного сорбента-наполнителя с амидоксимными группами (сорбент ПОЛИОРГС 34), гидразидиновыми группами (сорбент ПОЛИОРГС 35) и одновременно с гидразидиновыми и амидоксимными группами (сорбент ПОЛИОРГС 33-н), аниониты с четвертичными аммониевыми основаниями (сорбент ПОЛИОРГС АВ-17), вторичными и третичными аминогруппами (сорбент ПОЛИОРГС АН-31);

сорбенты, модифицированные реагентами арсеназо I и арсеназо III (сорбенты ПОЛИОРГС 33 А1, ПОЛИОРГС 33 А3, ПОЛИОРГС АН-31 А3, ПОЛИОРГС АВ-17 А3), модифицированные в целях образования более прочных комплексов с ионами актиноидов в фазе сорбентов (что используется на практике при экстракционном извлечении и разделении актиноидов [5]).

По внешнему виду сорбенты представляют собой нетканое полотно с толщиной нити в набухшем состоянии 30—100 мкм. Сорбенты обладают анионообменными свойствами. Статическая обменная емкость сорбента ПОЛИОРГС 32 по хлорид-иону равна 3,2 мг-экв./г, сорбента ПОЛИОРГС 33 — 5 мг-экв./г сорбента. Размеры частиц наполнителя в волокнистых сорбентах 10—70 мкм, содержание сорбента-наполнителя — до 50% [6—8]. Селективные свойства сорбентов определяются природой наполнителя.

Исследовали сорбционные свойства в статических условиях по методике [9]. Сорбенты готовили следующим образом: навески воздушно-сухого материала выдерживали в течение 1—2 ч в дистиллированной воде для набухания и перевода в рабочую форму (при сорбции технеция из нейтральных или слабощелочных сред) или переводили в H^+ -форму 1 М раствором HNO_3 (при сорбции из кислых сред), затем набухший сорбент отжимали и помещали в исходный раствор с ^{99}Tc . Сорбцию в статических условиях проводили путем контактирования сорбента с раствором (отношение объема к массе равно $100\text{ см}^3/\text{г}$) при непрерывном перемешивании в течение 24 ч с помощью шейкера S-4. Экспериментально установлено, что данное время контакта достаточно для установления сорбционного равновесия. Затем сорбент отделяли от раствора и определяли содержание технеция. Степень извлечения оценивали по β -активности раствора до и после сорбции с помощью сцинтилляционного β -спектрометра (СЕБ-02СЦ). Эффективность счета β -спектрометра составляла 95% (при доверительной вероятности 0,95), чувствительность — от 5 до $1,3 \cdot 10^5$ Бк/л (или от $8 \cdot 10^{-12}$ до $2 \cdot 10^{-7}$ г технеция), суммарная погрешность измерения, определяемая как сумма случайной и систематической погрешности, составляла 11—30%. Сорбционную емкость сорбентов, степень извлечения и коэффициенты распределения технеция определяли по методикам [10, 11]. Необходимый показатель рН достигали корректировкой раствора с помощью азотной кислоты и едкого натра (все реактивы имели марку х.ч.). Измерения рН проводили на иономере И-130.2М.

^{99}Tc использовали или в виде твердой соли пертехнетата аммония (NH_4TcO_4) с содержанием основного вещества более 99,98% или азотно-кислого раствора технеция с исходной концентрацией 100 мг/л, очищенного анионообменным способом, аликвоту которого непосредственно вводили в модельные или реальные растворы (табл. 1).

