

Сечения ядерных реакций $V^{51}(\alpha, 3n)Mn^{52}$ и $Fe^{54}(d, \alpha)Mn^{52}$

Таблица 2

| Реакция $V^{51}(\alpha, 3n)Mn^{52}$ | | Реакция $Fe^{54}(d, \alpha)Mn^{52}$ | |
|-------------------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------|
| Энергия, Мэв | Сечения, мбарн | Энергия, Мэв | Сечения, мбарн |
| 40,8±1,0 | 173 | 20,8±0,5 | 10,7 |
| 39,3±1,1 | 155 | 19,55±0,5 | 11,7 |
| 37,8±1,2 | 144 | 18,15±0,6 | 13,5 |
| 36,3±1,2 | 126 | 16,7±0,6 | 16,8 |
| 34,8±1,3 | 100 | 15,1±0,7 | 21,1 |
| 33,3±1,3 | 72 | 13,4±0,7 | 25,2 |
| 31,6±1,4 | 36 | 11,55±0,7 | 28,3 |
| 30,0±1,4 | 9,4 | 9,0±0,8 | 16,0 |
| 28,2±1,5 | 1,2 | 6,6±0,8 | 5,9 |

В настоящей работе при изучении способов ($V + \alpha$) и ($Fe + d$) были измерены функции возбуждения реакций $V^{51}(\alpha, 3n)$ и $Fe^{54}(d, \alpha)$. Сечения последней реакции были измерены ранее до $E_p = 13$ Мэв [7] и в пределах ошибок согласуются с результатами настоящей работы. Однако все значения, полученные в настоящей работе, лежат несколько ниже. Это объясняется, по-видимому, тем, что авторы работы [7] измеряли активность Mn^{52} путем регистрации позитронов счетчиком Гейгера, при этом могло быть завышение результатов за счет рентгеновского и γ -излучения.

Значения сечений даны в табл. 2, функции возбуждения приведены на рис. 3. Представленные на рис. 1 кривые выходов для этих способов получения Mn^{52} построены как по значениям, измеренным на толстых образцах, так и путем интегрирования функций возбуждения.

Авторы благодарны Ю. Г. Севастьянову за радиохимическое выделение марганцевой фракции из облученных железных фольг.

Поступило в Редакцию 14/III 1968 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. I. Gruverman, P. Kruger. Internat. J. Appl. Rad. and Isotopes, 5, 21 (1959).
2. J. Wing, J. Huizinga. Phys. Rev., 128, 280 (1962).
3. J. Martin et al. Nucleonics, 13, No. 3, 28 (1955).
4. P. Kafalas, J. Irvine. Phys. Rev. 104, 703 (1956).
5. W. Burgus et al. Phys. Rev. 95, 750 (1954).
6. A. Aten, J. Halberstadt. Philips Techn. Rev., 16, No. 4 (1954).
7. Н. А. Власов и др. «Атомная энергия», 2, 169 (1957).
8. Н. Н. Краснов, П. П. Дмитриев. «Атомная энергия», 20, 57 (1966).
9. Н. Н. Краснов, П. П. Дмитриев. «Атомная энергия», 21, 52 (1966).

Применение фосфатцеллюлозы для очистки конденсата от микропримесей радиоактивных элементов

В. Ф. БАГРЕЦОВ, А. Д. ЧИСТЯКОВ, Е. А. ПЕТРОВА

УДК 621.039.714:541.18

На атомных электростанциях СССР очистку дезактивационных растворов осуществляют упариванием [1]. Получающийся конденсат обычно содержит незначительное количество солей (2,0—20,0 мг/л), а концентрации органических соединений (жиры, мыла, сульфокислоты, алкилсульфаты, оксигенированные алкилфенолы) обычно ниже чувствительности аналитических методов их определения. Однако концентрация радиоактивных изотопов, особенно стронция, в этих конденсатах иногда превышает предельно допустимые концентрации (ПДК) для вод открытых водоемов. Для доочистки таких конденсатов от радиоактивных элементов целесообразно использовать наиболее дешевые ионообменные материалы. К числу таких материалов относится фосфатцеллюлоза, которая обладает высокой ионообменной емкостью и хорошими кинетическими свойствами [2, 3].

Цель настоящей работы — изучение возможности применения фосфатцеллюлозы в NH_4 -форме для доочистки конденсата, получаемого на выпарных аппаратах при очистке дезактивационных растворов, от микропримесей.

Определенные количества исходного материала замачивали в дистиллированной воде и загружали в колонки диаметром 16 мм. Требуемая плотность загрузки достигалась механическим уплотнением фильтрующего слоя. Фильтрацию проводили снизу вверх при комнатной температуре. В пробах исходных растворов и фильтратов (объем пробы 200 мл) определяли удельную β -актив-

ность и pH. В некоторых опытах, кроме того, определяли содержание радиоактивных изотопов стронция, цезия, рутения, а также суммы редкоземельных элементов и иттрия (объем пробы 1 л). Все радиохимические и радиометрические анализы проводили для двух и более параллельных проб по известным методикам [4]. Расхождение в результатах параллельных определений не превышало 10%.

В начале работы было выяснено влияние плотности загрузки, высоты фильтрующего слоя и скорости фильтрации на степень очистки реального конденсата от суммы β -излучателей. Оказалось, что изменение плотности загрузки фосфатцеллюлозы в интервале 0,15—0,23 г/см³, высоты фильтрующего слоя от 22 до 50 см и скорости фильтрации от 0,3 до 15 м/ч на очистку раствора в пределах точности измерений не оказывает влияния. Очистка отобранной для этих опытов пробы конденсата была равна 65—70%. Время контакта конденсата с фосфатцеллюлозой изменялось от 1 до 44 мин. Из приведенных данных видно, что фосфатцеллюлоза в NH_4 -форме обладает достаточно хорошими кинетическими свойствами.

Так как на ионный обмен веществ, находящихся в растворе в микроконцентрациях, сильное влияние оказывает pH среды, нами было определено влияние pH на степень очистки конденсата от суммы β -излучателей (по суммарной β -активности). С этой целью были приготовлены три фильтра с высотой слоя фосфатцеллю-

лозы 22 см, плотностью загрузки 0,23 г/см³. Поскольку рН конденсатов, получаемых на выпарных аппаратах, колебалась в пределах 3,6–7,0, первая серия опытов была проведена с этими конденсатами без корректировки рН. Во второй серии опытов рН конденсатов понижали 5%-ным раствором азотной кислоты до 2,3–2,5, а в третьей серии опытов повышали 5%-ным раствором едкого натра до 8,7–9,3. Оказалось, что при фильтрации как кислых, так и щелочных конденсатов сорбция смеси радиоактивных элементов составляла 10–50%. Сорбция смеси радиоактивных изотопов из конденсата без корректировки рН составляла 50–87%. Таким образом, максимальное удаление суммы радиоактивных элементов из конденсатов происходит без регулировки рН, т. е. без добавления кислоты или щелочи.

Результаты опытов показали, что рН фильтруемого раствора оказывает также сильное влияние на фильтрационные свойства фосфатцеллюлозы. При одинаковом напоре (1,5 м вод. ст.) во второй серии опытов фильтрация прекратилась через 16 суток, в третьей — через 18 суток. Фильтрация конденсата в первой серии опытов прекратилась через 33 дня; было профильтровано 100 л конденсата, при этом уменьшения степени его очистки от смеси радиоактивных изотопов не наблюдали.

Колебание степени очистки (по суммарной β-активности) разных проб реального конденсата обусловлено, вероятно, их разным радиохимическим составом. Поэтому в ряде опытов была определена степень очистки конденсата от отдельных элементов. Из результатов, приведенных в табл. 1, следует, что фосфатцеллюлоза

Очистка конденсата с помощью тонкослойного фильтра фосфатцеллюлозы Таблица 2

| Номер пробы | Удельная активность конденсата, кюри/л | Объем профильтрованного конденсата, л | Очистка от β-излучателей (по суммарной β-активности), % | Очистка от Sr ⁸⁹ , Sr ⁹⁰ , % |
|-------------|--|---------------------------------------|---|--|
| 1 | 2,0·10 ⁻⁹ | 2,75 | 70,0 | — |
| 2 | 2,2·10 ⁻⁹ | 5,0 | 64,0 | 99,0 |
| 3 | 2,7·10 ⁻⁹ | 16,0 | 74,0 | 99,0 |
| 4 | 7,6·10 ⁻¹⁰ | 32,0 | 87,0 | — |
| 5 | 6,3·10 ⁻⁹ | 41,0 | 54,0 | 98,0 |

проявляет способность избирательно сорбировать стронций (очистка достигает 99%). Значительно хуже сорбируются редкоземельные элементы, цезий и рутений.

Для выяснения возможности применения тонкослойного фильтра были проведены опыты со слоем высотой 1 см и плотностью загрузки 0,23 г/см³ (объем фосфатцеллюлозы 2 см³). Скорость фильтрации поддерживали равной 1,5–1,8 л/ч.

Как видно из данных, приведенных в табл. 2, очистка конденсата от суммы β-излучателей на тонкослойном фильтре составляла 54–87%, очистка от Sr⁸⁹ и Sr⁹⁰ 98–99%. В наших опытах через фильтр был пропущен объем жидкости, превышающий 20 тыс. объемов сорбента.

