

**В.В. Уйба<sup>1</sup>, К.В. Котенко<sup>2</sup>, Л.А. Ильин<sup>2</sup>, Ю.Е. Квачева<sup>2</sup>, Ю.В. Абрамов<sup>2</sup>,  
И.А. Галстян<sup>2</sup>, А.К. Гуськова<sup>2</sup>, Б.А. Кухта<sup>2</sup>, Н.М. Надежина<sup>2</sup>,  
В.А. Стебельков<sup>3</sup>, А.Г. Цовьянов<sup>2</sup>, С.М. Шинкарев<sup>2</sup>, В.Н. Яценко<sup>2</sup>**

### **ПОЛОНИЕВАЯ ВЕРСИЯ СМЕРТИ ЯСИРА АРАФАТА: РЕЗУЛЬТАТЫ РОССИЙСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**V.V. Uyba<sup>1</sup>, K.V. Kotenko<sup>2</sup>, L.A. Ilyin<sup>2</sup>, Yu.E. Kvacheva<sup>2</sup>, Yu.V. Abramov<sup>2</sup>,  
I.A. Galstyan<sup>2</sup>, A.K. Guskova<sup>2</sup>, B.A. Kukhta<sup>2</sup>, N.M. Nadezhina<sup>2</sup>,  
V.A. Stebelkov<sup>3</sup>, A.G. Tsovyanov<sup>2</sup>, S.M. Shinkarev<sup>2</sup>, V.N. Iatsenko<sup>2</sup>**

### **Polonium-210 Version of Arafat's Death: the Results of Russian Investigation**

#### РЕФЕРАТ

**Цель:** Представить результаты исследований, выполненных российскими специалистами для ответа на вопрос — явилось ли причиной смерти Я. Арафата радиационное поражение полонием.

**Материал и методы:** Исследование проводилось по двум направлениям — медицинскому и физическому. В рамках медицинского направления решалась задача детального анализа ксерокопий медицинских документов пациента и сопоставления их с материалами собственных клинических наблюдений случаев аварийного поражения полонием. В рамках проведения физических исследований использовались методы прямой регистрации содержания <sup>210</sup>Po и <sup>210</sup>Pb в изъятых при эксгумации останков покойного образцах (в общей сложности более 20 биологических и иных объектов), включая исследования проб с помощью радиохимического выделения <sup>210</sup>Po с последующим измерением на альфа-спектрометре и спектрометрические измерения содержания <sup>210</sup>Pb и <sup>210</sup>Po с помощью низкофонового гамма-спектрометрических установок, а также косвенные методы, включая масс-спектрометрические и спектрометрические исследования по определению содержания ряда стабильных химических элементов и радионуклидов.

**Результаты:** Показано несоответствие симптоматики и течения заболевания Я. Арафата таковым при лучевой болезни, обусловленной поступлением в организм поражающих количеств <sup>210</sup>Po. Вместе с тем, в исследованных биологических пробах останков покойного обнаружено содержание радионуклидов <sup>210</sup>Po и <sup>210</sup>Pb, достоверно превышающее на один-два порядка их фоновые значения. В пределах погрешностей экспериментальных исследований значения активности радионуклидов <sup>210</sup>Po и <sup>210</sup>Pb в пробах совпадают, что свидетельствует о том, что они находятся в состоянии радиоактивного равновесия. Следовательно, повышенное содержание <sup>210</sup>Po в исследованных биологических пробах обусловлено его образованием в останках покойного в результате радиоактивного распада его предшественника <sup>210</sup>Pb. Выполненные на основании результатов исследований расчеты позволяют утверждать, что обнаруженному в останках в мае—июне 2013 г. количеству <sup>210</sup>Pb соответствует порядка 650 Бк в организме пациента в ноябре 2004 г. (это восстановленная активность с учетом периода полураспада <sup>210</sup>Pb, равного 22,3 года). Поступление подобного количества <sup>210</sup>Pb приводит к дозам облучения всего на уровне долей мЗв поглощенной дозы в отдельных органах за период до 30 сут после поступления. Очевидно, что такие дозы облучения не могли стать причиной каких-либо радиационно-обусловленных нарушений состояния здоровья пациента. Кроме того, содержание в организме подобного количества <sup>210</sup>Pb не могло бы вызвать и химического отравления изотопом свинца, поскольку обнаруженные весовые количества <sup>210</sup>Pb, соответствующие активности 650 Бк, находятся в пределах долей нанограмма.

**Заключение:** Следует исключить прямую причинную связь наличия повышенного содержания указанных радионуклидов в останках покойного с наступлением его смерти.

**Ключевые слова:** Ясир Арафат, полоний-210, свинец-210, лучевая болезнь, эксгумация

#### ABSTRACT

**Purpose:** The purpose of this article is to present the results of research carried out by the Russian specialists to answer the question as to the evidence of Yasser Arafat's death being caused by radiation exposure to polonium.

**Material and methods:** This research was conducted in two directions simultaneously: medical and physical. As part of medical research a task was set to have a detailed analysis of photocopies of the patient's medical records to compare with the materials of our own observations of accidental polonium injuries. As part of physical research it was essential to solve the problem of determining the content of <sup>210</sup>Po, <sup>210</sup>Pb and a number of other radionuclides in the samples recovered during the exhumation (a total of more than 20 biological and other objects). All possible methods of the direct determination of <sup>210</sup>Po and <sup>210</sup>Pb content in the remains of the deceased were used, including research of samples using radiochemical separation of <sup>210</sup>Po followed by alpha spectrometry measurements and spectrometric measurements of <sup>210</sup>Po and <sup>210</sup>Pb using low background gamma spectrometric systems. Indirect methods were also applied including mass spectrometry and spectrometric studies to determine the content of a number of stable chemical elements and of radionuclides.

**Results:** No objective evidence of the patient's symptoms of radiation damage is typical of that in the case of intake of <sup>210</sup>Po has been established. Meanwhile, an increased activity of <sup>210</sup>Po and <sup>210</sup>Pb in the range from 10 to 100 times higher than its background level was revealed on Arafat's tissue specimens exhumed. Within the error of experimental research the activities of <sup>210</sup>Po and <sup>210</sup>Pb in the analyzed biological samples of bones and internal organs detritus match, indicating the radioactive equilibrium state. Consequently, the source of high <sup>210</sup>Po content in the remains of the deceased is <sup>210</sup>Pb. The calculations made based on the results of the research suggest that the amount of <sup>210</sup>Pb found in the remains in May and June 2013 corresponds to about 650 Bq in the patient's body in November 2004 (this is a restored activity given the half-life of <sup>210</sup>Pb equals to 22.3 years). Intake of such a quantity of <sup>210</sup>Pb results in radiation doses only at the level of mGy fractions of the absorbed dose in individual organs over a period of 30 days after intake. Obviously, such doses could not have caused any radiation induced health problems of the patient. Moreover, the content of a similar <sup>210</sup>Pb amount in the body could not have caused the lead isotope chemical poisoning because the detected <sup>210</sup>Pb weight amounts corresponding to 650 Bq activity are within the nanogram fraction.

**Conclusion:** Thus, on the basis of summarizing the complex research results, taking into account the absence of any objective evidence proving the presence of symptoms of acute radiation syndrome in the submitted medical records, and given the results of measurements of <sup>210</sup>Pb and <sup>210</sup>Po contents in the samples of biological materials taken during exhumation of the remains as well as evaluation of the radiation dose, a direct causal link between the presence of high content of these radionuclides in the remains of the deceased and his death should be excluded.

**Key words:** Yasser Arafat, polonium-210, lead-210, radiation syndrome, exhumation

<sup>1</sup> Федеральное медико-биологическое агентство, Москва, Россия.

<sup>2</sup> ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

E-mail: fmbc-fmba@bk.ru

<sup>3</sup> НП «Лаборатория анализа микрочастиц», Москва, Россия

<sup>1</sup> Federal Medical-Biological Agency, Moscow, Russia.

<sup>2</sup> State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency. E-mail: fmbc-fmba@bk.ru

<sup>3</sup> Laboratory for microparticle analysis, Moscow, Russia

## Введение

Ясир Арафат, основатель и первый глава Палестинской национальной администрации, лауреат Нобелевской премии мира, скончался 11 ноября 2004 г. в возрасте 75 лет в военном госпитале Перси под Парижем, куда он был доставлен в тяжелом состоянии из своей резиденции на Западном берегу реки Иордан. Французские медики в заключении о смерти сообщили о том, что Арафат умер из-за обширного инсульта, вызванного внутренним кровотечением в связи с неустановленной инфекцией. Несмотря на неясность формулировок заключения о причине смерти, вдова покойного разрешение на вскрытие тела не дала.

Однако летом 2012 г. мировые средства массовой информации обнародовали результаты исследования специалистов Института радиопизики (г. Лозанна), обнаруживших в личных вещах Арафата (в частности, предметах одежды, шапке и зубной щетке) повышенное содержание полония-210, что, по мнению швейцарских радиологов [1], и могло спровоцировать резкое ухудшение состояния здоровья 75-летнего политика, приведшее к его скорой смерти.

В свете озвученной версии о возможном радиационном поражении полонием-210 вдова покойного в августе 2012 г. подала иск, обвинив неизвестных в убийстве своего супруга. На основании указанного иска 13 ноября 2012 г. прокуратура Франции объявила о начале официального расследования причины смерти бывшего палестинского лидера. На следующий день президент Государства Палестина Махмуд Аббас дал разрешение на эксгумацию останков Ясира Арафата, состоявшуюся 27 ноября 2012 г. в г. Рамалла с участием международных экспертов трех государств. Специалисты из Швейцарии и России были привлечены к работе в связи с запросом палестинских властей, французские — в рамках возбужденного в этой стране уголовного дела.

Цель настоящей статьи — представить результаты исследований, выполненных российскими специалистами для ответа на вопрос — явилось ли причиной смерти Я. Арафата поражение полонием.

## Материал и методы

Следует подчеркнуть, что необходимость получения информации о содержании в останках умершего человека определенного радионуклида в связи с подозрением на радиационное поражение как возможную причину смерти возникла впервые в мировой практике. В этой связи при выборе методов исследования представлялось важным учесть все возможные обстоятельства, способные напрямую

или опосредованно затруднить его проведение и/или интерпретацию результатов.

Прежде всего, следовало принять во внимание, что ввиду длительности интервала, прошедшего между захоронением (2004 г.) и эксгумацией останков покойного (2012 г.), полному разрушению подверглись все мягкие ткани тела. Это сделало невозможным различение отдельных органов, включая и органы преимущественного депонирования полония, такие, как селезенка, печень, почки, и предопределило приоритетность изучения в качестве объектов исследования их детрита, а также образцов костей с актуализацией соответствующих методик отбора и подготовки материала [2].