Таблица 1. Состав модельных и реальных растворов

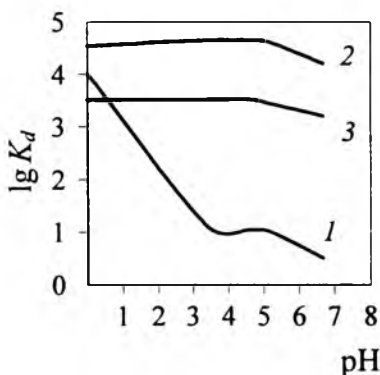
Тип раствора	Химический состав	Радионуклидный состав
Модельный раствор морской воды [10]	pH 8; катионы, г/л: $[\text{Na}^+]$ 11,05, $[\text{Mg}^{2+}]$ 1,326, $[\text{K}^+]$ 0,416, $[\text{Ca}^{2+}]$ 0,422, $[\text{Sr}^{2+}]$ 0,008; анионы, г/л: $[\text{Cl}^-]$ 19,87, $[\text{CO}_3^{2-}]$ 0,14, $[\text{SO}_4^{2-}]$ 1,856, $[\text{Br}^-]$ 0,07, $[\text{BO}_3^{3-}]$ 0,025, $[\text{NO}_3^-]$ 4,37	β -Активность: ^{99}Tc — $4,3 \cdot 10^5$ Бк/л
Оз. Карачай	pH 8,2; $[\text{Na}^+]$ 9 г/л, $[\text{Ca}^{2+}]$ 65 мг/л, $[\text{Mg}^{2+}]$ 70 мг/л, $[\text{NO}_3^-]$ 8 г/л, $[\text{HCO}_3^-]$ отсутствует, $[\text{NO}_2^-]$ 370 мг/л, $[\text{Cl}^-]$ 45 мг/л, $[\text{SO}_4^{2-}]$ 25 мг/л, сухой остаток 12,1 г/л	Суммарная α -активность $2,8 \cdot 10^4$ Бк/л
Скважина СК-2/99-77	pH 6,4; $[\text{Na}^+]$ 9 г/л, $[\text{Ca}^{2+}]$ 65 мг/л, $[\text{Mg}^{2+}]$ 70 мг/л, $[\text{NO}_3^-]$ 43 г/л, $[\text{HCO}_3^-]$ 170,9 мг/л, $[\text{NO}_2^-]$ 5,5 г/л, $[\text{Cl}^-]$ отсутствует, $[\text{SO}_4^{2-}]$ 320 мг/л	Уран 46,6 г/л, ^{90}Sr $8,5 \cdot 10^4$ Бк/л, ^{60}Co $4,4 \cdot 10^3$ Бк/л
Скважина СК-41/78-45	pH 9; $[\text{NO}_3^-]$ 25 г/л, $[\text{Cl}^-]$ 270 мг/л, $[\text{SO}_4^{2-}]$ 417 мг/л, $[\text{NO}_2^-]$ 4 г/л, аммоний 70 мг/л, сухой остаток 71,3 г/л	Уран 38 мг/л, ^{90}Sr $8,6 \cdot 10^5$ Бк/л, ^{60}Co $1,7 \cdot 10^4$ Бк/л, ^3H $9,3 \cdot 10^5$ Бк/л, ^{137}Cs $2 \cdot 10^5$ Бк/л
Сбросной раствор	$[\text{HNO}_3]$ 170 г/л, $[\text{H}_2\text{SO}_4]$ 3—5 г/л, $[\text{NH}_4\text{NO}_3]$ 0,04 моль/л, $[\text{Fe}^{3+}]$ 2,5 г/л (в виде $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$), $[\text{Cl}^-]$ 30 мг/л, $[\text{F}^-]$ 1 мг/л, $[\text{Mn}^{4+}]$ 0,05 г/л, $[\text{NO}_3^-]$ 210 г/л, $[\text{HNO}_2]$ 200 мг/л	α -Активность — $6,5 \cdot 10^4$ Бк/л, β -активность $9 \cdot 10^7$ Бк/л, γ -активность $1 \cdot 10^7$ Бк/л