Для сопоставления эффективности фосфатцеллюлозы и катионита КУ-2 пробы конденсата фильтровали параллельно через колонки, заполненные КУ-2 (Н⁺-форма) и фосфатцеллюлозой. Высота фильтрующего слоя в обеих колонках была 40 см, скорость фильтрации — 2 м/ч, плотность загрузки фосфатцеллюлозы — 0,23 г/см³. Оказалось, что на обоих катионитах очистка от стронция была одинакова и равнялась 98–99%. Редкоземельные элементы сорбировались фосфатцеллюлозой на 30–50%, а катионитом КУ-2 — на 85–98%. Очистка от суммы β-излучателей составляла в первом случае 80–85%, во втором — 92–98%. Таким образом, в условиях нашего опыта КУ-2 был более эффективен, особенно при очистке от редкоземельных элементов. Однако содержание редкоземельных элементов в конденсате, получаемом при упаривании радиоактивных дезактивационных растворов, как правило, ниже ПДК и нет необходимости полностью удалять эти радиоактивные изотопы. Доочистка конденсата чаще всего обусловлена повышенным по сравнению с ПДК содержанием Sr⁹⁰. Поэтому фосфатцеллюлоза как эффективный сорбент стронция может быть рекомендована взамен дорогостоящей ионообменной смолы КУ-2. В литературе указывается на применение фосфатцеллюлозы и целлюлозы для осветления растворов на намывных фильтрах [5,6]. Следовательно, и в рассматриваемом случае можно для доочистки конденсата от радиоактивных элементов использовать намывные фильтры с фосфатцеллюлозой.

В заключение необходимо отметить, что попытки регенерировать фосфатцеллюлозу различными реагентами не привели к положительным результатам. После регенерации фосфатцеллюлоза разбухает, и ее фильтрационные свойства резко ухудшаются. Поэтому данный сорбент целесообразно применять без регене-

Очистка конденсата от радиоактивных элементов с помощью фосфатцеллюлозы Таблица 1

| Номер пробы | Компоненты | Концентрация, кюри/л | | Очистка конденсата, % |
|-------------|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | в конденсате | в фильтрате | |
| 1 | Все β-излучатели (по суммарной β-активности) | 3,8·10 ⁻⁹ | 6,8·10 ⁻¹⁰ | 82,0 |
| | Sr ⁸⁹ , Sr ⁹⁰ | 8,0·10 ⁻¹⁰ | 8,0·10 ⁻¹² | 99,0 |
| | Редкоземельные элементы и иттрий | 7,0·10 ⁻¹⁰ | 2,1·10 ⁻¹⁰ | 70,0 |
| 2 | Все β-излучатели (по суммарной β-активности) | 1,7·10 ⁻⁹ | 5,1·10 ⁻¹⁰ | 70,0 |
| | Sr ⁸⁹ , Sr ⁹⁰ | 6,5·10 ⁻¹⁰ | 4,5·10 ⁻¹¹ | 93,0 |
| | Редкоземельные элементы и иттрий | 8,2·10 ⁻¹⁰ | 4,1·10 ⁻¹⁰ | 50,0 |
| 3 | Все β-излучатели (по суммарной β-активности) | 4,0·10 ⁻⁹ | 1,2·10 ⁻⁹ | 70,0 |
| | Sr ⁸⁹ , Sr ⁹⁰ | 1,9·10 ⁻⁹ | 1,9·10 ⁻¹¹ | 99,0 |
| | Редкоземельные элементы и иттрий | 5,5·10 ⁻¹⁰ | 2,3·10 ⁻¹⁰ | 58,0 |
| | Cs ¹³⁴ , Cs ¹³⁷ | 1,4·10 ⁻¹⁰ | 5,9·10 ⁻¹¹ | 42,0 |
| | Ru ¹⁰³ , Ru ¹⁰⁶ + Rh ¹⁰³ , Rh ¹⁰⁶ | 1,4·10 ⁻¹⁰ | 9,8·10 ⁻¹¹ | 30,0 |

Рации и после использования захоронять вместе с другими низкоактивными твердыми отходами.

Поступило в Редакцию 14/III 1968 г.
В окончательной редакции 6/IX 1968 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. И. Захаров и др. In book «Disposal of Radioactive Wastes into the Ground». Vienna, IAEA, 1967, p. 577.

2. Н. Н. Быковский и др. В сб. «Некоторые вопросы дозиметрии и радиометрии ионизирующих излучений». Под ред. Ю. В. Сивинцева. М., Госатомиздат, 1961, стр. 192.
3. T. Вгuck, R. A shley. Analyst, 92, 137 (1967).
4. Сборник радиохимических и дозиметрических методик. Под ред. Н. Гусева и др. М., Медгиз, 1959.
5. И. В. Шпанов. «Ж. Всес. хим. о-ва им. Менделеева», X, 43 (1965).
6. Г. Мюллер. Патент № 407950, кл. 12, 30 (ВО/d), Швейцария, 1966.

О применении спектрометра излучений человека для оценки потока нейтронов по наведенной активности Na^{24}

Ю. В. СИВИНЦЕВ, В. С. ЮЗГИН

УДК 539.1.074.3:539.122.164:539.12.08

В некоторых случаях, в частности при изучении последствий аварийной ситуации при работе с делющимися веществами, требуется оценить величину интегрального потока нейтронов. Эту оценку можно сделать, воспользовавшись связью между величиной интегрального потока нейтронов и количеством активированного натрия в теле человека, оказавшегося вблизи источника нейтронов. Размеры человеческого тела соответствуют нескольким длинам свободного пробега быстрых нейтронов. Поэтому можно ожидать, что вероятность захвата быстрого нейтрона тепловым не сильно зависит от первоначальной энергии нейтрона. Действительно, расчетами для фантома, имитирующего тело человека (тканеэквивалентный цилиндр радиусом 15 см), показано [1], что вероятность $\xi(E)$ замедления нейтрона до тепловой энергии и захвата в фантоме находится в интервале 33—50% при изменении энергии нейтронов от 5 кэв до 10 Мэв. Величина $\xi(E)$ для тепловых нейтронов составляет ~20%. Активность Na^{24} , наведенная в фантоме (или теле человека), оценивается по формуле

$$A = N\sigma_{Na}\lambda t \int_0^{\infty} \xi(E) \varphi(E) dE, \quad (1)$$

где $\varphi(E) dE$ — поток нейтронов в энергетическом интервале dE для энергии E ; λ — постоянная распада Na^{24} ; t — время облучения; N — число атомов Na^{23} в теле человека, рассчитанное в предположении, что в теле человека содержится 105 г натрия на 70 кг веса [2]; σ_{Na} — сечение активации натрия тепловыми нейтронами, равное 0,536 барн.

О величине активности Na^{24} во всем теле судят по активности крови, взятой у пострадавшего субъекта [1]. Другой способ измерения активности Na^{24} состоит в непосредственной регистрации γ -излучения всего тела с помощью спектрометра излучений человека (СИЧ). Хотя СИЧ нашел широкое применение в радиометрии излучений человека [3], определение фотоэффективности СИЧ остается одной из слабо разработанных проблем из-за сложных геометрических условий измерений.

С помощью метода Монте-Карло при использовании ЭЦВМ авторами настоящей работы рассчитана фотоэффективность однокристалльного СИЧ как функция поло-

жения детектора [кристалл NaI(Tl) диаметром 140 мм] над γ -источником сложной конфигурации. Для некоторых позиций (А и Б) детектора исследовалось влияние собственной высоты кристалла на фотоэффективность. На рис. 1, 2 и 3 приведены результаты расчетов, выполненных для энергии γ -квантов $E_{\gamma} = 2,76$ Мэв и источника, имитирующего тело «стандартного человека», в котором равномерно распределен изотоп Na^{24} . Аналогичные расчеты для квантов с $E_{\gamma} = 1,38$ Мэв, также испускаемых при распаде Na^{24} , по-видимому, нецелесообразны: если наведенная активность Na^{24} , окажется соизмеримой с активностью K^{40} , всегда имеющегося в теле человека, то спектрометрическое разделение квантов с энергиями 1,38 Мэв (Na^{24}) и 1,46 Мэв (K^{40}) будет затруднено.

По рассчитанным зависимостям легко определить величину фотоэффективности спектрометра в соответ-

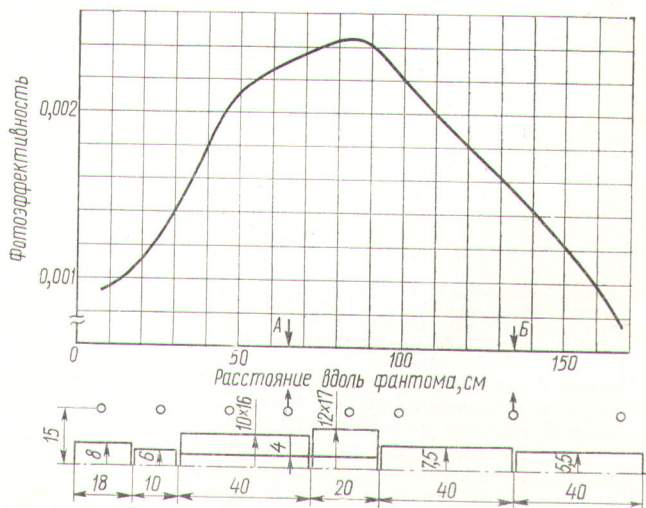


Рис. 1. Изменение фотоэффективности спектрометра при перемещении кристалла NaI(Tl) (диаметром 140 и высотой 100 мм) вдоль фантома (набор цилиндров и эллипсоидов).

Кружками отмечено положение центра нижнего основания кристалла (размеры в сантиметрах).