

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-4-30-36>

УДК 546.249:612.461.17:331.435

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОНИЯ-210 В ПРОБАХ УРИНЫ. ОЦЕНКА ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК

¹⁾ Умарова А.В., ²⁾ Шатров А.Н., ¹⁾ Умаров М.А., ¹⁾ Шакенова Ю.А.

¹⁾ Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

²⁾ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера» Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

E-mail для контактов: karimova_a@nnc.kz

На основе современных представлений физико-химических свойств полония и современных методов его определения был разработан метод радиохимического определения ^{210}Po в пробах урины с альфа-спектрометрическим окончанием. Апробация метода была проведена на суточных пробах урины персонала филиала «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК. Определен диапазон абсолютной активности ^{210}Po на точную пробу урины, который составил $1,8 \cdot 10^{-3} \pm 0,12$ Бк. Рассчитана оценка вклада ^{210}Po в общую дозу внутреннего облучения персонала филиала, которая составила 0,3 мЗв/год.

Ключевые слова: радиохимическое определение, мокрое озоление, гидроксидное осаждение, автоосаждение, альфа-спектрометрическое измерение, внутреннее облучение, ингаляционное поступление, биокинетическая модель.

ВВЕДЕНИЕ

Полоний-210 – один из наиболее опасных для человека радионуклидов. По степени воздействия на человеческий организм он относится к группе радионуклидов с особо высокой токсичностью. По классификации IARC (International Agency for Research on Cancer) ^{210}Po отнесен к первой группе канцерогенов человека [1].

В организм человека полоний может проникнуть ингаляционно, алиментарным путем, через поврежденную и неповрежденную кожу. Распределение полония в организме сравнительно равномерное, однако преимущественно он накапливается в органах, богатых ретикулоэндотелиальной тканью. В течение короткого срока после поступления ^{210}Po в организм, наибольшие поглощенные дозы накапливаются в почках, селезенке и печени, являющихся критическими органами. При ингаляционном поступлении до 30% полония задерживается в органах дыхания. В ранние сроки после поступления в организм ^{210}Po выводится преимущественно (до 90%) с калом, позже – с уриной. Естественный вывод ^{210}Po из организма затруднен, так как он не входит в состав химических соединений, участвующих в метаболизме. Эффективный период полувыведения ^{210}Po составляет 30–40 суток [2–4].

Урина, образующаяся в почках, отражает концентрацию радионуклидов, в том числе и ^{210}Po в системе кровообращения, поэтому измерение их содержания в пробах урины является важной задачей, позволяющей судить о накоплении радионуклидов в организме человека по времени. Однако радиохимический анализ проб урины на содержание ^{210}Po затруднен из-за летучести его органических соединений. Поэтому необходимо выявить оптимальные условия радиохимического определения ^{210}Po , при которых возможно извлечение ^{210}Po из проб урины с наименьшими потерями извлекаемого радионуклида. Вышесказанное отражает актуальность темы исследования.

Целью работы является постановка метода определения активности ^{210}Po в пробах урины и оценка доз внутреннего облучения от данного радионуклида.

В соответствии с поставленной целью были определены следующие задачи:

- 1) разработать схему радиохимического определения активности ^{210}Po в пробах урины с α -спектрометрическим окончанием;
- 2) определить активность ^{210}Po в суточных пробах урины;
- 3) оценить дозу внутреннего облучения человека от ^{210}Po .

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Полоний-210 – практически чистый альфа-излучатель с высокой энергией альфа-частиц (5,305 МэВ); выход γ -квантов составляет $1,1 \cdot 10^{-30}\%$, а дозовый конверсионный фактор для этого радионуклида имеет одно из самых высоких значений для радиоактивных элементов. Радиологическая значимость ^{210}Po обусловлена его радиоактивными и химическими свойствами [3, 5].

По химическим свойствам полоний – прямой аналог серы, селена и теллура. Он проявляет валентности 2–, 2+, 4+, 6+, что естественно для элемента этой группы [6]. Наиболее устойчивой является степень окисления +4.

Согласно современным представлениям, устойчивость полония в различных степенях окисления может быть представлена схематически (рисунок 1):

Данная схема позволяет предсказать степень окисления полония в растворе при действии различных окислителей и восстановителей, что очень важно для радиохимического анализа. Однако следует учитывать, что в растворах галогеноводородных кислот, уксусной, щавелевой и некоторых других органических кислот полоний образует прочные комплексные соединения, в которых он находится в наиболее характерной степени окисления +4.