В целях выбора сорбента была исследована сорбция технеция волокнистыми сорбентами из воды высокой минерализации (морской). Для дальнейшего исследования были выбраны следующие сорбенты: комплексообразующий ПОЛИОРГС 35, анионит ПОЛИОРГС АВ-17 и модифицированный ПОЛИОРГС АВ-17 АЗ (табл. 2). Сорбция технеция волокнистыми сорбентами существенно зависит от pH раствора. Исследования в статических условиях из растворов с малой ионной силой показали, что для выбранных сорбентов характерна разная зависимость коэффициентов распределения технеция от pH равновесной водной фазы (рис. 1). Для сильноосновных анионитов ПОЛИОРГС АВ-17 и ПОЛИОРГС АВ-17 АЗ коэффициент распределения высок и постоянен во всем исследованном интервале pH (3500 и 3300 соответственно). Для сорбента ПОЛИОРГС 35 он максимален только в кислой области pH (при pH <2 он равен 47 000), что характерно для слабо- и среднеосновных анионитов, работающих в узкоограниченной области pH.

Затем была исследована зависимость степени извлечения технеция волокнистыми сорбентами от времени контакта фаз. Для этого были приняты условия максимального извлечения технеция, т.е. кислая среда для сорбента ПОЛИОРГС 35 (рН_{исх} 1,2, рис. 2) и нейтральная для анионитов ПОЛИОРГС АВ-17 (ПОЛИОРГС АВ-17 АЗ) (модельная морская вода, рН_{исх} 8 и вода оз. Карачай рН_{исх} 8,2). Установлено, что волокнистые сорбенты обладают лучшими кинетическими свойствами по

Таблица 2. Извлечение ^{99}Tc из морской воды волокнистыми сорбентами при исходной активности $4,32 \cdot 10^3$ Бк/л, рН 6,5

Марка сорбента	Остаточная активность, Бк/л	Сорбция, %	K_d , мл/г
ПОЛИОРГС 32	259	40	67
ПОЛИОРГС 33	256	41	69
ПОЛИОРГС 34	334	23	29
ПОЛИОРГС 35	196	55	120
ПОЛИОРГС 33-н	362	16	19
ПОЛИОРГС 33 А1	211	51	100
ПОЛИОРГС АН-31	314	27	38
ПОЛИОРГС АН-31 А3	350	19	23
ПОЛИОРГС АВ-17 А3	62	84	600
ПОЛИОРГС АВ-17	26	94	1600



Р и с. 1. Зависимость сорбции ^{99}Tc от рН при исходной концентрации технеция 0,43 мг/л, 0,5 М NaCl сорбентом ПОЛИОРГС 35 (1), анионитом ПОЛИОРГС АВ-17 (2), модифицированным анионитом ПОЛИОРГС АВ-17 А (3)

как сразу теряют свои сорбционные свойства. При этом структура и функциональные группы сорбентов разрушаются. Трудность десорбции сорбента ПОЛИОРГС 35, по-видимому, связана с образованием прочных комплексов технеция с хелатообразующими группами сорбента, что приводит к невозможности регенерации. Недостатком модифицированного сорбента ПОЛИОРГС АВ-17 А3 является вымывание функциональных групп из структуры сорбента во время его контакта с раствором.

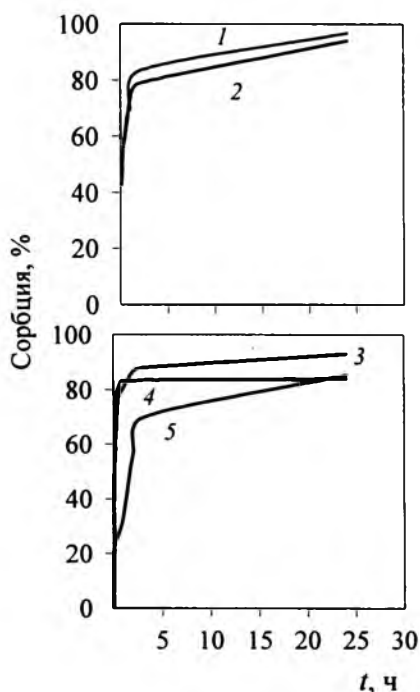
Для волокнистых сорбентов в отличие от гранульных характерна более развитая удельная поверхность, что особенно важно при концентрировании микроэлементов из больших объемов природных вод (при большом соотношении объема раствора к массе сорбента). Однако изучение сорбционной способности исследуемых сорбентов не подтвердило эту особенность волокнистых сорбентов. Как видно из рис. 4, с ростом соотношения объема раствора к массе сорбента коэффициенты распределения технеция сорбентов ПОЛИОРГС 35 и ПОЛИОРГС АВ-17 снижаются.

