

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛОТА В ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЖКХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

## GOLD DETERMINATION BY NEUTRON-ACTIVATION METHOD IN ANTHROPOGENIC WASTE OF ENERGY UTILITIES COMPANIES IN PRIMORSKY REGION

**O. Elkin  
S. Ivannikov  
I. Grebenyuk  
V. Zheleznov  
A. Taskin**

*Summary.* Decrease in the flow of thermal neutrons from an neutron ampoule source based on Cf-252 inside the activation zone due to the absorption of thermal neutrons by elements contained in the sample (Fe, Ti and Mn) was shown. It was established that the active absorption of thermal neutrons by matrix elements of the sample can lead to a systematic error in the determination of elements (Au and Eu) by the instrumental neutron activation method (INAA) in samples of different elemental composition.

The linear correlation of the thermal neutron flux in the center of the cell with the activated sample on the average absorption cross-section was shown. For the correct determination of elements by INAA in samples of complex and heterogeneous composition, in particular in ash and slag waste of energy utilities, amend the absorption of thermal neutrons on the basis of sample preliminary elemental analysis was proposed.

It was shown that data on the fine gold content in the ash and slag waste determined by INAA method significantly higher than gold content determined by methods involving acid or assay decomposition of sample. The discrepancy in the results could be associated with the dense association of micron-sized gold particles with the surrounding minerals of ash and slag waste.

It was found according to the research results that ash and slag waste of utilities contain gold in quantities that can be considered as potentially interesting for industrial extraction.

*Keywords:* neutron-activation analysis; waste of energy utilities; finely dispersed gold; anthropogenic deposits; ampoule neutron source.

**Елкин Олег Иванович**

Начальник подразделения, ДВФУ, г. Владивосток  
elkin8@yandex.ru

**Иванников Сергей Игоревич**

К.х.н., н.с., Институт химии ДВО РАН, г. Владивосток  
fyajkfqn@mail.ru

**Гребенюк Игорь Владимирович**

Главный проектный менеджер, ДВФУ, г. Владивосток  
grebenyuk.iv@dvfu.ru

**Железнов Вениамин Викторович**

Д.х.н., Институт химии ДВО РАН, г. Владивосток

**Таскин Андрей Васильевич**

К.х.н., ДВФУ, г. Владивосток  
taskin@yandex.ru

*Аннотация.* Показано снижение потока тепловых нейтронов от ампульного источника нейтронов на основе Cf-252 внутри активационной зоны установки ИНАА, за счёт поглощения тепловых нейтронов макроэлементами, содержащимися в пробе (Fe, Ti и Mn). Установлено что активное поглощение тепловых нейтронов матричными элементами пробы может привести к систематической ошибке определения ряда элементов (Au и Eu) методом ИНАА при работе с образцами различного элементного состава.

Показана линейная зависимость величины потока тепловых нейтронов в центре кюветы с активируемым образцом от усреднённого сечения поглощения.

Для корректного определения элементов методом ИНАА в образцах сложного и неоднородного состава, в частности в золошлаковых отходах энергопредприятий ЖКХ, предложено вносить поправку на поглощение тепловых нейтронов на основе предварительного элементного анализа пробы.

Показано, что при определении тонкодисперсного золота методом ИНАА в золошлаковых отходах энергопредприятий ЖКХ, данные по содержанию золота в ЗШО, оказываются существенно выше, чем при использовании методов, предполагающие кислотное или пробирное разложение драгметаллов, за счёт более полного определения золота микронного размера, частицы которого плотно ассоциированы с окружающими минералами.

Установлено, что золошлаковые отходы энергопредприятий ЖКХ содержат золото в количествах, которые можно рассматривать как потенциально интересные для промышленного извлечения.

*Ключевые слова:* нейтронно-активационный анализ; золошлаковые отходы энергопредприятий ЖКХ; тонкодисперсное золото; техногенные месторождения; ампульный источник нейтронов.