Помимо этого, в связи с давностью предполагаемого случая прижизненного поступления остроэффективных количеств  $^{210}\text{Po}$  (осень 2004 г.) в значительной степени оказалась затруднена интерпретация результатов физических измерений (весна—лето 2013 г.), поскольку по прошествии столь длительного периода времени (~8,5 лет, т.е. более 22 периодов полураспада  $^{210}\text{Po}$ ,  $T_{1/2} = 138,38$  сут) снижение активности искомого радионуклида в соответствии с законом радиоактивного распада составило порядка 7 млн раз.

Согласно имеющимся у российских клиницистов фактическим данным [3], к развитию «полониевой» лучевой болезни со смертельным исходом в течение двух—трех недель приводит поступление  $^{210}\text{Po}$  в количествах, равных или превышающих  $1,1 \times 10^8$  Бк. С учетом приведенной выше оценки очевидно, что если бы в октябре—ноябре 2004 г. подобное количество полония поступило в организм Я. Арафата, то ко времени проведения измерений останков в мае—июне 2013 г. за счет радиоактивного распада исходная активность  $^{210}\text{Po}$  снизилась бы до значений естественного фона (в костях 0,6–4,3 мБк/г; в мягких тканях 0,04–1,7 мБк/г [4–6]). Это сделало бы невозможным установление факта радиационного поражения  $^{210}\text{Po}$  (т.е. явилось бы причиной ложноотрицательного результата постмортальной диагностики) без одновременного изучения медицинских документов пациента на предмет соответствия клинико-лабораторной симптоматики и течения приведшего к его смерти заболевания таковым при смертельной интоксикации полонием.

В то же время не следует забывать, что возможен и ложноположительный результат постмортального исследования: обнаружение в останках активности радионуклида  $^{210}\text{Po}$ , превышающей естественные фоновые значения, отнюдь не является безоговорочным доказательством имевшего место поражения, поскольку, помимо указанных выше, обязательному учету подлежит еще одно

принципиально важное обстоятельство. Наличие повышенного содержания полония в организме (прижизненно) и останках (посмертно) может быть обусловлено двумя альтернативными «сценариями» [4]. Во-первых, непосредственным поступлением самого радионуклида  $^{210}\text{Po}$  с пищей, водой или вдыхаемым воздухом. Во-вторых, первоначальным поступлением его предшественника — изотопа свинца  $^{210}\text{Pb}$ , из которого по цепочке радиоактивного распада с учетом относительно длительного  $T_{1/2} = 22,3$  года в тканевых депо «нарабатывается» радионуклид  $^{210}\text{Po}$ .

Перечисленные обстоятельства потребовали применения разноплановых методов и подходов к решению уникальной научно-практической задачи, для чего наиболее целесообразным представлялось проведение исследований одновременно по двум направлениям: медицинскому и физическому.

В рамках медицинских исследований была поставлена задача детального анализа предоставленных палестинской стороной ксерокопий медицинских документов пациента, доступных на сайте [7], для сопоставления их с материалами собственных клинических наблюдений случаев аварийного поражения полонием и ответа на вопрос: явилось ли причиной смерти Я. Арафата радиационное воздействие  $^{210}\text{Po}$ .

В рамках проведения физических исследований решалась задача по определению содержания  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  и ряда других радионуклидов в изъятых при эксгумации образцах (в общей сложности более 20 биологических и иных объектов), включая:

- детрит внутренних органов в проекции областей, анатомически соответствующих грудной и брюшной полостям тела;
- образцы костей, отобранные в соответствии с правилом анатомического стандарта, т.е. из участков, наиболее репрезентативных в отношении содержания кроветворного костного мозга с учетом возраста покойного (75 лет), а также соотношения компактного и трабекулярного вещества костей;
- образец мягких тканей затылочной области головы с волосами;
- образцы погребального одеяния (фрагменты савана, располагавшиеся над и под останками покойного);
- пробы земли над и под останками и в склепе вне захоронения (не менее 500 г в каждой пробе).

При проведении физических исследований использовались все возможные методы прямой регистрации содержания  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Pb}$  в останках умершего, включая исследования проб с помощью радиохимического выделения  $^{210}\text{Po}$  с последующим

измерением на альфа-спектрометре и спектрометрические измерения содержания  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{210}\text{Po}$  с помощью низкофоновых гамма-спектрометрических установок, а также косвенные методы, включая масс-спектрометрические и спектрометрические исследования по определению содержания ряда стабильных химических элементов и радионуклидов.

## Результаты и обсуждение

Известно, что полоний-210 относится к радионуклидам, относительно равномерно распределяющимся в органах и тканях организма. В этой связи поступление больших ( $\sim 10^8$  Бк) количеств  $^{210}\text{Po}$  вызывает развитие поражения, по клинической картине сходного с острой лучевой болезнью (ОЛБ) от внешнего равномерного облучения [3]. Основным клиническим синдромом при этом является поражение системы кроветворения в виде панцитопении (трехростковой гемодепрессии), в первую очередь лимфоцито- и гранулоцитопении, обуславливающих развитие инфекционных осложнений. При исследовании костного мозга у таких больных отмечается резкое уменьшение количества кроветворной ткани (трехростковая миелодепрессия) вплоть до ее полного исчезновения («пустой» костный мозг).

Вместе с тем, как свидетельствует российский опыт наблюдения случаев аварийного поступления  $^{210}\text{Po}$  [3, 8, 9], в отличие от ОЛБ при внешнем облучении, для клинической картины лучевой болезни вследствие поражения полонием характерен ряд особенностей. К их числу относятся, в частности, отсутствие четкой периодизации течения лучевого заболевания и более раннее по времени и выраженное по степени развитие геморрагического синдрома. Отмечаются множественные спонтанные кровоизлияния и обильные повторные кровотечения из мочевыводящих путей, прямой кишки, носа и т.д., возникающие даже при относительно высоком уровне тромбоцитов ( $80\text{--}150 \times 10^9/\text{л}$ ) за счет присоединения нарушений микроциркуляторного звена гемостаза [3]. Кроме того, помимо выраженной депрессии кроветворения и синдрома кровоточивости, в клинической картине заболевания выявляются признаки нарушения функции других «критических» органов — печени и почек, своевременно диагностируемые даже в случаях несмертельной интоксикации.

У Я. Арафата, скончавшегося на 30-е сутки от начала болезни, признаков поражения кроветворной ткани выявлено не было. Напротив, в течение всего периода заболевания при отсутствии лимфоцито- и гранулоцитопении отмечалась склонность к нейтрофильному лейкоцитозу с адекватной гиперлейкоцитарной реакцией ( $39 \times 10^9/\text{л}$ ) на введение кор-

тикостероидных препаратов. По данным подсчета миелограмм на 14-е и 16-е сутки и исследования трепанобиоптата на 23-е сутки заболевания сохранялась нормальная клеточность костного мозга при расширении миелоидного ростка гемопоэза и наличии до 40 «рабочих» (т.е. функционально активных) мегакариоцитов в препарате. Кроме того, у больного не выявлялись лихорадка и признаки очаговой инфекции. Отсутствовали также клинические проявления кровоточивости, в т.ч. в виде спонтанных геморрагий в кожу и слизистые оболочки, несмотря на сниженный (минимально до  $26 \times 10^9/\text{л}$ ) уровень тромбоцитов (одноростковая цитопения). По опыту же собственных клинических наблюдений, как указывалось выше, известно, что для воздействия  $^{210}\text{Po}$  характерен тяжелый генерализованный геморагический синдром, возникающий через короткое время от момента его поступления при относительно неглубокой тромбоцитопении (присоединение микроциркуляторного звена кровоточивости).

Данные о формировании синдрома гепатопатии документируются с 24.10.2004 г. (12-е сутки), при этом первые признаки нарушения функции печени заключались в появлении билирубинемии с желтушным окрашиванием склер при диагностически незначимом повышении уровня печеночных трансаминаз (1,5–2 нормы с 6-х сут). Важно также указать, что проявления лабораторного синдрома недостаточности гепатоцитов (снижение протромбинового индекса до 36 %, формирование выраженных гипопротеин- и гипоальбуминемии) по времени появления закономерно совпали с началом соблюдения пациентом религиозного поста (отказ от приема пищи и жидкостей в светлое время дня). Функция почек у больного оставалась сохранной до 25-х сут заболевания, а ее ухудшение произошло лишь при формировании терминальной полиорганной недостаточности.

В отношении острого желудочно-кишечного синдрома необходимо отметить, что клинические проявления его в виде тошноты, рвоты и водянистой диареи в рассматриваемом случае имели непостоянный характер (так, в истории болезни имеются указания на назначения больному время от времени послабляющих лекарственных средств). Кроме того, хорошо известно, что развитие указанного синдрома с прогрессирующим ухудшением общего состояния больных не является патогномичным для внутреннего поступления радионуклидов, но характерно для большого числа острых и хронических инфекций, а также болезней органов пищеварения, особенно при нерациональном ведении сопутствующих заболеваний или изменениях режима питания (упомянутый выше пост).

Таким образом, по итогам детального изучения предоставленных в распоряжение российских специалистов медицинских документов, выполненного в рамках проведения медицинских исследований, не установлено объективных данных, свидетельствующих о наличии у пациента симптомов лучевого поражения, характерного для поступления в организм  $^{210}\text{Po}$ .

В рамках проведения физических исследований особое внимание уделялось выявлению и количественному определению содержания  $^{210}\text{Po}$  в отобранных при эксгумации биологических образцах. Результаты измерений представлены в табл. 1 (указаны средние значения содержания  $^{210}\text{Po}$  в образце<sup>1</sup>). В качестве примера на рис. 1 приведен энергетический спектр альфа-излучения пробы №14 «Детрит в области проекции брюшной полости», демонстрирующий отчетливо выраженные пики  $^{210}\text{Po}$  и  $^{209}\text{Po}$  (последний в виде образцового раствора применялся в качестве калибровочного источника при радиохимическом выделении полония-210).

Таблица 1

**Результаты определения содержания  $^{210}\text{Po}$  в биологических образцах, усредненные по данным измерений двух лабораторий**

№ образца	Материал образца	Среднее содержание $^{210}\text{Po}$ в образце, мБк/г
1	Грудина (рукоятка)	67
2	Диафиз левой бедренной кости (средняя треть)	28
3	Подвздошная кость (левая)	69
4	Грудной позвонок ( $\text{Th}_{IV}$ )	25
6	Подвздошная кость правая (крыло)	22
7	Поясничный позвонок ( $\text{L}_{III}$ )	12
9	III, IV, V ребра справа (передние концы)	140
11	Детрит в области проекции брюшной полости	82
14	Детрит в области проекции брюшной полости	220
14.1	Кость из образца 14	190
15	Детрит в области проекции грудной полости	130
16	Детрит в области проекции грудной полости	130

Результаты анализа содержания  $^{210}\text{Po}$  в исследованных образцах останков Я. Арафата сопоставляли с данными литературы [4–6] по фоновому содержанию указанного радионуклида. Однако, принимая во внимание, что анализируемые материалы, в отличие от объектов исследования ци-

<sup>1</sup> Здесь и далее: относительная погрешность определения содержания  $^{210}\text{Po}$  использованным методом составляет в среднем 30 %.



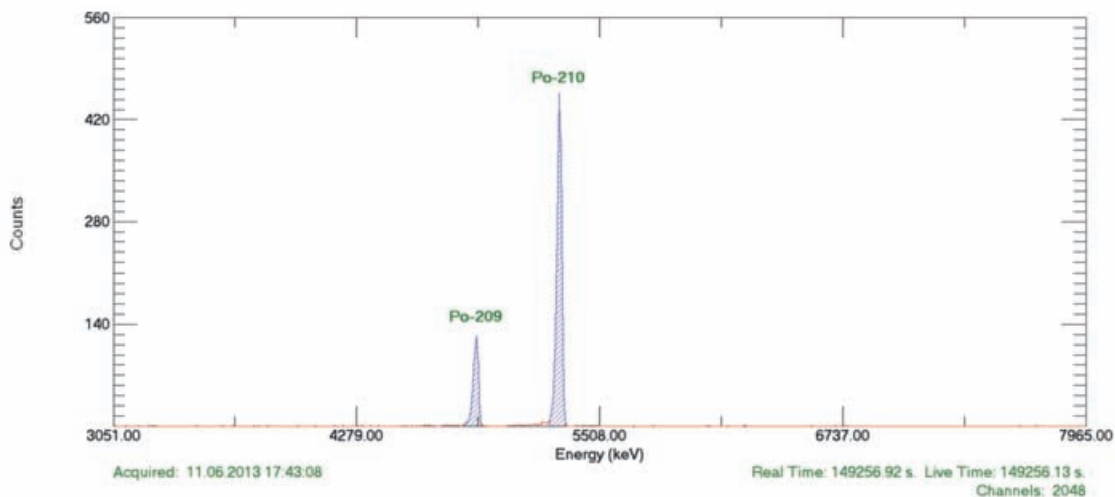


Рис. 1. Энергетический спектр альфа-излучения пробы №14 «Детрит в области проекции брюшной полости», полученный на радиометре-спектрометре альфа-излучения Ortec Duo. Наличие  $^{209}\text{Po}$  объясняется его специальным введением в качестве контрольной метки при приготовлении проб



Рис. 2. Радиометр-спектрометр альфа-излучения Ortec Duo (ORTEC, США)

тируемых источников литературы, представляли собой обезвоженную ткань (посмертная дегидратация), для контроля качества проведения исследований, а также в целях независимого определения природных фоновых значений содержания  $^{210}\text{Po}$  в костях человека, предварительно был осуществлен анализ контрольных образцов костной ткани, отобранных по аналогичной схеме от трупа мужчины 71 года, скончавшегося скоропостижно. Методики по определению содержания  $^{210}\text{Po}$  в исследуемых и контрольных биологических пробах были идентичны. Важно подчеркнуть, что полученные значения содержания  $^{210}\text{Po}$  в контрольных образцах костной ткани (1,4–3,2 мБк/г) находятся в диапазоне варируемости аналогичных значений в костной ткани людей, проживающих в различных регионах Земли (0,6–4,3 мБк/г) [4–6]. Фоновые значения содержа-

ния  $^{210}\text{Po}$  в мягких тканях человека несколько ниже и варьируют в диапазоне 0,06–1,4 мБк/г [5].

При сопоставлении результатов исследования, приведенных в табл. 1, с данными литературы [4–6] и собственных измерений фоновых значений  $^{210}\text{Po}$  в тканях тела человека, представляется возможным сделать важный вывод: в исследованных биологических пробах останков Я. Арафата обнаружена активность радионуклида  $^{210}\text{Po}$ , достоверно превышающая на один–два порядка уровень естественного фона.

Примечательно, что отмеченные превышения имели однотипный характер в образцах детрита внутренних органов и костей различных скелетных топоструктур, независимо исследованных в двух разных лабораториях. Для этого каждый отдельный образец, как правило, делился на несколько частей с последующей параллельной радиохимической



Рис. 3. Гамма-спектрометр Alpha Analyst (Canberra Inc., США)

обработкой и измерением «вслепую» на метрологически аттестованных радиометрах-спектрометрах альфа-излучения Alpha Analyst (Canberra Inc., США) и Ortec Duo (ORTEC США) (рис. 2). Такой подход позволил каждой лаборатории осуществить независимый анализ материала, обеспечив возможность получения информации о воспроизводимости результатов измерений. Сравнительный анализ результатов определения содержания  $^{210}\text{Po}$  в одних и тех же биологических образцах, независимо измеренных в двух лабораториях (табл. 2), демонстрирует их хорошее согласие в пределах погрешностей измерений, что подтверждает достоверность полученных данных.