сравнению с гранульными. Технеций из воды оз. Карачай на 80% сорбируется в течение первых 30 мин. Кинетические свойства волокнистых комплексообразующего ПОЛИОРГС 35 и анионита ПОЛИОРГС АВ-17 в условиях кислой среды примерно одинаковы.

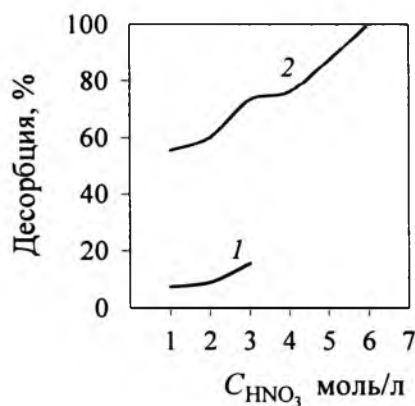
Представляет интерес выяснить возможность десорбции технеция азотной кислотой. Исследования показали, что сорбент ПОЛИОРГС АВ-17 можно многократно использовать, поскольку он способен к регенерации азотной кислотой концентрацией выше 5 моль/л (рис. 3). После десорбции и промывки сорбента до нейтральных промывных вод сорбция технеция на 6-м и 7-м циклах составляла 98,5 и 96% соответственно. Сорбенты ПОЛИОРГС 35 и ПОЛИОРГС АВ-17 А3 не пригодны к десорбции технеция азотной кислотой, так

Особенностью сорбционного концентрирования волокнистыми комплексообразующими сорбентами является сохранение высокой селективности к извлекаемым микроэлементам в присутствии макрокомпонентов, главным образом, солей щелочных и щелочно-земельных металлов [6, 7], в то время как применение ионообменных сорбентов является целесообразным при условии солесодержания в растворе не более 0,5—1 г/л [10]. Исследования сорбции технеция волокнистыми сорбентами ПОЛИОРГС 35 и ПОЛИОРГС АВ-17 в зависимости от солесодержания в растворе (солей NaCl, NaNO₃, Na₂CO₃, Na₂SO₄ концентрацией до 50 г/л) показали, что технеций почти полностью извлекается исследуемыми сорбентами при солесодержании до 20 г/л (извлечение технеция составляет не менее 90%, рис. 5).

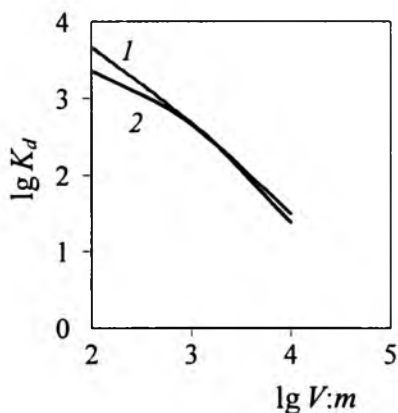
Несомненный интерес представляет исследование сорбционной способности волокнистых сорбентов при извлечении технеция из реальных загрязненных природных вод (на примере воды оз. Карачай, вод двух исследовательских скважин, а также сбросных растворов). Данные табл. 3 показывают, что с ростом солесодержания в растворе из вод с нейтральным pH сорбция технеция сорбентом ПОЛИОРГС АВ-17 существенно снижается. При этом следует отметить, что для вод скважин характерно более высокое солесодержание по сравнению с водой оз. Карачай. Та же тенденция наблюдается при извлечении технеция из кислых сбросных растворов (наиболее часто встречающихся на практике с концентрацией азотной кислоты до 3 моль/л и содержанием нитрат-иона до 180—190 г/л). Как видно из табл. 4, сорбционная способность обоих сорбентов невысока. Сорбция технеция сорбентом ПОЛИОРГС 35 составляет 25%, ПОЛИОРГС АВ-17 всего лишь 2,5%, т.е. с помощью этих сорбентов технеций почти не извлекается из крепких азотно-кислых растворов вследствие высокой концентрации азотной кислоты и нитрат-иона, так как сорбция пертех-



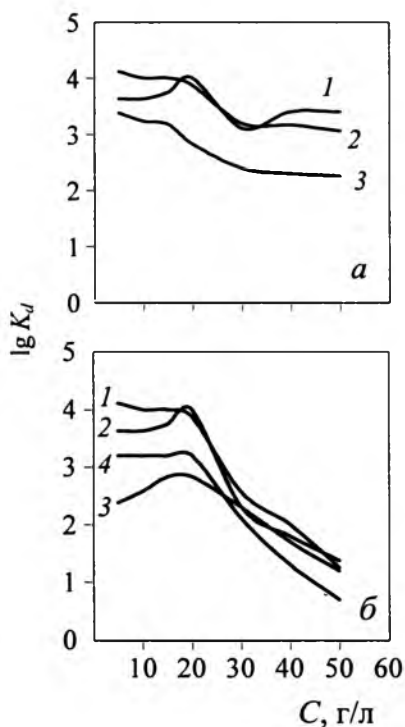
Р и с. 2. Зависимость сорбции ⁹⁹Tc от времени контакта фаз при исходной концентрации технеция 5,7 мг/л в кислой среде (сбросной раствор, pH 1,2) сорбентом ПОЛИОРГС 35 (1), анионитом ПОЛИОРГС АВ-17 (АВ-17 АЗ) (2) и нейтральной среде (модельная морская вода, pH 8) волокнистым анионитом ПОЛИОРГС АВ-17 (3), волокнистым анионитом АВ-17 АЗ (4), гранульным анионитом АВ-17 (5)



Р и с. 3. Зависимость степени десорбции технеция от концентрации азотной кислоты сорбентом ПОЛИОРГС 35 (1), анионитом ПОЛИОРГС АВ-17 (2)



Р и с. 4. Зависимость сорбции технеция от соотношения объема раствора к массе сорбента (сбросной раствор, исходная концентрация ^{99}Tc 5,7 мг/л, pH 1,2) сорбентом ПОЛИОРГС 35 (1), анионитом ПОЛИОРГС АВ-17 (2)



Р и с. 5. Зависимость сорбции технеция анионитом ПОЛИОРГС АВ-17 (исходная концентрация ^{99}Tc 6,3 мг/л) (а), сорбентом ПОЛИОРГС 35 (исходная концентрация ^{99}Tc 3,1 мг/л) (б) от содержания: 1 — Na_2CO_3 ; 2 — Na_2SO_4 ; 3 — NaNO_3 ; 4 — NaCl

нетат-иона подавлена конкурентной сорбцией нитрат-иона. Однако предварительная корректировка сбросного раствора путем разбавления до концентрации нитрат-иона $[\text{NO}_3]^-$ не более 10 г/л позволяет значительно увеличить извлечение технеция обоими сорбентами (для ПОЛИОРГС 35 до 98%, для ПОЛИОРГС АВ-17 до 96%).