## Введение

**В** настоящее время, как в России, так и за рубежом, происходит постепенное уменьшение объемов добычи россыпного золота. Тенденция к снижению среднего содержания металла в добываемых золотосодержащих песках приводит к росту издержек производства, что в конечном итоге сказывается на объеме прибыли, зачастую недостаточной для эффективного развития золотодобывающей отрасли [1], вместе с этим растёт интерес к переработке, как отвалов отработанных месторождений, так и других техногенных источников [2, 3]. Происходящие изменения в минерально-сырьевой базе затрагивают экономическое, экологические и социальные аспекты. Возникающие при этом многочисленные проблемы золотодобывающей отрасли, заставляют осуществлять поиск нетрадиционных решений и применять более сложные сценарии стратегического планирования [1]. Важнейшей проблемой, является увеличение объемов экономически эффективного производства золота из традиционных и нетрадиционных типов месторождений при минимальных затратах на сырье, заработную плату и финансовые средства.

В этой связи значительный интерес представляют золошлаковые отходы предприятий энергетики, ежегодное пополнение которых не только увеличивает негативную нагрузку на окружающую среду, но и обуславливает необходимость вовлечения таких источников в переработку с извлечением, в числе прочих, таких ценных компонентов как золото и редкоземельные элементы [4–6].

Техногенные золотосодержащие отходы с точки зрения вовлечения их в технологический передел с извлечением драгоценных металлов имеют свои особенности. Недостатками таких отходов в силу их химических, физико-механических и структурных особенностей являются: на порядок большее, чем в традиционном рудном сырье количество минеральных включений; невысокое содержание золота; золото представлено в основном трудно извлекаемыми формами. Значительная часть золота рассеяна в минеральной матрице и представлена разными формами тонко- и ультрадисперсных частиц, в виде вкраплений ассоциированных с сульфидными минералами, разной степенью окисленности [7–10]. Кроме того, в золах и золошлаках золото распределено неравномерно. Его содержание его может составлять от 0,015 до 1,76 г/т. При этом в продуктах магнитной фракции отмечается повышенное содержание золота в пределах 0,14–0,546 г/т [11].

При определении содержания тонкого и сверхтонкого золота в тех случаях, когда микрочастицы металла плотно ассоциированы с минералами различного со-

става, классические методы анализа золота, предполагающие разложение пробы, могут приводить к систематической погрешности за счёт неполного извлечения металла [12]. Альтернативой может быть использование ядерно-физических методов анализа, которые позволяют избежать систематического занижения результатов при анализе тонкого золота [13]. В частности, перспективным является использование инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) с использованием ампульного источника нейтронов на основе калифорния-252. Данный метод позволяет проводить определение золота в навесках до 300 г, что снимает вопрос о представительности пробы [14].

Следует, однако, учитывать, что в химическом плане техногенные месторождения золота являются объектами весьма сложными и неоднородными, а характер взаимодействия нейтронов с разными элементами существенно отличается. Таким образом, в зависимости от элементного состава пробы можно ожидать и существенного изменения распределения потока нейтронов внутри пробы, что может исказить результаты ИНАА. Для исключения обусловленных этим возможных систематических погрешностей при количественном определении содержания золота с помощью ИНАА в техногенных объектах было исследовано влияние на результаты ИНАА матричного состава пробы.

Актуальность представленной работы непосредственно связана с решением задачи определения содержания драгоценных металлов в золошлаковых отходах энергетических предприятий и поиском эффективного решения проблемы их извлечения из ЗШО энергопредприятий ЖКХ.

## Методика эксперимента

В качестве объекта исследования были взяты пробы ЗШО работающих на угле котельных ЖКХ Приморского края. — котельная № 3.3 г. Находка, котельная № 4.1 г. Находка, котельная г. Новошахтинск, котельная № 4 г. Дальнегорск, котельная г. Б. Камень.

Работы по определению золота методом ИНАА проводилась на разработанной в Институте химии ДВО РАН установке с ампульным источником нейтронов на основе калифорния-252 [15]. Установка, состоит из блока активации и спектрометрического комплекса (рис. 1).

Блок активации имеет центральный канал, в котором на подвижном штоке, располагаются ампульные источники нейтронов на основе  $^{252}\text{Cf}$ .