Сделаем гипотетическое предположение о том, что повышенное содержание  $^{210}\text{Po}$ , обнаруженное в останках Я. Арафата в мае–июне 2013 г., обусловлено поступлением данного радионуклида в организм пациента в октябре 2004 г., т.е. за месяц до его смерти. В этом случае, согласно расчетам, выполненным с учётом закономерностей радиоактивного распада, коэффициента всасывания полония в желудочно-кишечном тракте (значение, принятое равным 0,5) и его частичного выведения из организма за 30-дневный период пребывания в медицинских учреждениях, обнаруженное в останках в 2013 г. содержание

$^{210}\text{Po}$  должно было бы соответствовать его прижизненному поступлению в организм Я. Арафата в абсолютно сверхлетальных количествах (порядка  $10^{10}$  Бк). Очевидно, что поступление подобных количеств  $^{210}\text{Po}$  сформировало бы в органах и тканях пациента поглощённые дозы излучения порядка нескольких сотен Гр. Как известно, в таких случаях развиваются радиационные поражения крайне тяжелой степени (острейшая лучевая болезнь) с гибелью пострадавших в ближайшее время от момента воздействия (в пределах нескольких часов–суток).

Кроме того, как следует из медицинских документов Я. Арафата, во французской армейской лаборатории радиотоксикологического контроля 8 ноября 2004 г. (т.е. за три дня до смерти) на гамма-спектрометрической установке в течение 15 ч проводились измерения двух прижизненных проб мочи пациента. Последующий анализ гамма-спектров не выявил наличия пика в районе 803 кэВ (гамма-линия  $^{210}\text{Po}$  с выходом 0,00107 % на распад). Оценка минимально детектируемой активности (МДА) гамма-излучения  $^{210}\text{Po}$  в пробе мочи для примененной в 2004 г. спектрометрической установки составила около 25 Бк/г [10]. Согласно проведенным расчетам, при использовании биокинетических моделей перорального поступления и выведения с мочой  $^{210}\text{Po}$  из организма [11], в предположении острого поступления полония за месяц до наступления смерти, и с учетом приведенной выше оценки МДА, его количество не должно было превысить порядка  $3 \times 10^7$  Бк  $^{210}\text{Po}$ , чтобы в измеренном гамма-спектре не был выявлен пик в районе 803 кэВ. Поскольку такой пик обнаружен не был, можно утверждать, что имеющиеся результаты прижизненных измерений и анализа гамма-спектров мочи, наряду с характеристиками клинической картины, также исключают гипотезу о возможном поступлении в организм Я. Арафата активности  $^{210}\text{Po}$  в количестве, равном или превышающем  $10^8$  Бк.

С учетом этих фактов специальное внимание было уделено анализу значимости упомянутого

Таблица 2

**Результаты определения содержания  $^{210}\text{Po}$  в биологических образцах, независимо измеренных в двух лабораториях**

№ образца	Материал образца	Среднее содержание $^{210}\text{Po}$ в образце, мБк/г		Отношение результатов измерений двух лабораторий
		Лаб. А	Лаб. Б	
1	Грудина (рукоятка)	73	61	1,2
2	Диафиз левой бедренной кости (средняя треть)	27	29	0,9
3	Подвздошная кость (левая)	74	65	1,1
4	Грудной позвонок (Th <sub>IV</sub> )	26	25	1,0
7	Поясничный позвонок (L <sub>III</sub> )	13	12	1,0
9	III, IV, V ребра справа (передние концы)	150	130	1,2
14	Детрит в области проекции брюшной полости	240	190	1,3

Таблица 3

Содержание  $^{210}\text{Pb}$  в биологических образцах, определённое гамма-спектрометрическим методом

№ образца	Материал образца	Содержание $^{210}\text{Pb}$ , мБк/г	
		Лаб. Б	Лаб. С
2	Диафиз левой бедренной кости (средняя треть)	19	
3	Подвздошная кость (левая)	47	57
7	Поясничный позвонок (L <sub>III</sub> )	28	< 30
11	Детрит в области проекции брюшной полости	75	
14	Детрит в области проекции брюшной полости	170	
15	Детрит в области проекции грудной полости	170	
16	Детрит в области проекции грудной полости	110	85

выше второго возможного сценария накопления в организме  $^{210}\text{Po}$  (по цепочке радиоактивного распада из долгоживущего предшественника  $^{210}\text{Pb}$ ), для чего с помощью гамма-спектрометрической установки (рис. 3) определяли в останках содержание указанного изотопа свинца. На рис. 4 приведен энергетический спектр гамма-излучения той же пробы, альфа-спектр которой представлен на рис. 1. Результаты исследований содержания  $^{210}\text{Pb}$ , выполненных также независимо в двух лабораториях, приведены в табл. 3. Следует отметить, что значения содержания свинца-210, независимо определенные в двух лабораториях, обнаруживают хорошую согласованность.

Сравнительный анализ полученных результатов был проведен в сопоставлении с данными исследования [5], обобщившего усредненные значения

природного фонового содержания  $^{210}\text{Pb}$  в отдельных органах и тканях (0,03–0,56 мБк/г) и костной ткани (2,5–5,0 мБк/г) людей, проживающих в различных регионах Земли. При этом было принято во внимание, что в пробах, полученных при эксгумации останков возрастом более восьми лет, концентрация  $^{210}\text{Pb}$  вследствие посмертного обезвоживания возрастает (в большей степени — в несколько раз в детрите мягких тканей; в меньшей степени — до двух раз в костях) при одновременном понижении концентрации активности  $^{210}\text{Pb}$  в течение истекшего периода времени приблизительно на 30 %. Тем не менее, с учетом указанных обстоятельств из данных, представленных в табл. 3, следует важное заключение: активность радионуклида  $^{210}\text{Pb}$  в исследованных образцах также на один-два порядка превышает значения природного фона.

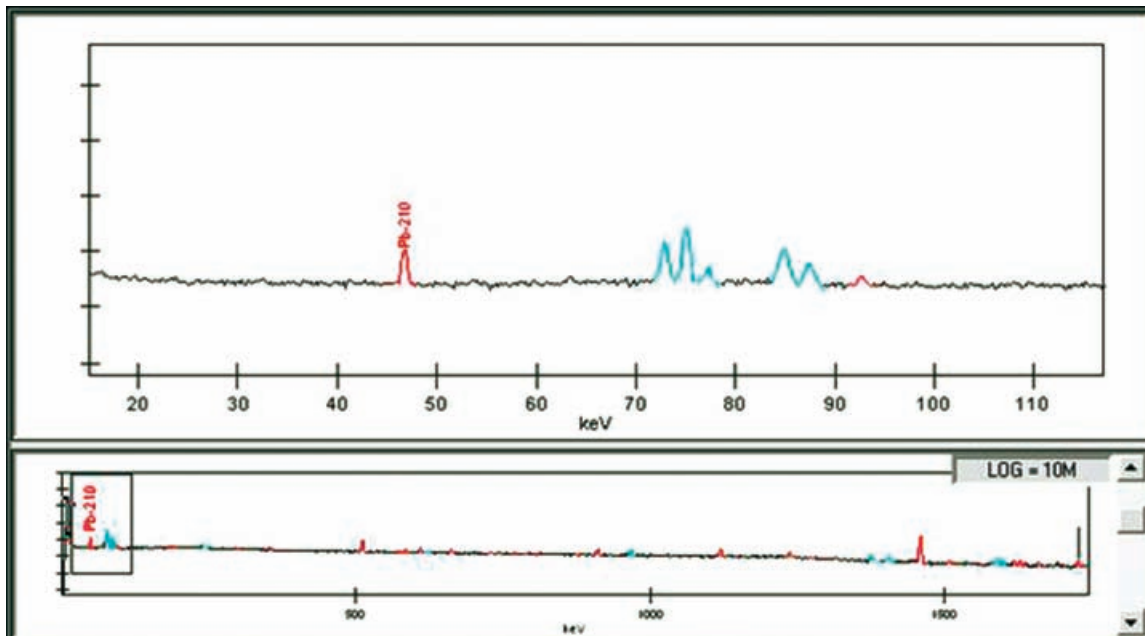


Рис. 4. Энергетический спектр гамма-излучения пробы №14 «Детрит в области проекции брюшной полости», полученный с помощью гамма-спектрометра фирмы Canberra. Вверху представлена увеличенная часть начального участка общего спектра, выделенная рамкой. Немаркированные пики спектра обусловлены гамма-излучением природных радионуклидов

Таблица 4

**Сопоставление значений содержания  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Pb}$  в исследованных биологических образцах**

№ образца	Материал образца	Среднее содержание $^{210}\text{Po}$ , мБк/г	Содержание $^{210}\text{Pb}$ (лаб. Б), мБк/г	Отношение $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$
2	Диафиз левой бедренной кости (средняя треть)	28	19	1,5
3	Подвздошная кость (левая)	69	47	1,5
7	Поясничный позвонок (L <sub>III</sub> )	12	28	0,4
11	Детрит в области проекции брюшной полости	82	75	1,1
14	Детрит в области проекции брюшной полости	220	170	1,3
15	Детрит в области проекции грудной полости	130	170	0,8
16	Детрит в области проекции грудной полости	130	110	1,2

В целях изучения возможной взаимосвязи между  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Pb}$  были рассчитаны соотношения указанных радионуклидов, выполненные по результатам независимых измерений несколькими различными методами в одних и тех же биологических образцах. Как видно из данных, приведенных в табл. 4, в пределах погрешностей экспериментальных исследований значения активности изотопов полония ( $^{210}\text{Po}$ ) и свинца ( $^{210}\text{Pb}$ ) в проанализированных биологических пробах костей и детрита внутренних органов совпадают, что свидетельствует о состоянии радиоактивного равновесия (т.е. за единицу времени происходит распад одинакового числа атомов двух указанных радионуклидов). Аналогичное соотношением между  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Pb}$  было установлено и при исследовании содержания обоих радионуклидов в образце мягких тканей затылочной области головы с волосами, выполненном с помощью метода жидкостной сцинтилляционной спектрометрии. По результатам анализа и обработки спектра содержание  $^{210}\text{Po}$  составило  $(550 \pm 80)$  мБк/г,  $^{210}\text{Pb}$  —  $(750 \pm 120)$  мБк/г, что существенно превышает природные фоновые значения содержания обоих радионуклидов в кожном покрове головы и волосах человека [4]. С учетом погрешностей метода определения содержания обоих радионуклидов можно сделать вывод, аналогичный выводу в отношении детрита и образцов костей, о равенстве активностей обоих радионуклидов, т.е. о наличии состояния радиоактивного равновесия. Из этого следует, что источником повышенного содержания  $^{210}\text{Po}$  в останках покойного является  $^{210}\text{Pb}$ .

При анализе полученных результатов специальное внимание уделялось обсуждению возможных причин, обусловивших повышенное содержание  $^{210}\text{Pb}$  в исследованных пробах останков. В частности, рассматривалась гипотеза о том, что повышенное содержание  $^{210}\text{Pb}$  вызвано его посмертным поступлением вследствие радиоактивного распада газа радона во время нахождения останков в склепе. Однако миграция в кристаллическую структуру

костной ткани значимых количеств  $^{210}\text{Pb}$  в подобных условиях является физически несостоятельной. Следовательно, данная гипотеза может быть отвергнута. Анализировалась и другая гипотеза о том, что значимая активность  $^{210}\text{Pb}$  была введена пациенту незадолго до его смерти. Однако с учетом пожилого возраста, когда скорость обменных процессов в костной ткани снижается на два порядка по сравнению со скоростью этих процессов в раннем детском возрасте [12], и 30-дневной продолжительности заболевания Я. Арафата предположение о накоплении значимых количеств  $^{210}\text{Pb}$  в костной ткани 75-летнего пациента за указанный период времени представляется нереалистичным. Таким образом, и эту гипотезу следует отвергнуть. К сожалению, на основании только результатов физических исследований не представляется возможным высказаться однозначно относительно причины появления радионуклида  $^{210}\text{Pb}$  в исследованных образцах.

Вместе с тем выполненные на основании результатов проведенных исследований расчеты позволяют утверждать, что обнаруженному в останках в мае–июне 2013 г. количеству  $^{210}\text{Pb}$  соответствует порядка 650 Бк в организме пациента в ноябре 2004 г. (это восстановленная активность с учетом периода полураспада  $^{210}\text{Pb}$ , равного 22,3 года). Поступление подобного количества  $^{210}\text{Pb}$  приводит к дозам облучения всего на уровне долей мЗв поглощенной дозы в отдельных органах за период до 30 сут. Очевидно, что такие дозовые нагрузки не могли стать причиной каких-либо радиационно обусловленных нарушений состояния здоровья пациента [6, 13]. Кроме того, поступление подобного количества  $^{210}\text{Pb}$  не могло бы вызвать и химического отравления изотопом свинца (т.е. сатурнизма), поскольку обнаруженные весовые количества  $^{210}\text{Pb}$ , соответствующие активности 650 Бк, находятся в пределах долей нанограмма (0,23 нг), что в 500 млн раз меньше содержания (120 мг) данного химического элемента в организме человека [14, 15].



Таким образом, на основе обобщения результатов комплексных физических и медицинских исследований, принимая во внимание отсутствие в представленных медицинских документах объективных данных, свидетельствующих о наличии симптомов острой лучевой болезни, а также учитывая результаты проведенных измерений содержания  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{210}\text{Po}$  в пробах биологических материалов, изъятых при эксгумации останков, и оценки дозовых нагрузок, следует исключить прямую причинную связь наличия повышенного содержания указанных радионуклидов в останках покойного с наступлением его смерти.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Froidevaux P., Baechler S., Bailat C.J. et al. Improving forensic investigation for polonium poisoning. // *Lancet*, 2013, **382**, P. 1308.
2. <http://fmbcfmba.ru/about/news/92/8155/>
3. Гастева Г.Н. Острая лучевая болезнь от поступления в организм полония. // В кн.: «Радиационная медицина. Т. 2. Радиационные поражения человека». — М.: ИздАТ, 2001, С. 99–107.
4. Борисов Н.Б., Ильин Л.А., Маргулис У.Я. и соавт. Радиационная безопасность при работе с полонием-210. — М.: Атомиздат, 1980, 262 с.
5. Parfenov Yr.D. Polonium-210 in the environment and in the human organism. // *Atomic Energy Review*, 1974, **12**, No. 1, P. 75–143.
6. United Nations. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000 Report to the General Assembly. Annex G. Biological effects at low radiation doses. United Nations, New York, 2000.
7. Medical records from Percy Hospital (Nov 18, 2004). Available on [http://www.yaf.ps/yaf/news\\_details.php?pid=81](http://www.yaf.ps/yaf/news_details.php?pid=81).
8. Гуськова А.К., Байсоголов Г.Д. Лучевая болезнь человека. — М.: Медицина, 1971, С. 243–249.
9. Гуськова А.К. Лучевая болезнь человека от поступления в организм радионуклидов. // В кн.: «Радиационная медицина. Т. 2 Радиационные поражения человека». — М.: ИздАТ, 2001, С. 306–327.
10. Froidevaux P., Baechler S., Bochud F. Forensic investigations in the case of Mr Louvet: Radioactivity determination in Mr Louvet belongings. Отчет Института радиационной физики 11 мая 2012 г. <http://ru.scribd.com/doc/99083267/Final-Report-English>
11. Li W.B., Gerstmann U., Giussani A. et al. Internal dose assessment of  $^{210}\text{Po}$  using biokinetic modeling and urinary excretion measurement. // *Radiat. Environ. Biophys.*, 2008, **47**, No. 1, P. 101–110.
12. Крстич Р.В. Иллюстрированная энциклопедия по гистологии человека. — СПб.: СОТИС, 2001, С. 186.
13. Мусеев А.А., Иванов В.И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. — М. Энергоатомиздат, 1990, 252 с.
14. ICRP – International Commission on Radiological Protection. Report of the task group on reference man. ICRP Publication 23; Pergamon Press, 1975.
15. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества. Под ред. Л.А. Ильина, В.А. Филова. — Л.: Химия, 1990. С. 247–252.

Поступила: 02.03.2015

Принята к публикации: 25.03.2015