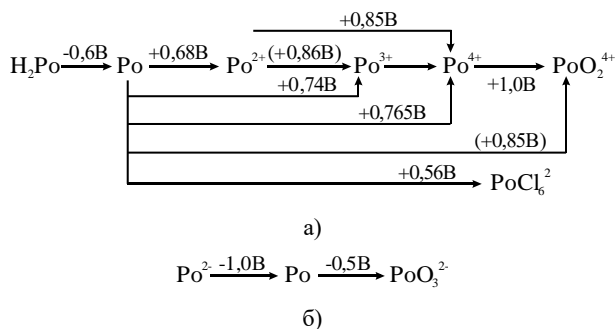


Рисунок 1. Система окислительно-восстановительных реакций полония: а) в кислых растворах, б) в щелочных растворах

Кроме того, для Po (IV) характерно образование устойчивых гидросокомплексов. В растворах других кислот, таких, как азотная, серная, хлорная, для которых нехарактерно образование комплексов с полонием, имеет место диспропорционирование Po (IV) с образованием соединений двух- и шестивалентного полония.

В водных растворах в области $pH > 1$ все соли и комплексные соединения полония гидролизуются. При значениях $pH = 4,5-5$ образуется гидроксид полония (IV), растворимый при $pH = 12$. Склонность к гидролизу и комплексообразованию наряду с повышенной сорбируемостью гидролизных форм полония осложняет изучение химии этого элемента [3].

Валентное состояние +2 проявляется в образовании галогенных и некоторых других солей (например, сульфидов). Четырехвалентному состоянию полония отвечают двуокись PoO_2 , галогениды PoX_4 и др. соли. Известно большое число полонийорганических соединений типа R_2PoX_2 , $RPoX_3$ и R_3PoX , где R – органический радикал. Четырехвалентный полоний даёт большое число комплексных соединений с органическими растворителями: ацетоном, изопропиловым эфиром, метилизобутилкетон, трибутилфосфатом и др. Полоний образует элементарноорганические соединения следующих типов: PoR_2 , PoR_4 , PoR_3X , PoR_2X_2 и $PoRX_3$, где R — алкил или арил, X — галоген. Известны также полонаты, в которых полоний шестивалентен, полониды, аналогичные сульфидам. Полоний хорошо адсорбируется на различных материалах, особенно на металлах [4, 7, 8].

2 ПОСТАНОВКА МЕТОДА РАДИОХИМИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ^{210}Po В ПРОБАХ УРИНЫ

Обзор и анализ большого объема научной литературы, касающийся физико-химических свойств полония, современных методов его определения в различных объектах окружающей среды [5–12], а также

большого массива экспериментальных данных, позволили обобщить схему радиохимического определения активности ^{210}Po в пробах урины (рисунок 2).

2.1 Подготовка пробы

Подготовка проб урины к радиохимическому анализу на содержание ^{210}Po заключается в измерении объема суточной пробы и консервировании концентрированной азотной кислотой из расчета 9 мл кислоты на 500 мл урины.

2.2 Мокрое озонение

Упаривают пробу урины до влажных солей при температуре $120-150\text{ }^{\circ}\text{C}$, с закрытым часовым стеклом. Ограничение температуры озонения объясняется летучестью соединений ^{210}Po , особенно органических [13–16].

Полученный остаток растворяют в концентрированной азотной кислоте, с добавлением пероксида водорода и упаривают досуха, данную процедуру повторяют до образования белых солей. Образование белого осадка говорит о том, что органическая матрица пробы полностью разрушена. После растворения осадка приступают к стадии гидроксидного осаждения.

2.3 Гидроксидное осаждение

В работах Бахур А.Е., Мануиловой Л.И., Овсянниковой Т.М. и др. (ФГУП «ВИМС», РФ, г. Москва) проводились работы по выделению ^{210}Po из проб природных объектов на металлический диск [9–11], минуя стадию предварительного концентрирования на гидроксиде железа. С целью проверки необходимости проведения этой стадии был поставлен эксперимент, в ходе которого было проведено радиохимическое выделение ^{210}Po из проб урины на медный диск с предварительным соосаждением на гидроксиде железа и без него. В результате эксперимента было доказано, что при радиохимическом выделении ^{210}Po из проб урины стадия соосаждения необходима, в противном случае получается «толстый» источник, который ведет к искажению α -спектра ^{210}Po , в частности образование «хвоста» пика полного поглощения в сторону низких энергий. Это может быть связано с тем, что в пробах урины содержится большое количество макро- и микрокомпонентов, которые приводят к увеличению толщины счетного образца с ухудшением его спектрометрических характеристик, как это показано на рисунке 3, а. Благодаря стадии соосаждения на гидроксиде железа большинство из мешающих компонентов остается в фильтрате, таким образом, устраняется их влияние (см. рисунок 3, б).