Пробы помещаются в 6 вертикальных облучательных каналах, высотой 160 мм и диаметром 67 мм, что позво-

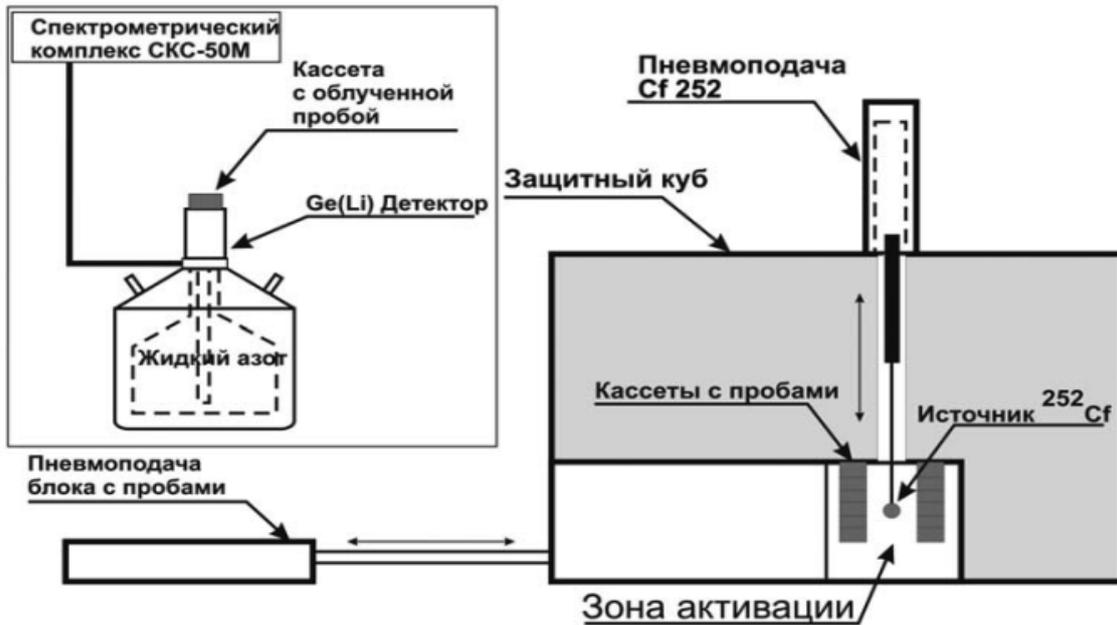


Рис. 1. Схема установки ИНАА с ампульным источником нейтронов на основе Cf-252

ляет проводить одновременное облучение до 36 кассет с пробами высотой с максимальной навеской до 300 г. Суммарный выход нейтронов от источников на основе  $^{252}\text{Cf}$  на момент проведения экспериментов составил  $1 \times 10^9$  нейтрон/сек. Геометрия активации, подбор замедлителя

и другие условия подробно описаны в работе диссертационной работе Кустова В. Н. [16].

Спектрометрический комплекс выполнен на основе коаксиального полупроводникового детектора типа GC2018 на основе сверхчистого германия, производства компании «Canberra». Энергетическое разрешение детектора составляет 1,8 кэВ при энергии излучения 1332 кэВ, относительная эффективность регистрации по пику 1332 кэВ составляет 20%.

Помимо детектора в состав спектрометрического комплекса входит предусилитель 2002CSL с охлаждаемым головным каскадом и процессор импульсных сигналов SBS-75 производства ООО «Грин Стар Технолоджис».

Для набора спектров гамма-излучения использовалась программа eSBS Version 1.6.7.0. Для обработки результатов измерений, применялась программа «Гамма-анализатор для полупроводниковых детекторов (ППД)» версия 1.0.

Длительность активации образцов составляла 72 ч, время выдержки образцов 1 час, время измерения в зависимости от содержания золота в пробах составляло

от 10 мин до 2 ч. Порог определения золота по изотопу  $^{198}\text{Au}$ , при приведённых условиях составлял 0,1 г/т.

Пространственное распределение потока тепловых и резонансных нейтронов изучали методом кадмевой разности. Толщина кадмиевого фильтра составляла 0,7 мм.

Определение элементного состава пробы проводилось методом рентгено-флуоресцентного анализа (РФА) на энергодисперсионном рентгено-флуоресцентном спектрометре EDX-800HS производства Shimadzu, Япония в Лаборатории молекулярного и элементного анализа Института химии ДВО РАН, входящей в Центр коллективного пользования «Дальневосточный центр структурных исследований» (ДВЦСИ). Чувствительность определения элементов от Na до U для данного метода составила до 1 ppm.

Контрольные измерения содержания золота в золошлаковых отходах энергопредприятий ЖКХ проводились в лаборатории микро- и наноисследований аналитического центра Дальневосточного геологического института ДВО РАН (ДВГИ), методом атомно-адсорбционной спектрофотометрии (ААС) на атомно-адсорбционном спектрофотометре Shimadzu 6800.