Таким образом, на основе экспериментальных данных была показана возможность сорбционного концентрирования технеция из водных сред волокнистыми сорбентами ПОЛИОРГС 35 и ПОЛИОРГС АВ-17. Установлено, что их кинетические свойства выше по сравнению с гранульным сорбентом АВ-17. Преимуществом волокнистого анионита ПОЛИОРГС АВ-17 по сравнению с комплексобразующим сорбентом ПОЛИОРГС 35 является способность извлекать технеций в широком интервале pH, в то время как ПОЛИОРГС 35 извлекает технеций только в кислой среде (при $\text{pH} < 2$). Существенным недостатком сорбента ПОЛИОРГС АВ-17 является его зависимость от содержания в растворе, при высокой минерализации растворов (до 50 г/л) наблюдается резкое снижение его сорбционной способности. Однако в природных водах такое явление встречается не часто и в некоторых случаях может быть устранено разбавлением пробы, особенно в случае аналитического контроля. Еще одним преимуществом волокнистого сорбента ПОЛИОРГС АВ-17 является возможность десорбции и многократного повторного использования сорбента (до семи циклов). Сорбенты ПОЛИОРГС 35 и модифицированный ПОЛИОРГС АВ-17 АЗ благодаря перечисленным преимуществам могут быть рекомендованы, например, для аналитического контроля с помощью комбинированного сорбционно-рентгенофлуоресцентного метода анализа.

Авторы статьи выражают признательность Г.В. Мясоедовой за предоставленные для исследований синтезированные сорбенты.

Т а б л и ц а 3. Извлечение ^{99}Tc из загрязненных природных вод волокнистым сорбентом ПОЛИОРГС АВ-17 при исходной концентрации 1—10 мг/л

Среда	pH	Активность, кБк/мл		Сорбция, %
		исходная	остаточная	
Оз. Карачай (pH 7,6, сухой остаток 12,1 г/л)	7,3	31,2	4,863	84
Скважина СК-2/99-77 (pH 6,9, сухой остаток 63,1 г/л)	6,65	10,9	3,783	65
Скважина СК-41/78-45 (pH 0,45, сухой остаток 71,3 г/л)	0,1	1,7	0,955	44

Т а б л и ц а 4. Извлечение радионуклидов из загрязненных природных вод при исходной концентрации технеция 1—10 мг/л, %

Среда	ПОЛИОРГС 35					ПОЛИОРГС АВ-17				
	α -Излучающие		β -Излучающие			α -Излучающие		β -Излучающие		
	^{238}Pu	^{237}Np	^{99}Tc	^{137}Cs	$^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$	^{238}Pu	^{237}Np	^{99}Tc	^{137}Cs	$^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$
Скважина СК-41/78-45 (pH 1)	*	0	97	63	16	*	0	44	18	0
Скважина СК-2-99/77 (pH 6,8)	100	70	14	—	—	100	92	65	—	—
Оз. Карачай (pH 7,6)	91	97	10	25	—	95	89	84	1	16
Оз. Карачай (pH 0,5)**	42	27	100	8	0	67	0	100	31	11
Сбросной раствор (pH 0,5)	20	34	25	0	0	54	36	3	17,0	9
Сбросной раствор (разбавлен) (pH 1,2)	53	0	98	10	13	51	35	96	32	14

* ^{238}Pu в исходном растворе скважины нет.

**Среду воды оз. Карачай искусственно подкисляли до pH 0,5 для эффективной сорбции технеция сорбентом ПОЛИОРГС 35.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Хижняк Т.В., Герман К.Э., Фирсова Е.В. и др. Модельные исследования поглощения технеция-99 и нептуния-237 илами пресноводных озер эвтрофного и дистрофного характера. — Экологическая химия, 2001, № 10 (4), с. 233—237.
- Машкин А.Н., Шиков С.Л. Влияние некоторых природных и техногенных факторов на поведение технеция во внешней среде. — Радиохимия, 2000, т. 42, № 4, с. 188—192.
- Спицын В.И., Кузина А.С. Технеций. М.: Наука, 1981. 147 с.
- Волк В.И., Захаров И.В. Сорбция технеция (VII) некоторыми монофункциональными анионитами. — Радиохимия, 1977, т. 19, № 6, с. 794—798.
- Саввин С.Б. Органические реагенты группы арсеназо III. М.: Атомиздат, 1971. 348 с.
- Мясоедова Г.В., Саввин С.Б. Хелатообразующие сорбенты. М.: Наука, 1984. 171 с.
- Молочникова Н.П., Щербинина Н.И., Мясоедова Г.В. Концентрирование и извлечение радионуклидов из вод сорбцией на комплексообразующих сорбентах ПОЛИОРГС. — Радиохимия, 1997, т. 39, № 3, с. 280—283.
- Мясоедова Г.В., Никашина В.А., Молочникова Н.П. Свойства новых типов волокнистых сорбентов с амидоксимными и гидразидиновыми группами. — Журн. аналит. химии, 2000, т. 55, № 6, с. 611—615.