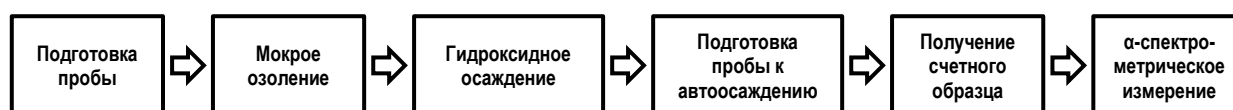


Рисунок 2. Схема радиохимического определения ^{210}Po

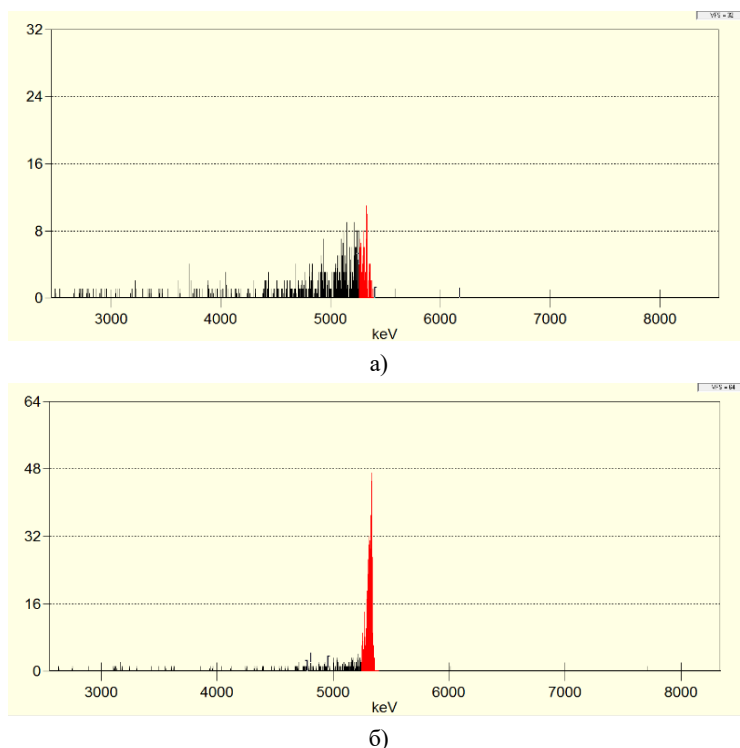


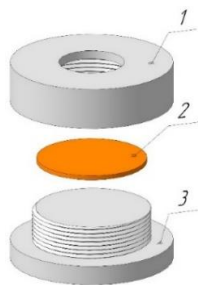
Рисунок 3. α -спектр ^{210}Po , полученный, минуя стадию гидроксидного осаждения (а), и в результате проведения стадии гидроксидного осаждения (б)

2.4 Подготовка пробы к автоосаждению

Данная стадия заключается в растворении осадка гидроксида железа, содержащего ^{210}Po концентрированной соляной кислотой с последующим установлением кислотности раствора до оптимальных значений. При определении ^{210}Po следует принимать меры для предотвращения его сорбции на стекле, с этой целью концентрацию раствора доводят до 2 моль/дм³ по соляной кислоте и не ниже 2% по лимонной кислоте. Осаждению ^{210}Po мешает ион трехвалентного железа, для устранения влияния которого добавляют аскорбиновую кислоту, которая восстанавливает его до двухвалентного состояния [11, 12, 18].

2.5 Получение счетного образца путем автоосаждения

Для осаждения ^{210}Po была разработана фторопластовая ячейка, позволяющая осадить радионуклид с одной стороны медного диска (рисунок 4).



1 – завинчивающаяся часть ячейки; 2 – медный диск;
3 – основание ячейки

Рисунок 4. Фторопластовая ячейка для осаждения ^{210}Po

Для получения тонкослойного источника осаждение ^{210}Po на медный диск необходимо проводить при постоянном перемешивании и нагреве, что достигается с применением магнитной мешалки с подогревом. Время осаждения 8 часов, для дополнительного контроля полноты выделения ^{210}Po проводят осаждение на втором диске. В том случае, если активность ^{210}Po на втором диске не превышает 5% от активности на первом диске за результат измерений принимают активности на первом и втором дисках. В противном случае, проводят выделение и на третьем диске с последующим измерением активности радионуклида [11, 12, 18].

2.6 Альфа-спектрометрическое измерение

Измерения счетных образцов проводилось на альфа-спектрометре Alpha Analyst производства Canberra. Обработка спектра выполнялась в полуавтоматическом режиме с использованием ПО Genie2000 и MS Excell. Ниже описан принцип выполненных измерений.

Счетный образец устанавливается на минимальное расстояние к детектору. Время экспозиции определяется активностью образца. Основным критерием выбора минимально необходимой экспозиции является набор числа импульсов в окне регистрации радионуклида, обеспечивающего статистическую погрешность измерения не хуже 20%.

Расчет абсолютной активности ^{210}Po на подложке проводят по формуле:

$$A = \frac{S - S_F}{\varepsilon}, \quad (1)$$

где: A – активность ^{210}Po , Бк; S – скорость счета в окне регистрации радионуклида, имп/с; S_F – скорость счета фона в окне регистрации радионуклида, имп/с; ε – эффективность детектора (в расчетах принимается значение 0,3).