Микрофотографии частиц тонкодисперсного золота были получены с помощью растрового электронного микроскопа JEOL (Япония), оснащённого энергодисперсионным анализатором «JCM-6000 PLUS» в Институте горного дела ДВО РАН и сканирующем электронном

Таблица 1. Плотность потока тепловых нейтронов в центре 100 мл кюветы при облучении золотых пластин

Позиция	Al-силикаты (нейтр/сек*см <sup>2</sup> )	Недожог угля (нейтр/сек*см <sup>2</sup> )	Fe-содержащий концентрат (нейтр/сек*см <sup>2</sup> )	Ti-магнетит (нейтр/сек*см <sup>2</sup> )
1	3,41E+07	3,61E+07	2,31E+07	2,55E+07
2	4,98E+07	4,41E+07	2,87E+07	3,50E+07
3	5,14E+07	5,11E+07	2,93E+07	4,11E+07
4	5,06E+07	5,22E+07	2,99E+07	4,33E+07

Таблица 2. Плотность потока тепловых нейтронов в центре 100 мл кюветы при облучении образцов Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Позиция	Al-силикаты (нейтр/сек*см <sup>2</sup> )	Недожог угля (нейтр/сек*см <sup>2</sup> )	Fe-содержащий концентрат (нейтр/сек*см <sup>2</sup> )	Ti-магнетит (нейтр/сек*см <sup>2</sup> )
1	3,69E+07	3,07E+07	2,14E+07	2,23E+07
2	4,66E+07	3,65E+07	2,77E+07	2,77E+07
3	5,20E+07	4,23E+07	2,92E+07	3,32E+07
4	5,78E+07	4,86E+07	3,25E+07	3,60E+07

микроскопе JSM-6490LV (JEOL, Япония), оборудованном энергодисперсионным спектрометром INCA Energy и системой микроанализа для спектрометра с волновой дисперсией (ВДС) INCA Wave в ДВГИ ДВО РАН.

## Результаты и обсуждение

На имеющейся установке ИНАА ранее были проведены исследования по определению золота в модельных пробах различного элементного состава [17]. Были рассмотрены следующие возможные источники систематических погрешностей определения золота с помощью ИНАА на основе <sup>252</sup>Cf при внесении в зону формирования нейтронного поля большого количества сильно отличающихся, по своему составу проб:

- ♦ изменение спектра нейтронов из-за разных сечений рассеяния нейтронов, в частности за счёт активного рассеяния нейтронов на лёгких элементах;
- ♦ изменение потока нейтронов, связанное с поглощением нейтронов тяжёлыми элементами, содержащимися в пробах.

Проведённые исследования показали:

- ♦ отсутствие значимого различия в рассеянии потока тепловых и резонансных нейтронов от ампульного источника <sup>252</sup>Cf, при определении золота в пробах различного минерального состава;
- ♦ значимое снижение потока тепловых нейтронов от ампульного источника <sup>252</sup>Cf, за счёт поглощения нейтронов макроколичествами железа и титана, содержащимися в железосодержащих и титаномагнетитовых пробах.

С целью разработки методики учёта эффекта поглощения тепловых нейтронов при проведении ИНАА в пробах различного минерального состава, в данной работе нами были проведены дополнительные исследования влияния состава ЗШО и отдельных фракций золы (алюмосиликаты; недожог угля; железный концентрат; титаномагнетит) на результаты ИНАА.

Во-первых, изучалось влияние на результаты ИНАА привнесение в зону активации значительного количества вещества (3–5 кг), для имитирования полной загрузки зоны активации исследуемыми образцами.

Эксперименты с активацией образцов золотой фольги массой 1.5–2.0 мг в центре 100 мл кювет, заполненных модельными пробами различного минерального состава, показали снижение потока тепловых нейтронов в среднем в 1.2–1.8 раза в центре кюветы при переходе от алюмосиликатной и углеродсодержащей пробы к железосодержащему концентрату и титаномагнетиту (табл. 1).

Аналогичные результаты наблюдались и при определении методом ИНАА содержания Европия. При активации образцов оксида европия (Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) массой 3.1–3.5 мг, в центре 100 мл кювет, заполненных модельными пробами различного минерального состава, было обнаружено снижение потока тепловых нейтронов в среднем в 1.5–1.8 раза при переходе от алюмосиликатной и углеродсодержащей пробы к железосодержащему концентрату и титаномагнетиту (табл. 2) (рис. 2).

Таким образом, снижение потока тепловых нейтронов в железосодержащем концентрате и титаномагне-

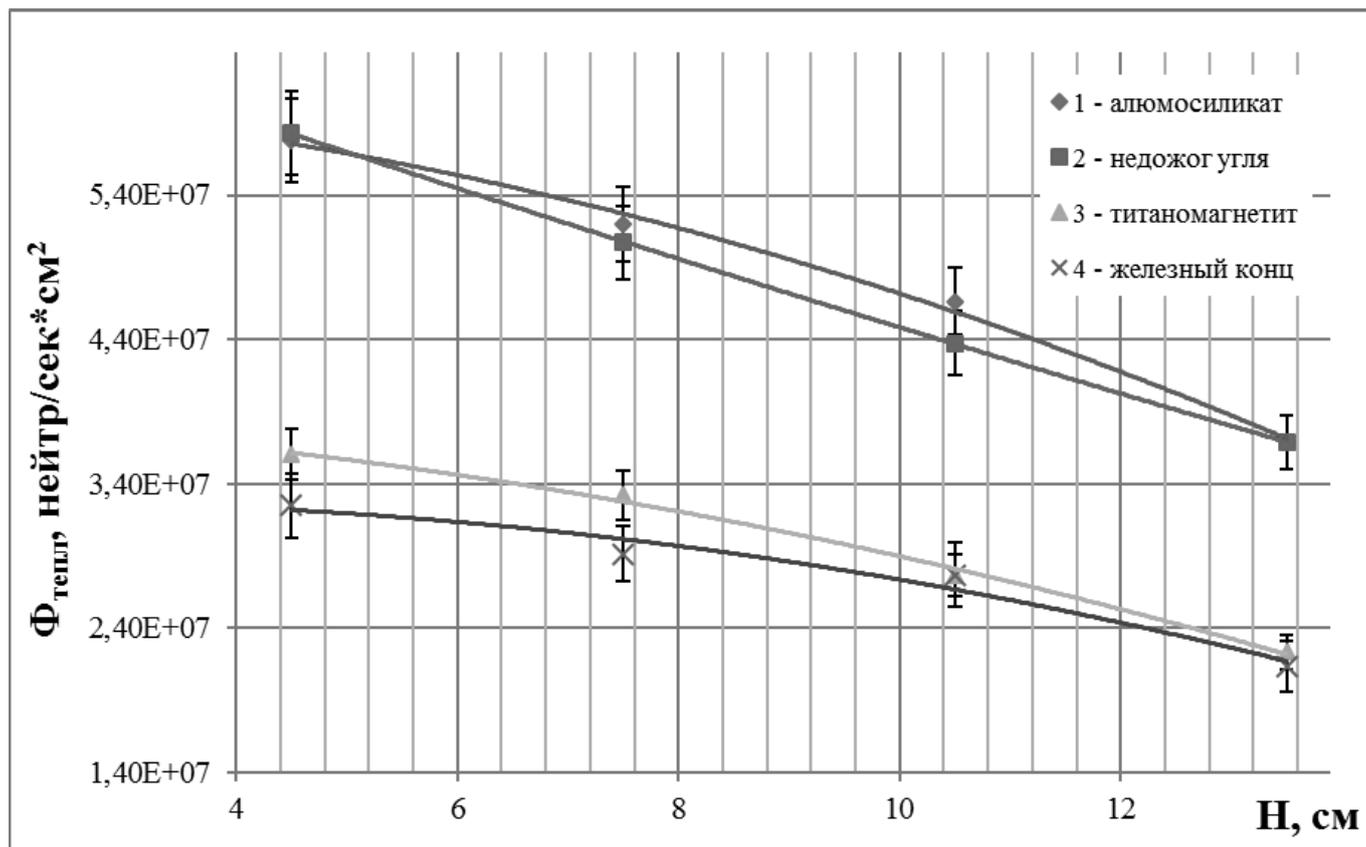


Рис. 2. Пространственное распределение потоков тепловых нейтронов в модельных пробах различного минерального состава, при определении европия методом ИНАА: 1 — алюмосиликаты; 2 — недожог угля; 3 — титаномагнетит; 4 — железосодержащий концентрат

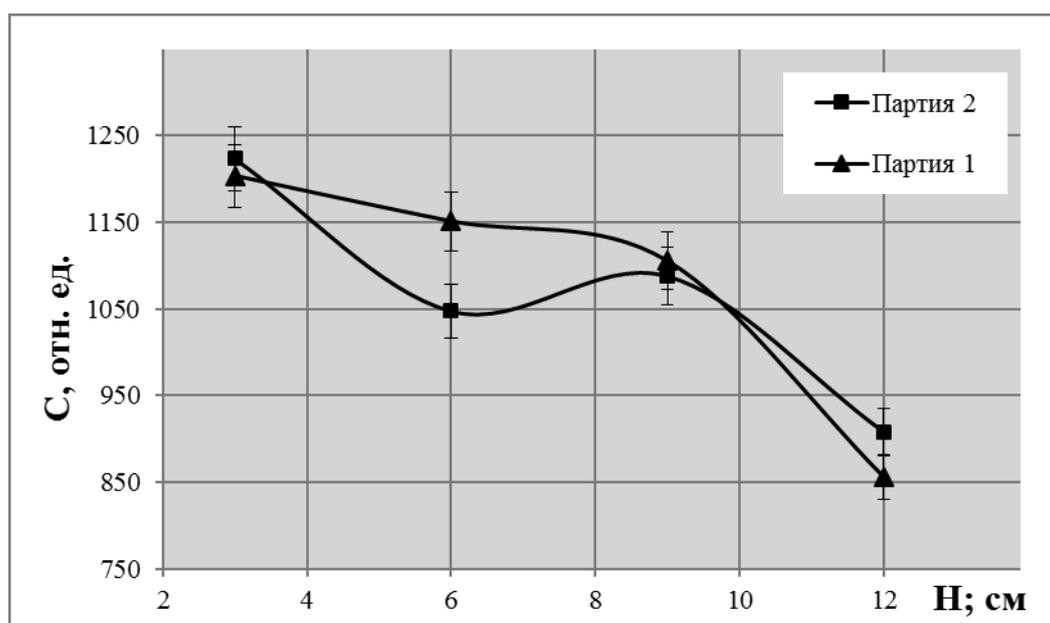


Рис. 3. Различие в наведённой активности при облучении золотых пластин в алюмосиликатном окружении — партия 1 и в железосодержащем концентрате — партия 2

Таблица 3. Содержание макроэлементов в пробе и усредненное сечение поглощения, исследованных модельных образцов

Проба	Содержание макроэлементов, масс.%										$\sigma_{ср}$ б <sub>арн</sub>
	Fe	Ti	Cr	Al	Mn	Si	Ca	K	C	O	
1	0,43	0,13	0,15	6,76	0,02	33,5	2,20	6,63	2,11	47,2	0,25
2	1,04	0,01	0,48	10,9	0,01	18,4	2,22	2,48	28,1	34,3	0,17
3	54,6	6,20	1,39	0,01	1,10	0,30	3,50	0,40	0,00	30,9	2,06
4	45,3	4,34	0,00	1,86	0,58	2,35	0,58	0,00	0,00	43,6	1,54

тите, по сравнению с пробами из недожога угля и алюмосиликатов, за счёт поглощения нейтронов, может приводить к систематической ошибке анализов при определении различных элементов.

Поскольку при определении золота методом ИНАА возможно одновременное облучение проб различного минерального состава, важной задачей является оценка эффекта снижения потока тепловых нейтронов, за счёт поглощения матричными компонентами пробы для одиночного образца. Для этого проводились измерения с двумя сериями проб объёмом по 50 мл каждая, с внесёнными внутрь золотыми пластинами массой по 2.0 мг. В первой серии во всех образцах в качестве наполнителя использовалась модельная алюмосиликатная проба, а в одном образце в качестве наполнителя использовался железосодержащий концентрат. Исследуемая серия проб заполняла 1 из 6 облучательных каналов, а в качестве балластовой загрузки для остальных каналов использовалась модельная алюмосиликатная проба общей массой в 3 кг. Проведённые измерения показали занижение результатов ИНАА при определении золота в железосодержащем концентрате на 9%, по сравнению с аналогичным измерением для алюмосиликатной пробы (рис. 3).

Поскольку снижение потока тепловых нейтронов в железосодержащем образце, по сравнению с алюмосиликатным, при определении золота методом ИНАА вызвано поглощением нейтронов элементами пробы, то для учёта влияния данного фактора необходимо оценить элементный состав исследуемых образцов.

С помощью метода РФА, нами были получены основные данные по элементному составу модельных проб. