

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-2-11-18>

УДК: 543.621

## ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНА ОТДЕЛЬНЫХ МАРКОВ (ВИДОВ) ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ КАПСУЛ, НЕОБХОДИМЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НЕЙТРОНОАКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА ПО КОРОТКОЖИВУЩИМ ИЗОТОПАМ

Ленник С.Г., Соколенко Е.К., Бедельбекова К.А.

РГП «Институт ядерной физики» Министерства энергетики, Алматы, Казахстан

E-mail для контактов: lennik\_s@inp.kz

Для пополнения специфического расходного материала изготовлены экспериментальные образцы транспортных капсул, предназначенных для проведения нейтроноактивационного анализа по короткоживущим изотопам. Изучено соответствие изготовленных капсул реальным условиям их транспортировки. Проведено исследование элементного состава материала капсул. Анализ спектров наведенной активности показал наличие примесей металлов в полиэтилене, которые необходимо учитывать при проведении нейтроноактивационного анализа.

**Ключевые слова:** нейтроноактивационный анализ, пневмотранспортная система, короткоживущие изотопы, полиэтилен, реактор.

### ВВЕДЕНИЕ

Нейтроноактивационный анализ (НАА) давно и прочно зарекомендовал себя как надежное средство для решения множества научных и практических задач различных сфер производства. Развитие этого метода в Казахстане началось в 1961 году прошлого столетия после создания в Институте ядерной физики (ИЯФ) лаборатории активационного анализа, в настоящее время – лаборатории ядерно-физических методов анализа. Необходимость этого метода была определена Президентом АН КазССР академиком К.И. Сатпаевым. Он отметил, в частности, что применение НАА в геологии Казахстана имеет очень большое значение: «Активационный анализ должен способствовать наиболее рациональному использованию ископаемых с максимально полным извлечением всех имеющихся в них полезных компонентов».

Наиболее продуктивный период развития НАА в ИЯФ наступил осенью 1967 г. в связи с вводом в эксплуатацию основной облучательной установки – атомного реактора ВВР-К. Использование этого метода позволило успешно решать ряд задач в археологии, криминалистике, медицине, биологии, сельском хозяйстве. Но основные достижения были получены в металлургии – анализ чистых и сверхчистых материалов; в геологии – разведка и подсчет запасов полезных ископаемых; в экологии и радиозологии – контроль объектов окружающей среды в промышленных районах и на местах проведения ядерных испытаний (Семипалатинский ядерный полигон, Азгир и др.). Для решения этих задач на атомном реакторе ВВР-К были созданы специальные пневмотранспортные устройства. Так, непосредственно в зале реактора была смонтирована автоматическая установка для определения урана методом запаздывающих нейтронов (МЗН – разновидность НАА), которая была задействована на вертикальном канале с потоком тепловых нейтронов  $1,4 \cdot 10^{13} \text{ н} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . В период с 1981 г. по 1988 г. на этой установке было выполнено более 80 тыс. анализов различных геологических об-

разцов. Внедрение этих результатов позволило впервые в СССР провести широкие региональные исследования по урану с недоступной ранее точностью. На основе полученных данных были составлены геохимические карты многих регионов страны. На горизонтальном канале с потоком тепловых нейтронов  $10^{13} \text{ н} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  была смонтирована двухканальная пневмопочта (один из каналов был обеспечен кадмиевым экраном) для проведения НАА по короткоживущим изотопам (КЖИ). Метод НАА по КЖИ позволяет проводить определение целого ряда элементов: Na, K, Al, S, Cl, Ca, V, Mn, Mg, Cu, Co, Ba, Eu, Dy, Th, U, In, Sr, Sn, среди которых большая часть не имеет долгоживущих изотопов и определяется методом НАА исключительно по КЖИ. Использование этого метода обеспечивает существенное расширение списка определяемых элементов и улучшение чувствительности определения отдельных из них. Применение метода НАА (включая КЖИ) позволило решить ряд практических задач для промышленных и производственных предприятий, а также научных организаций Казахстана и бывшего СССР. Практическая значимость этих работ подтверждена 8 актами внедрения и актом об участии в открытии 5 месторождений ванадия в нефти [1–2].

После аварии в Чернобыле (1986 г.) появилась общая тенденция к консервации и сокращению действующих исследовательских реакторов, которая достигла своего апогея с развалом СССР: в ИЯФ реактор ВВР-К был заглушен, а установка МЗН и двухканальная пневмопочта для НАА по КЖИ демонтированы.