Скорость счета в окне регистрации S рассчитывается как:

$$S = \frac{N}{t}, \quad (2)$$

где: N – число импульсов в окне регистрации, имп; t – время экспозиции образца или фона, с.

От каждой пробы на альфа-спектрометрический анализ поступает три подложки. Результирующая удельная активность пробы $A_{y\phi}$ рассчитывается согласно выражению:

$$A_{y\phi} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{V}, \quad (3)$$

где: A_i – абсолютная активность ^{210}Po на подложке после i -го осаждения, Бк; V – объем пробы, л.

3 СОДЕРЖАНИЕ ^{210}Po В ПРОБАХ УРИНЫ

Представленную выше схему радиохимического определения ^{210}Po в пробах урины апробировали на суточных пробах урины персонала филиала «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК. Результаты α -спектрометрического определения ^{210}Po представлены в таблице.

Таблица. Содержание ^{210}Po в суточных пробах урины

Номер пробы	Удельная активность ^{210}Po , Бк/кг	Номер пробы	Удельная активность ^{210}Po , Бк/кг
1	$1,9 \cdot 10^{-2} \pm 0,3 \cdot 10^{-2}$	21	$5,0 \cdot 10^{-3} \pm 0,7 \cdot 10^{-3}$
2	$3,3 \cdot 10^{-2} \pm 0,6 \cdot 10^{-2}$	22	$2,7 \cdot 10^{-3} \pm 0,5 \cdot 10^{-3}$
3	$3,6 \cdot 10^{-2} \pm 0,7 \cdot 10^{-2}$	23	$4,2 \cdot 10^{-3} \pm 0,8 \cdot 10^{-3}$
4	$4,3 \cdot 10^{-2} \pm 0,7 \cdot 10^{-2}$	24	$1,2 \cdot 10^{-3} \pm 0,4 \cdot 10^{-3}$
5	$2,5 \cdot 10^{-2} \pm 0,5 \cdot 10^{-2}$	25	$2,4 \cdot 10^{-3} \pm 0,6 \cdot 10^{-3}$
6	$4,4 \cdot 10^{-2} \pm 0,2 \cdot 10^{-2}$	26	$1,2 \cdot 10^{-3} \pm 0,4 \cdot 10^{-3}$
7	$3,8 \cdot 10^{-2} \pm 0,6 \cdot 10^{-2}$	27	$3,6 \cdot 10^{-3} \pm 1,1 \cdot 10^{-3}$
8	$1,4 \cdot 10^{-2} \pm 0,4 \cdot 10^{-2}$	28	$2,9 \cdot 10^{-3} \pm 0,3 \cdot 10^{-3}$
9	$3,9 \cdot 10^{-2} \pm 0,2 \cdot 10^{-2}$	29	$1,5 \cdot 10^{-3} \pm 1,0 \cdot 10^{-3}$
10	$8,3 \cdot 10^{-2} \pm 0,5 \cdot 10^{-2}$	30	$2,8 \cdot 10^{-3} \pm 0,8 \cdot 10^{-3}$
11	$2,6 \cdot 10^{-2} \pm 0,5 \cdot 10^{-2}$	31	$1,7 \cdot 10^{-3} \pm 1,2 \cdot 10^{-3}$
12	$4,8 \cdot 10^{-2} \pm 0,7 \cdot 10^{-2}$	32	$2,6 \cdot 10^{-3} \pm 0,5 \cdot 10^{-3}$
13	$3,0 \cdot 10^{-2} \pm 1,0 \cdot 10^{-2}$	33	$3,5 \cdot 10^{-3} \pm 1,1 \cdot 10^{-3}$
14	$3,3 \cdot 10^{-2} \pm 0,5 \cdot 10^{-2}$	34	$3,8 \cdot 10^{-3} \pm 0,3 \cdot 10^{-3}$
15	$3,6 \cdot 10^{-2} \pm 0,6 \cdot 10^{-2}$	35	$1,5 \cdot 10^{-3} \pm 1,0 \cdot 10^{-3}$
16	$1,7 \cdot 10^{-2} \pm 0,4 \cdot 10^{-2}$	36	$2,0 \cdot 10^{-3} \pm 0,7 \cdot 10^{-3}$
17	$1,2 \cdot 10^{-2} \pm 0,3 \cdot 10^{-2}$	37	$3,1 \cdot 10^{-3} \pm 0,8 \cdot 10^{-3}$
18	$6,0 \cdot 10^{-2} \pm 1,0 \cdot 10^{-2}$	38	$1,8 \cdot 10^{-3} \pm 0,7 \cdot 10^{-3}$
19	$4,3 \cdot 10^{-2} \pm 0,4 \cdot 10^{-2}$	39	$3,6 \cdot 10^{-3} \pm 1,1 \cdot 10^{-3}$
20	$2,7 \cdot 10^{-2} \pm 0,6 \cdot 10^{-2}$	40	$5,9 \cdot 10^{-3} \pm 1,5 \cdot 10^{-3}$