9. Медведева И.Б., Ровный С.И., Мясоедова Г.В. и др. Сорбционное извлечение Np(V) из водных сред комплексообразующими сорбентами ПОЛИОРГС. — Радиохимия, 2001, т. 43, № 4, с. 359—362.
10. Сенявин М.М. Ионный обмен в технологии анализа неорганических веществ. М.: Химия, 1980, с. 236—237.
11. Салдадзе К.М., Копылова-Валова В.Д. Комплексообразующие иониты. М.: Химия, 1980. 336 с.

Поступила в Редакцию 26.06.02

УДК 621.039.58.68 + 621.039.75.16

ОБОСНОВАНИЕ РАДИОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ БЕЗОПАСНЫЙ РЕЖИМ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЛУБИННЫХ ХРАНИЛИЩ

*Косарева И.М., Савушкина М.К. (Ин-т физической химии РАН),
Волин Ю.М., Кабакчи С.А. (ГНЦ РФ НИФХИ им. Л.Я. Карпова),
Ковалевич О.М. (НТУ по ядерной и радиационной безопасности
Госатомнадзора России), Ахунов В.Д., Борзунов А.И., Дьяков С.В.,
Короткевич В.М., Кудрявцев Е.Г., Лебедев В.А. (Минатом РФ)*

Захоронение жидких отходов в глубокозалегающие пласты-коллекторы, надежно изолированные от других водоносных горизонтов, является одним из способов обращения с радиоактивными отходами, реализованным на радиохимических предприятиях [1]. Почти 40-летний опыт эксплуатации глубинных хранилищ на Горно-химическом и Сибирском химическом комбинатах позволяет на сегодняшний день утверждать, что основные подходы и принципы, заложенные в основу метода, прогнозные расчеты распространения отходов в хранилищах были обоснованны и правильны, поскольку коррелируют с реальной ситуацией, характеризующейся результатами инструментального контроля.

Как показал анализ, в процессе эксплуатации глубинных хранилищ претерпели существенное изменение характеристики удаляемых отходов в плане концентрации как радионуклидов, так и основных макрокомпонентов. Это связано не только с совершенствованием технологического процесса, но и появлением нормативных документов, ограничивающих состав захораниваемых отходов. В период с 1963 до 1995 г. на захоронение направлялись отходы низкой, средней и высокой активности. Последние захоранивали в опытно-промышленном варианте, который предусматривал тщательный контроль за технологическим процессом: на каждый этап захоронения высокоактивных отходов составлялась специальная программа с учетом результатов предыдущих этапов, а также выполнялись прогнозные расчеты тепловых полей и миграции отходов. Указанные документы согласовывали с проектным (ВНИПИПромтехнология) и исследовательским институтами (ИФХ РАН), а также главным санитарным врачом. Как правило, удельная активность захораниваемых высокоактивных отходов составляла 150—220 ГБк/дм³. Начиная с 1995 г., после введения нормативного документа [2] удельный уровень захораниваемых отходов был ограничен категорией среднеактивных отходов, что на тот период времени соответствовало максимальной удельной β -активности 37 ГБк/дм³. Необ-