В настоящее время в связи с необходимостью индустриализации страны, актуальность развития НАА в Казахстане обоснована необходимостью решения множества всевозможных аналитических задач. В связи с этим в ИЯФ выполнен значительный объем работ по реконструкции и переводу реактора ВВР-К на низкообогащенное топливо (без существенного изменения потока и спектра нейтронов). Разработаны и утверждены органами Госстандарта РК методика

многоэлементного анализа (34 элемента) почвы, руды, геологических пород и продуктов их технологической переработки, а также специализированная методика определения содержания редкоземельных металлов (Lu, Tb, Tm, Eu, Ho, Yb, Sc, Sm, Gd, La, Nd, Ce, Y) в этих же объектах [3–6]. Для проведения работ по НАА различных объектов на базе обновленного реактора приобретено и успешно используется современное спектрометрическое оборудование («Canberra», «Ortec»), а для проведения инструментального НАА по КЖИ в сухом горизонтальном канале с плотностью потока нейтронов  $10^{11}$  н·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> установлена новая пневмотранспортная система (ПТС). Созданная новая ПТС позволяет повысить экспрессность и производительность НАА. Эти характеристики являются особо важными при проведении массовых анализов, в частности, при изучении элементного состава геологических объектов. В процессе освоения этой установки выявилась простая, но труднорешаемая в реальных условиях проблема, связанная со спецификой используемого метода и условиями его реализации. Решению этой проблемы и посвящена настоящая статья.

#### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПНЕВМОТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА

Автоматизированная ПТС состоит из главного управляющего кабинета (ГУК), компрессора, двух ресиверов, гамма-спектрометра, управляющего компьютера со специальным программным обеспечением [7]. На рисунке 1 приведен внешний вид ГУК, внешние размеры которого составляют 138 см по ширине и 218 см по высоте, масса 70 кг.

Сжатый воздух производится с помощью компрессора, который подключен к воздушной системе ПТС. Установленный в ГУК ресивер используется для транспортировки транспортной капсулы в горизонтальный канал, доходящий до сердцевины реакторной зоны, где в тубусе из специального сплава происходит облучение капсулы с материалом. В непосредственной близости от канала реактора расположен второй ресивер, который подключен к воздушной системе ПТС и обеспечивает производство сжатого воздуха для извлечения транспортной капсулы после окончания облучения из реактора в ГУК. Далее, в зависимости от задачи, транспортная капсула поступает либо в отстойник (свинцовый колодец) для остывания, либо непосредственно в приемную измерительную камеру, расположенную напротив окна горизонтального гамма-детектора «CANBERRA» GC2018 (разрешение 1,8 кэВ для гамма-линии <sup>60</sup>Co с энергией 1332,5 кэВ, относительная эффективность 20%) для регистрации наведенного гамма-излучения. Геометрия измерений (расстояние от измерительной камеры до окна детектора) может варьироваться. Процесс управления ПТС осуществляется с помощью специального программного обеспечения, позволяющего выбрать режимы облучения, указать массу образца, время выдержки в канале реакторной зоны КИР ВВР-К, время «остывания» перед началом регистрации и время регистрации спектра  $\gamma$ -излучения. Есть возможность записи  $\gamma$ -спектров наведенной активности серийно (через определенные промежутки времени), что позволяет наблюдать, как в исследуемом образце происходит распад наблюдаемых короткоживущих изотопов.

торной зоны КИР ВВР-К, время «остывания» перед началом регистрации и время регистрации спектра  $\gamma$ -излучения. Есть возможность записи  $\gamma$ -спектров наведенной активности серийно (через определенные промежутки времени), что позволяет наблюдать, как в исследуемом образце происходит распад наблюдаемых короткоживущих изотопов.



Рисунок 1. Внешний вид главного управляющего кабинета пневматической транспортной системы

До настоящего времени исследование методом НАА по КЖИ проводилось эпизодически в небольшом количестве. Сейчас усилия специалистов направлены на полноценное включение ПТС в рабочий цикл проведения исследований методом НАА. На этом пути одним из немаловажных этапов является пополнение расходных материалов для ПТС. Небольшая партия оригинальных капсул для упаковки образцов и проведения облучения была предусмотрена вместе с комплектующими для ПТС. Этот запас практически полностью израсходован при проведении тестовых работ. Для обеспечения проведения дальнейших массовых исследований возникла задача обеспечить пополнение количества капсул, и в первую очередь транспортных облучательных капсул. Внешний вид и размеры транспортной капсулы, применимой для данной модели ПТС, приведены на рисунке 2. В документации на ПТС указано, что материалом для капсул служит полиэтилен высокой плотности. Согласно чертежу (рисунок 2), крышка транспортной капсулы закрывается за счет выступов па-

зов, что обеспечивает герметичность упаковки. Кроме того, эти же пазы не позволяют открыть крышку капсулы без повреждения и, таким образом, эти транспортные капсулы являются расходным материалом, предназначенным для разового применения.

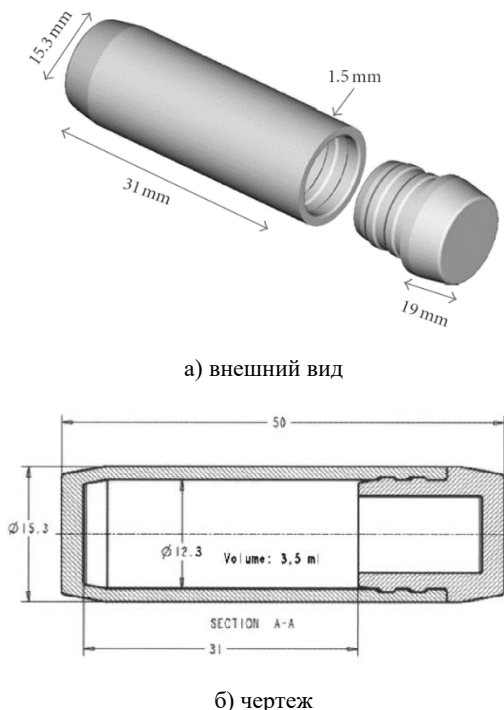


Рисунок 2. Транспортная капсула для ПТС

Для производства работ методом НАА на используемой ПТС транспортные капсулы должны удовлетворять следующим требованиям: размеры и геометрия капсул точно соответствуют чертежу, представленному на рисунке 2 [7]; полиэтилен, из которого изготовлены капсулы, должен обеспечивать достаточную плотность, твердость, гладкость поверхности, позволяющие передвижение капсулы по трубопроводу ПТС без застревания; недопустимо образование стружки при движении капсулы (за счет чего происходило бы торможение капсулы и засорение трубопровода ПТС); стойкость к повышенной температуре и деформации, возникающих при облучении нейтронами. Кроме того, обязательным условием при использовании транспортных капсул в качестве измерительных является химическая чистота материала капсул, поскольку наведенное излучение от облученной капсулы невозможно отличить от излучения исследуемого образца [8].

Для решения задачи пополнения расходного материала для ПТС были рассмотрены варианты либо покупки капсул, либо их производства. Оригинальные капсулы, согласно этикетке на упаковке, были изготовлены Нидерландским производителем пластиковых изделий PostNumus (PN) из полиэтилена высокой плотности HDPE (High Density Polyethylene), конкретная марка не указана. Данные

капсулы являются дорогостоящими и в условиях системы государственных закупок этот вариант приобретения является практически недоступным. Другим вариантом явилось бы самостоятельное производство необходимого количества капсул. Для этого при содействии сотрудников лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований (ЛИФ ОИЯИ) в рамках выполнения гранта полномочного представителя Республики Казахстан в ОИЯИ на предприятии ООО «Полипак» г. Дубна, Московская обл., РФ была изготовлена пресс-форма, предназначенная для одновременного литья одной транспортной капсулы с крышкой. В начале 2020 г. пресс-форма поступила в ИЯФ. Ближайший подходящий для нее пресс был найден на заводе пластиковых изделий ТОО «Alpha Plast» (расположенном в 15 км от ИЯФ, в поселке Байтерек, Енбекшиказахского района Алматинской области). Из марок полиэтилена, имеющихся в наличии на пластиковом заводе (полиэтилен высокой плотности HDPE J2210 и HDPE T50, низкого давления ПНД и высокого давления ПЭВД), а также материала, применявшегося при эксплуатации старой пневмопочты в ИЯФ (марка 15813-020 Хемолимпекс), были отлиты небольшие партии экспериментальных капсул. Также для исследований применялась экспериментальная партия капсул из материала ПВД 158, отлитых в ООО «Полипак». Вся имеющаяся в распоряжении информация о материале полиэтиленовых капсул представлена в таблице.

Таблица. Данные об исследуемых образцах полиэтилена

№	Марка полиэтилена	Производитель	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Объект для изучения	
				гранулы	изделие
1	HDPE (Original)	ЕС	нет информации		+
2	HDPE J2210	Узбекистан	0,958–0,962	+	+
3	HDPE T50	Туркменистан	0,951–0,955	+	+
4	ПНД	нет информации	нет информации		+
5	ПЭВД	Иран	нет информации		+
6	15813-020 Хемолимпекс	СССР	0,917±0,921	+	+
7	ПВД 158	РФ	0,919		+

На рисунке 3 представлены фотографии пресс-формы для изготовления одной транспортной капсулы и крышки. Масса пресс-формы порядка 100 кг. На рисунке 3, а показана пресс-формы в собранном виде, подготовленная для переноса – в верхней части есть специальные кольца для подъема. На рисунке 3, б показан фрагмент рабочего процесса отливки капсул, когда пресс-форма установлена на станке, подключены шланги подачи воздуха и охлаждения, фотография сделана в момент съема готового изделия – транспортной капсулы и крышки.



а) пресс-форма неподключенная



б) пресс-форма в работе

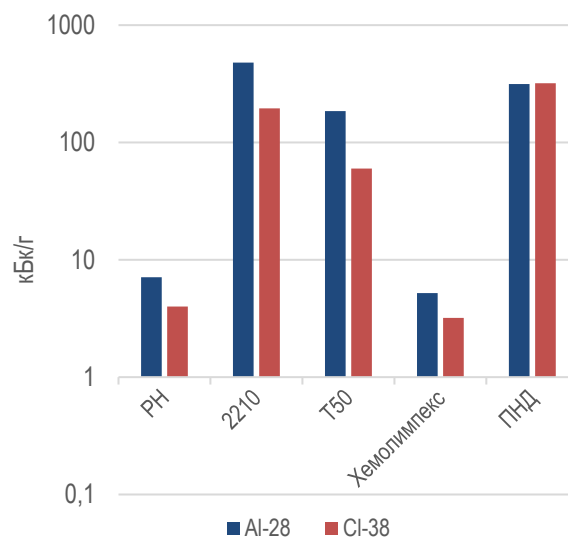
Рисунок 3. Пресс-формы для изготовления одной транспортной капсулы и крышки

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

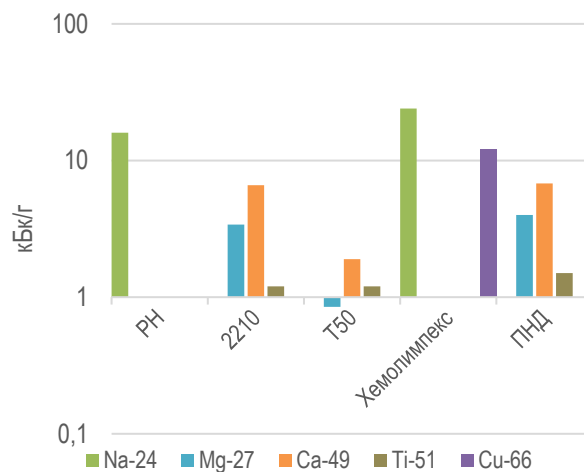
Проведено изучение имеющихся полиэтиленовых гранул и капсул (согласно таблице) методом НАА.

Для определения элементного состава капсул полиэтилена, а именно способности активироваться нейтронами при проведении НАА по КЖИ, было проведено облучение на ПТС и дальнейшее исследование спектров наведенной активности. Материал засыпался в стандартные капсулы. Масса определялась на аналитических весах с точностью 0,001 г. Облучение проводилось в течение 5 минут. Далее облученная капсула поступала в измерительную камеру на гамма-спектрометр и проводилась регистрация серии из шести спектров для  $T_{охл}$  (время охлаждения, прошедшее после активации капсулы) 0, 60, 120, 180, 240 и 300 с. Время набора спектра  $T_{изм}$  при этом составляло 60, 60, 60, 60, 60 и 300 с, соответственно. В таком же режиме облучалась и измерялась пустая стандартная капсула. Обсчет спектров выполнен с использованием пакета программного обеспечения Genie-2000 с учетом фона, а именно с вычитанием активности пустой стандартной капсулы, в которой об-

лучались гранулы. Значения активностей ( $10^3$  Бк/г) примесных изотопов в полиэтиленовых гранулах, вычисленных на момент окончания активации, представлены на рисунке 4. На рисунке 4, а показаны величины активностей радионуклидов Al и Cl, присутствующих во всех исследуемых материалах. На рисунке 4, б – активностей радионуклидов Na, Mg, Ca, Ti и Cu, которые можно рассматривать как элементы-маркеры, характерные для технологии производства полиэтиленовых гранул.



а) активности радионуклидов Al и Cl



б) активности радионуклидов Na, Mg, Ca, Ti и Cu

Рисунок 4. Активности (кБк/г) примесных изотопов в полиэтиленовых гранулах

Выполнена проверка способности капсул преодолевать трубопровод ПТС без застревания при транспортировке их в реактор и обратно. Ход капсул по трубопроводу ПТС отслеживался с помощью системы оптических датчиков, установленных на контрольных узлах ПТС. Серия «выстрелов» показала хорошую пригодность для этих целей капсул из мате-

риала высокой плотности HDPE T50 и HDPE 2210. Капсулы из полиэтилена низкого давления ПНД неоднократно застревали в ПТС, причем транспортировка в реактор проходила без затруднений, а после облучения, на этапе транспортировки из реактора, эти капсулы приходилось извлекать путем продувки системы. Капсулы ПЭВД, 15813-020 Хемолимпекс и ПВД 158 оказались полностью непригодными для использования в качестве транспортных капсул в связи с образованием большого количества стружки и застреванием почти при каждом испытании.

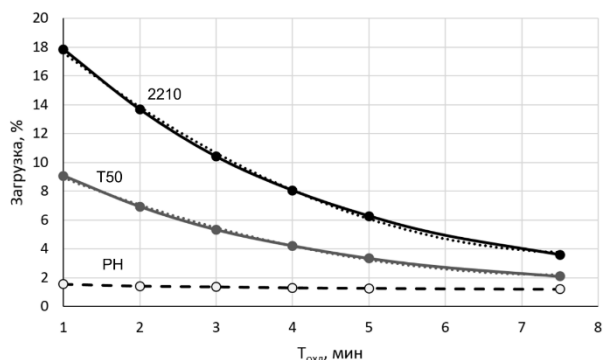


Рисунок 5. Загрузка гамма-спектрометрического оборудования от облученных пустых капсул Post Humus, T50 и 2210

Проведено сравнительное сличение спектров наведенной активности пустых капсул, отлитых из полиэтилена высокой плотности: PostHumus Original (PH), 2210 и T50 для времени облучения  $T_{обл} = 60, 120, 180$  и  $300$  секунд. Автоматическая регистрация спектров проводилась аналогично исследованию полиэтиленовых гранул: сериями из шести спектров для  $T_{охл} = 0, 60, 120, 180, 240$  и  $300$  с;  $T_{изм} = 60, 60, 60, 60, 60$  и  $300$  с, соответственно. На рисунке 5 представлены данные по загрузке гамма-спектрометра (мертвое время) в процентах для используемого режима регистрации спектров. Для спектров с  $T_{охл} = 300$  с и  $T_{изм} = 300$  с, соответствующие им значения мертвого времени указаны для середины временного интервала – измерение проводилось с 5-й по 10-ю минуту.

Для режима  $T_{обл} = 300$  с,  $T_{охл} = 300$  с,  $T_{изм} = 300$  с представлены наблюдаемые гамма-спектры пустых капсул, отлитых из полиэтилена высокой плотности HDPE PostHumus (рисунок 6, а), HDPE 2210 (рисунок 6, б) и HDPE T50 (рисунок 6, в). По вертикали в логарифмической шкале отложено количество зарегистрированных гамма импульсов (N), по горизонтали – энергия гамма излучения в кэВ. В спектрах наблюдаются аналитические сигналы радионуклидов Na-24 ( $E_{\gamma} = 1368,6$  кэВ и  $2754,0$  кэВ) с периодом полураспада  $T_{1/2} = 15$  ч, Mg-27 ( $E_{\gamma} = 843,8$  кэВ)  $T_{1/2} = 9,5$  мин., Al-28 ( $E_{\gamma} = 1273,3$  кэВ)  $T_{1/2} = 2,2$  мин., Cl-38 ( $E_{\gamma} = 1642,7$  кэВ и  $1293,6$  кэВ)  $T_{1/2} = 37$  мин., Ca-49

( $E_{\gamma} = 3084,4$  кэВ)  $T_{1/2} = 8,7$  мин., Ti-51 ( $E_{\gamma} = 320,1$  кэВ)  $T_{1/2} = 5,8$  мин. В спектре присутствуют пики двойной и одиночной утечки (полное поглощение, за исключением двух или одного аннигиляционного фотона с энергией 511 кэВ): это энергии 757 кэВ, 1146 кэВ, 1268 кэВ, (так называемые, SE-single-escape и DE-dowble-escape) радионуклидов Al-28 и Cl-38. Также в спектре оригинальной капсулы из материала HDPE PostHumus наблюдается фоновое излучение естественных радионуклидов (ЕРН) К-40 (1461 кэВ), Тl-208 (2614 кэВ). В спектрах капсул из материала HDPE 2210 и HDPE T50 пики ЕРН не видны, т.к. «утоплены» под общим пьедесталом спектра.

С уменьшением времени облучения капсул, в спектрах наведенной активности наблюдается менее выраженная картина активации примесей состава полиэтиленового материала. Так, для материала HDPE T50 при  $T_{обл} = 40$  с в спектре наблюдаются только изотопы Al-28, Cl-38, Ag-41 и Ti-51. Активность наблюдаемых изотопов также уменьшается.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Известно, что полиэтилен получают полимеризацией газа этилена при высоком и низком давлении. Полиэтилен, получаемый при высоком давлении (150–300 МПа, 150–320 °С), называется полиэтиленом высокого давления ПЭВД (или низкой плотности LDPE), получают его полимеризацией этилена в автоклавном или трубчатом реакторе. При низком давлении (<4 МПа, 80 °С) на комплексных металлоорганических катализаторах в суспензии или газовой фазе получают полиэтилен низкого давления ПЭНД (или высокой плотности HDPE). Для производства чаще всего применяют раствор этилена в гексане, который нагревают до 160–250 °С. Процесс проводят при давлении 3,4–5,3 МПа в течение времени контакта смеси с катализатором 10–15 минут. Готовый ПЭНД отделяют при помощи испарения растворителя. Гранулы получившегося полиэтилена проходят пропарку паром при температуре выше  $T$  плавления ПЭ. Это нужно для перевода в водный раствор низкомолекулярных фракций полиэтилена и удаления следов катализаторов.

То есть, по существу в химическом составе полиэтилена содержится только углерод и водород. Однако, при производстве ПЭНД используются специальные катализаторы, например, титанмагнийевый, титан-алюминиевый катализатор, ванадиймагнийевый катализатор, титанхлорный, оксид хрома, оксид молибдена и другие. В качестве носителя катализатора используют силикагели, алюмосиликаты, или диоксид кремния. Кроме того, для повышения таких характеристик, как электропроводность, стойкость к ультрафиолетовому излучению, в состав ПЭНД добавляют определенные присадки (стабилизаторы).

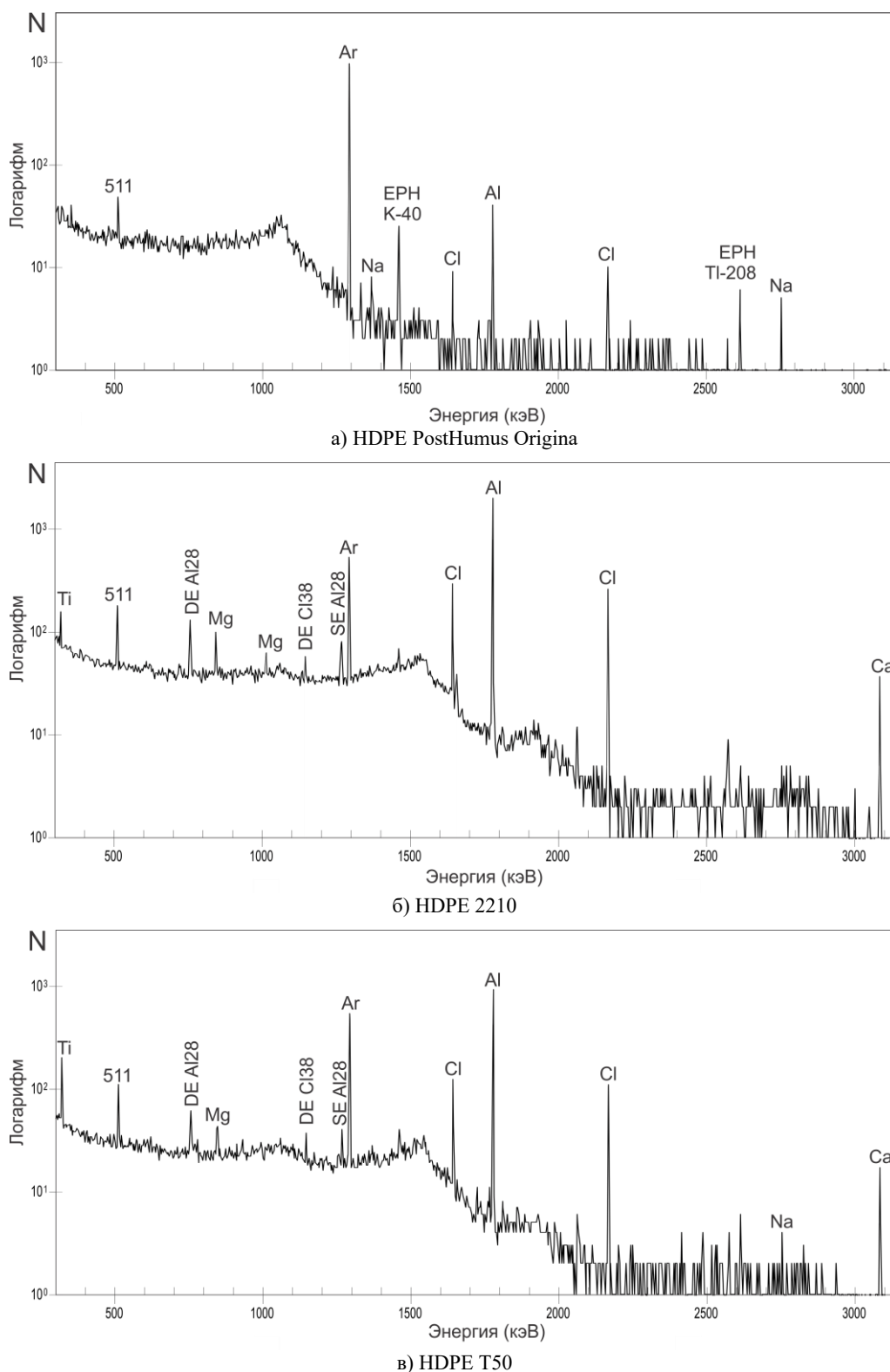


Рисунок 6. Спектры наведенной активности пустых капсул из полиэтилена высокой плотности

Из сравнения спектров облученных капсул видно, что в оригинальной капсуле производства PostHumus (рисунок 6, а) присутствует излучение радионуклидов Cl-38, Na-24, Ar-41, Al-28. Наличие Ar-41 вызвано излучением активированного в реакторе воздуха, который находится внутри капсулы. Гамма-излуче-

ние изотопа Al-28 объясняется двумя механизмами: внешнее загрязнение капсулы вследствие ее столкновения с алюминиевыми стыками при пролете по трубопроводу ПТС, а также от наличия Al в материале капсулы.

В спектрах облученных капсул из материала HDPE J2210 и HDPE T50 (рисунок 6, б и в) также присутствуют сигналы Сl-38, Na-24, Al-28, но количество зарегистрированных импульсов и рассчитанных активностей указывает на многократное превышение содержания Al и Сl в капсулах, изготовленных из J2210 и T50 по сравнению с капсулой производства PostHumus. Содержание Na-24 для T50 сравнимо с PostHumus. Выбирая между материалом J2210 и T50, предпочтение было отдано T50, поскольку в T50 содержания Mg, Al, Сl, Са меньше в 2–3 раза. При этом, в T50 содержание Ti превышает в 1,5 раза и в небольшом количестве присутствуют относительно долгоживущие КЖИ Na и Mn (период полураспада 15 ч и 2,5 ч, соответственно).

Наличие вкладов примесей в полиэтилене объясняется, по нашему мнению, остатками катализаторов вследствие неполного их удаления в процессе приготовления ПЭНД. Различный состав примесей и разная степень очистки может быть характерной чертой технологического процесса отдельных производителей полиэтиленовых гранул.

Надо отметить, что  $T_{\text{обл}} = 300$  с крайне редко используется для активации образцов при проведении НАА по КЖИ (с периодом полураспада в несколько секунд или минут). Так, при проведении тестовых испытаний ПТС ВВР-К, было установлено, что оптимальное время облучения составляет от 20 до 60 с для образцов минерального состава массой 100 мг.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследуемые экспериментальные образцы капсул по сравнению с оригинальными вносят большой вклад в загрузку спектрометрического оборудования вследствие наличия в материале HDPE J2210 и HDPE T50 следов катализаторов, применяемых в технологии изготовления этих материалов. При этом транспортные способности этих экспериментальных капсул не отличаются от оригинальных.

Для исследований методом НАА по КЖИ без переупаковки облученных образцов (когда измерение спектров образцов проводится в транспортной капсуле) обязательным является учет фонового излучения самих транспортных капсул. Для корректного учета фона, режимы облучения капсулы с образцом и пустой капсулы должны быть одинаковыми.

*Данная работа выполнена в рамках бюджетного финансирования Министерства Энергетики Республики Казахстан «Развитие ядерно-физических методов и технологий для инновационной модернизации экономики Казахстана» ИРН: BR09158958.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сокольский В.В., Солодухин В.П., Казачевский И.В. Ядерно-физические методы анализа для науки и промышленности Казахстана // Международная конференция «Ядерная и радиационная физика». – Алматы, 1997. – С. 208–216.

2. Сокольский В.В., Солодухин В.П., Казачевский И.В. Ядерно-физические методы анализа в решении актуальных проблем Казахстана // Сб. «Институту ядерной физики Национального ядерного центра Республики Казахстан 50 лет». – Алматы, 2007. – С. 69–85.
3. Solodukhin V.P., Poznyak V.L., Silachev I.Yu., Goralchev I.D. Development the complex of nuclear-physical methods of analysis for geological and technological tasks in Kazakhstan // J Radioanal Nucl Chem (2016) 309:125–134.
4. Solodukhin V., Poznyak V. Studying the effect of radioactive wastes at the Ak-Tyuz depositon radionuclide and elemental composition of water objects of Kichi-Kemin river // Radiation Protection Dosimetry, 2015, Vol. 164, No. 4, P. 552–555.
5. Solodukhin V.P., Poznyak V.L., Kabirova G.M., Ryazanova L.A., Lennik S.G., Liventsova A.S., Bychenko A.N., Zheltov D.A. Rradionuclides and toxic chemical elements in the transboundary «Kyrgyzstan- Kazakhstan» rivers // J Radioanal Nucl Chem. (2016) 309:115–124.
6. Silachev I.Yu. Instrumental neutron-activation analysis of geological samples for rare earths using internal standard method // VII Eurasian Conference on “Nuclear Science and Its Application”. Book of abstracts. Baku Azerbaijan. October 21–24, 2014. – P. 297–299.
7. S.S. Ismail. A New Automated Sample Transfer System for Instrumental Neutron Activation Analysis. Journal of Automated Methods and Management in Chemistry, Volume 2010, Article ID 389374, 8 pages, <https://doi.org/10.1155/2010/389374>
8. Зуев С.В., Афонин А.А., Бурмистров Ю.М., Капустин И.А., Конобеевский Е.С., Мордовской М.В., Плетников Е.В., Пономарев В.Н., Солодухов Г.В. Изучение возможности использования различных аэрозольных фильтров для нейтронно-активационного анализа // Известия РАН. Серия физическая. – 2019. Т. 83, № 4, С. 495–499.