Удельная активность ^{210}Po в пробах урины персонала варьирует от $1,2 \cdot 10^{-3}$ до $8,3 \cdot 10^{-2}$ Бк/кг, при среднем его значении $1,9 \cdot 10^{-2}$ Бк/кг. Диапазон абсолютной активности на суточную пробу урины составил $1,8 \cdot 10^{-3} \div 0,12$ Бк, что ниже предела годового поступления с воздухом ($2,5 \cdot 10^2$ Бк/год) и пищей ($1,1 \cdot 10^2$ Бк/год) [19].

4 ОЦЕНКА ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

На основе результатов определения ^{210}Po в суточных пробах урины проведена оценка доз внутреннего облучения. Главным путем поступления выбран ингаляционный путь. Расчеты проводились с использованием биокинетической модели ^{210}Po (рисунок 5). В качестве примера на рисунке 6 представлен график выведения ^{210}Po с уриной для однократного ингаляционного поступления.

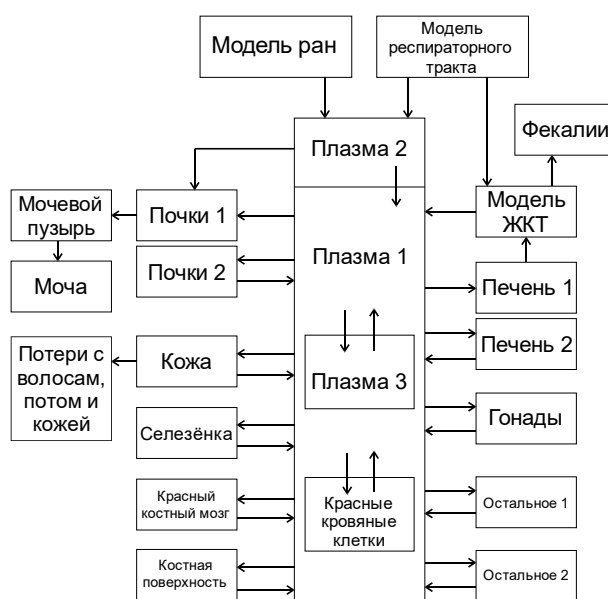


Рисунок 5. Биокинетическая модель ^{210}Po [21]

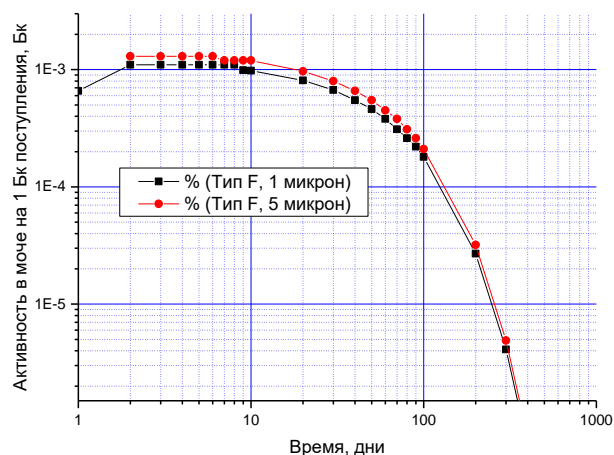


Рисунок 6. График выведения ^{210}Po с уриной при ингаляционном поступлении

С использованием данной модели была получена функция выведения ^{210}Po с уриной на 1 Бк хронического ингаляционного поступления, со скоростью 1 Бк/сутки (рисунок 6). Поступление активности в случае хронического поступления рассчитывается согласно выражению [20]:

$$I = \frac{T \times A}{\sum_{i=1}^T m(T + t - i)}, \quad (4)$$

где: A – активность радионуклида в пробе урины, Бк; T – период поступления, сутки; t – время после окончания поступления и момента измерения, сутки.

В общем случае дозы внутреннего облучения рассчитываются как произведение поступления радиоактивности на дозовый коэффициент для соответствующего пути поступления:

$$D = I \times d, \quad (5)$$

где: d – дозовый коэффициент, Зв/Бк.

Согласно расчетам, доза внутреннего облучения от ^{210}Po составила в среднем 0,3 мЗв/год, что согласуется с литературными данными [22].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных работ, отработана схема радиохимического определения активности ^{210}Po в пробах урины, которая состоит из следующих стадий: подготовка пробы, мокрое озоление, гидроксидное осаждение, подготовка пробы к автоосаждению, получение счетного образца, альфа-спектрометрическое измерение. Установлена средняя удельная активность ^{210}Po в пробах урины персонала филиала ИРБЭ РГП НЯЦ РК, которая составила $1,9 \cdot 10^{-2}$ Бк/кг, диапазон абсолютной активности составил $1,8 \cdot 10^{-3} \div 0,12$ Бк (что ниже предела годового поступления с воздухом и пищей), а доза внутреннего облучения от ^{210}Po составила в среднем 0,3 мЗв/год.