#### REFERENCES

1. Sokol'skiy V.V., Solodukhin V.P., Kazachevskiy I.V. Yaderno-fizicheskie metody analiza dlya nauki i promyshlennosti Kazakhstana // Mezhdunarodnaya konferentsiya “Yadernaya i radiatsionnaya fizika”. – Almaty, 1997. – P. 208–216.
2. Sokol'skiy V.V., Solodukhin V.P., Kazachevskiy I.V. Yaderno-fizicheskie metody analiza v reshenii aktual'nykh problem Kazakhstana // Sb. “Institutu yadernoy fiziki Natsional'nogo yadernogo tsentra Respubliki Kazakhstan 50 let”. – Almaty, 2007. – P. 69–85.
3. Solodukhin V.P., Poznyak V.L., Silachev I.Yu., Goralchev I.D. Development the complex of nuclear-physical methods of analysis for geological and technological tasks in Kazakhstan // J Radioanal Nucl Chem (2016) 309:125–134.
4. Solodukhin V., Poznyak V. Studying the effect of radioactive wastes at the Ak-Tyuz depositon radionuclide and elemental composition of water objects of Kichi-Kemin river // Radiation Protection Dosimetry, 2015, Vol. 164, No. 4, P. 552–555.
5. Solodukhin V.P., Poznyak V.L., Kabirova G.M., Ryazanova L.A., Lennik S.G., Liventsova A.S., Bychenko A.N., Zheltov D.A. Rradionuclides and toxic chemical elements in the transboundary «Kyrgyzstan- Kazakhstan» rivers // J Radioanal Nucl Chem. (2016) 309:115–124.

6. Silachev I.Yu. Instrumental neutron-activation analysis of geological samples for rare earths using internal standard method // VII Eurasian Conference on “Nuclear Science and Its Application”. Book of abstracts. Baku Azerbaijan. October 21–24, 2014. – P. 297–299.
7. S.S. Ismail. A New Automated Sample Transfer System for Instrumental Neutron Activation Analysis. Journal of Automated Methods and Management in Chemistry, Volume 2010, Article ID 389374, 8 pages, <https://doi.org/10.1155/2010/389374>
8. Zuev S.V., Afonin A.A., Burmistrov Yu.M., Kapustin I.A., Konobeevskiy E.S., Mordovskoy M.V., Pletnikov E.V., Ponomarev V.N., Solodukhov G.V. Izuchenie vozmozhnosti ispol'zovaniya razlichnykh aerosol'nykh fil'trov dlya neytronno-aktivatsionnogo analiza // Izvestiya RAN. Seriya fizicheskaya. – 2019. Vol. 83, No. 4, P. 495–499.

### ҚЫСҚА МЕРЗІМДІ ИЗОТОПТАРҒА НЕЙТРОНДЫҚ БЕЛСЕНДІРУ ТАЛДАУЫНА ҚАЖЕТ ТАСЫМАЛДАУ КАПСУЛАРЫН ЖАСАУ ҮШІН ПОЛИЭТИЛЕНІҢ БІЛГІЛІ БІР ТҮРЛЕРІНІҢ ҚОЛДАНУ МҮМКІНДІГІН ЗЕРТТЕУ

С.Г. Ленник, Е.К. Соколенко, К.А. Бедельбекова

*Энергетика министрлігі «Ядролық физика институты» РМК, Алматы, Қазақстан*

Қысқа мерзімді изотоптарға нейтрондық белсендіру талдауына қажет арнайы шығын материалды толықтыру мақсатында эксперименттік үлгілері жасалды. Өндірілген капсулардың тасымалдаудың нақты жағдайларына сәйкестігі зерттелді. Капсула материалының элементтік құрамының зерттеуі жүргізілді. Бағытталған радиоактивтіліктің спектрлерін талдау нәтижелері полиэтиленде металл қоспаларының бар екендігін көрсетті, оларды нейтрондық белсендіру талдауын жүргізу кезінде еске алу керек.

**Түйін сөздер:** нейтронды белсендіру талдау, пневматикалық тасымалдау жүйесі, қысқа мерзімді изотоптар, полиэтилен, реактор.

### STUDYING THE POSSIBILITY OF USING POLYETHYLENE OF SEPARATE GRADES (TYPES) FOR THE MANUFACTURE OF TRANSPORT CAPSULES NECESSARY FOR THE PERFORMANCE OF NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS ON SHORT LIVING ISOTOPES

S.G. Lennik, E.K. Sokolenko, K.A. Bedelbekova

*RSE “Institute of Nuclear Physics” Ministry of Energy, Almaty, Kazakhstan*

To replenish a specific consumable material, experimental samples of transport capsules were made, intended for neutron activation analysis for short-lived isotopes. The correspondence of the manufactured capsules to the real conditions of their transportation has been studied. The study of the elemental composition of the capsule material has been carried out. Analysis of the spectra of induced activity showed the presence of metal impurities in polyethylene, which must be taken into account when performing neutron activation analysis.

**Keywords:** neutron activation analysis, pneumatic transport system, short-lived isotopes, polyethylene, reactor.