ЛИТЕРАТУРА

1. Т.М. Penning. Chemical carcinogenesis. 2011, P. 67.
2. Радиационная медицина: учеб. пособие / А.Н. Гребенюк, В.И. Лебеза, В.И. Евдокимов, В.В. Салухов, А.А. Тимошевский; под ред. С.С. Алексанина, А.Н. Гребенюка; Всерос. центр. экстрен. и радиац. медицины им. А.М. Никифорова МЧС России. – СПб.: Политехника-сервис, 2013. – Ч. 2: Клиника, профилактика и лечение радиационных поражений. – С. 73–74. – 150 экз. – ISBN 978-5-906555-07-6.
3. Калистратова В.С., Беляев И.К., Жорова Е.С., Нисимов П.Г., Парфенова И.М., Тищенко Г.С., Цапков М.М. Радиобиология инкорпорированных радионуклидов; под ред. В.С. Калистратовой. – Изд-во ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2012 – С. 56–80. – 150 экз. – ISBN 978-5-9903385-3-1.
4. Власов В.К. Пример ситуационного радиологического анализа (Инцидент с полонием-210) / В.К. Власов, Т.Б. Петрова, А.М. Афиногенов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2, Химия. – 2008. – Т. 49, № 4. – С. 274–281.
5. De Boeck R. Determination of Po-210 in Pb / R. De Boeck, F. Adams, J. Hoste // Journal of Radioanalyt. Chemical 1968, Vol. 1, No. 5. – 397 p.
6. Cherry R.D. The alpha radioactivity of marine organisms / R.D. Cherry, L.V. Shannon // Atomic Energy Rev. – 1974. – Vol. 12. – P. 3–45.
7. Ершова З.В. Полоний и его применение / З.В. Ершова, А.Г. Волгин. – М.: Атомиздат, 1974. – 232 с.: ил. – Библиогр.: с. 217–230 (286 назв.).
8. Ампельгова Н.И. Радиохимия полония. М.: Атомиздат, 1976. – С. 144.
9. Бахур А.Е. Радиоактивность природных вод // АНРИ. – 1996/97. – № 2 (8). – С. 32–39.
10. Бахур А.Е., Березина Л.А., Иванова Т.М. Радиографические методы исследования природных и техногенных объектов // АНРИ. – 2006. – № 4(47). – С. 22–30.
11. Бахур А.Е., Мануилова Л.И., Овсянникова Т.М. Po-210 и Pb-210 в объектах окружающей среды. Методы определения // АНРИ. – 2009. – № 1. – С. 29–40.
12. МВИ.МН 2608–2006 Методика определения удельной активности естественных радионуклидов (полония-210, свинца-210, радия-224, радия-228) в пробах поверхностной и питьевой воды. – Гомель. – 2006.
13. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества: справочник / В.А. Баженов, Л.А. Булдаков, И.Я. Василенко и [др.]; ред. В.А. Филов, Л.А. Ильин. – Ленинград: Химия, 1990. – 464 с. – Библиогр.: с. 461. – ISBN 5-7245-0216-X: 1.00 p.
14. Flynn W. Determination of low levels of Po-210 in environmental materials. *Anal. Chim. Acta*, 1968, Vol. 43, No. 2, p. 1447.
15. Ермолаева-Маковская А.П. Свинец-210 и полоний-210 в биосфере / А.П. Ермолаева-Маковская, Б.Я. Литвер. – М.: Атомиздат, 1978, с. 160.
16. Richard L. Blanchard. Rapid determination of Pb-210 and Po-210 in environmental samples by Ni deposition. *Anal. Chem.*, 1966, Vol. 2, pp. 189–192.
17. МУ МЗ и СЗ ПМР 2.6.1.4315-12 «Проведение измерений удельной активности полония-210 в пробах объектов окружающей среды, растительности, пищевых продуктов для радиохимического анализа» // Приложение к приказу Министерства здравоохранения и социальной защиты Приднестровской Молдавской Республики от 20.08.2012 г. № 449.
18. Umarova A.V. Determination of optimal conditions for the radiochemical release of polonium-210 from environmental samples / A.V. Umarova, V.V. Kashirskiy, M.A. Umarov, Y.A. Shakenova // *Journal of Radiation Researches*, Vol. 5, No. 2, 2018, Baku. – P. 273–274.
19. Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности». – 2015. – 122 с.
20. Ishigure N. Development of Software for Supporting Internal Dose Estimation / N. Ishigure, M. Matsumoto, T. Nakano, H. Enomoto // 11th International Congress of the International Radiation Protection Association, 23-28 May 2004, Madrid. Spain.
21. R.W. Leggett, K.F. Eckerman. A systemic biokinetic model for polonium. *The Science of the Total Environment*. 2001. P. 109–125.
22. Аликбаева Л.А. Новый справочник химика и технолога. Радиоактивные вещества. Вредные вещества. Гигиенические нормативы / Л.А. Аликбаева, М.А. Афонин, А.П. Ермолаева-Маковская, Л.И. Клочкова [и др.]; ред. А.В. Москвин, В.В. Семенова, В.Ф. Теплых. – С.-Пб.: АНО НПО «Профессионал», 2005. – 1142 с. – ISBN 5-98371-025-7.

REFERENCES

1. T.M. Penning. Chemical carcinogenesis. 2011, P. 67.
2. Radiatsionnaya meditsina: ucheb. posobie / A.N. Grebenyuk, V.I. Legeza, V.I. Evdokimov, V.V. Salukhov, A.A. Timoshevskiy; pod. red. S.S. Aleksanina, A.N. Grebenyuka; Vseros. tsentr. ekstren. i radiats. meditsiny im. A.M. Nikiforova MChS Rossii. – SPb.: Politehnika-servis, 2013. – Ch. 2: Klinika, profilaktika i lechenie radiatsionnykh porazheniy. – P. 73–74. – 150 ekz. – ISBN 978-5-906555-07-6.
3. Kalistratova V.S., Belyaev I.K., Zhorova E.S., Nisimov P.G., Parfenova I.M., Tishchenko G.S., Tsapkov M.M. Radiobiologiya inkorporirovannykh radionuklidov; pod red. V.S. Kalistratovoy. – Izdatel'stvo FMBTs im. A.I. Burnazyana FMBA Rossii, 2012 – P. 56–80. – 150 ekz. – ISBN 978-5-9903385-3-1.
4. Vlasov V.K. Primer situatsionnogo radiologicheskogo analiza (Intsident s poloniem-210) / V.K. Vlasov, T.B. Petrova, A.M. Afinogenov // Vestn. Moscow un-ta. Ser. 2, Khimiya. – 2008. – T. 49, No. 4. – P. 274–281.
5. De Boeck R. Determination of Po-210 in Pb / R. De Boeck, F. Adams, J. Hoste // Journal of Radioanalyt. Chemical 1968, Vol. 1, No. 5. – 397 p.
6. Cherry R.D. The alpha radioactivity of marine organisms / R.D. Cherry, L.V. Shanon // Atomic Energy Rev. – 1974. – Vol. 12. – P. 3–45.
7. Ershova Z.V. Poloniy i ego primeneniye / Z.V. Ershova, A.G. Volgin. – M.: Atomizdat, 1974. – 232 p.: il. – Bibliogr.: p. 217–230 (286 nazv.).
8. Ampelogo N.I. Radiokhimiya poloniya. Moscow: Atomizdat, 1976. – P. 144.
9. Bakhur A.E. Radioaktivnost' prirodnykh vod // ANRI. – 1996/97. – No 2 (8). – P. 32–39.
10. Bakhur A.E., Berezina L.A., Ivanova T.M. Radiograficheskie metody issledovaniya prirodnykh i tekhnogennykh ob"ektov // ANRI. – 2006. – No. 4(47). – P. 22–30.
11. Bakhur A.E., Manuilova L.I., Ovsyannikova T.M. Ro-210 i Pb-210 v ob"ektakh okruzhayushchey sredy. Metody opredeleniya // ANRI. – 2009. – No. 1. – P. 29–40.
12. MVI.MN 2608–2006 Metodika opredeleniya udel'noy aktivnosti estestvennykh radionuklidov (poloniya-210, svintsya-210, radiya-224, radiya-228) v probakh poverkhnostnoy i pit'evoy vody. – Gomel'. – 2006.
13. Vrednye khimicheskie veshchestva. Radioaktivnye veshchestva: spravochnik / V.A. Bazhenov, L.A. Buldakov, I.Ya. Vasilenko i [dr.]; red. V.A. Filov, L.A. Il'in. – Leningrad: Khimiya, 1990. – 464 p. – Bibliogr.: p. 461. – ISBN 5-7245-0216-Kh: 1.00 r.
14. Flynn W. Determination of low levels of Po-210 in environmental materials. Analyt. Chim. Acta, 1968, Vol. 43, No. 2, P. 1447.
15. Ermolaeva-Makovskaya A.P. Svinets-210 i poloniy-210 v biosfere / A.P. Ermolaeva-Makovskaya, B.Ya. Litver. – Moscow: Atomizdat, 1978, p. 160.
16. Richard L. Blanchard. Rapid determination of Pb-210 and Po-210 in environmental samples by Ni deposition. Anal. Chem., 1966, Vol. 2, P. 189–192.
17. MU MZ i SZ PMR 2.6.1.4315-12 «Provedeniye izmereniy udel'noy aktivnosti poloniya-210 v probakh ob"ektov okruzhayushchey sredy, rastitel'nosti, pishchevykh produktov dlya radiokhimicheskogo analiza» // Prilozheniye k prikazu Ministerstva zdravookhraneniya i sotsial'noy zashchity Pridnestrovskoy Moldavskoy Respubliki ot 20.08.2012 g. No. 449.
18. Umarova A.V. Determination of optimal conditions for the radiochemical release of polonium-210 from environmental samples / A.V. Umarova, V.V. Kashirskiy, M.A. Umarov, Y.A. Shakenova // Journal of Radiation Researches, Vol. 5, No. 2, 2018, Baku. – P. 273–274.
19. Gigienicheskie normativy «Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k obespecheniyu radiatsionnoy bezopasnosti». – 2015. – 122 p.
20. Ishigure N. Development of Software for Supporting Internal Dose Estimation / N. Ishigure, M. Matsumoto, T. Nakano, H. Enomoto // 11th International Congress of the International Radiation Protection Association, 23–28 May 2004, Madrid. Spain.
21. R.W. Leggett, K.F. Eckerman. A systemic biokinetic model for polonium. The Science of the Total Environment. 2001. P. 109–125.
22. Alikbaeva L.A. Novyy spravochnik khimika i tekhnologa. Radioaktivnye veshchestva. Vrednye veshchestva. Gigienicheskie normativy / L.A. Alikbaeva, M.A. Afonin, A.P. Ermolaeva-Makovskaya, L.I. Klochkova [i dr.]; red. A.V. Moskvina, V.V. Semenova, V.F. Teplykh. – S.-Pb.: ANO NPO «Professional», 2005. – 1142 p. – ISBN 5-98371-025-7.

НЕСЕП СЫНАМАЛАРЫНДАҒЫ ПОЛОНИЙ-210 АНЫҚТАУ. ДОЗАЛЫҚ ЖҮКТЕМЕЛЕРДІ БАҒАЛАУ

¹⁾ А.В. Умарова, ²⁾ А.Н. Шатров, ¹⁾ М.А. Умаров, ¹⁾ Ю.А. Шакенова

¹⁾ ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Қурчатов, Қазақстан

²⁾ Ресей Ғылым академиясының Сібір бөлімшесінің Федералды мемлекеттік бюджеттік ғылыми мекемесі «Г.И. Будкер ат. Ядролық физика институты», Новосибирск, Ресей

Полонийдің физика-химиялық қасиеттерінің заманауи ұсыныстары мен оны анықтаудың заманауи әдістерінің негізінде альфа-спектрометриялық талдаумен аяқталатын несеп үлгілерінде ²¹⁰Po радиохимиялық анықтау әдісі жасалды. Әдісті апробациялау ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы қызметкерлерінің несесінің тәуліктік сынамаларында жүргізілді. Несептің тәуліктік сынамасына ²¹⁰Po абсолюттік белсенділік диапазоны анықталды, ол $1,8 \cdot 10^{-3} \div 0,12$ Бк құрады. Филиал персоналының ішкі сәулеленуінің жалпы дозасына ²¹⁰Po үлесін бағалау есептелген, ол жылына 0,3 мЗв тең болды.

Түйін сөздер: радиохимиялық анықтау, ылғалды күлдендіру, гидроксидті тұндыру, автотұндыру, альфа-спектрометриялық өлшеу, ішкі сәулелену, ингаляциялық түсу, биокинетикалық модель.

**DETERMINATION OF POLONIUM-210 IN URINE SAMPLES,
RADIATION EXPOSURE ASSESSMENT**

¹⁾ A.V. Umarova, ²⁾ A.N. Shatrov, ¹⁾ M.A. Umarov, ¹⁾ Yu.A. Shakenova

¹⁾ Branch “Institute of Radiation Safety and Ecology” RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

²⁾ Federal State-Funded Institution of Science “Budker Institute of Nuclear Physics”
of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Based upon present ideas of physical-chemical properties of polonium and its up-to-date determination techniques, a technique of ^{210}Po radiochemical determination in urine samples was developed followed by alpha-spectrometry. The technique was tested on 24-hour urine samples collected from the personnel of the branch “Institute of Radiation Safety and Ecology” RSE NNC RK. The range of ^{210}Po absolute activity per a 24-hour urine sample was determined to be $1.8 \cdot 10^{-3} \div 0.12$ Bq. ^{210}Po contribution to the total dose of personnel internal exposure was estimated to be equal to 0.3 mSv/year.

Keywords: radiochemical determination, wet ashing, hydroxide precipitation, autprecipitation, alpha-spectrometric measurement, internal exposure, inhalation intake, biokinetic model.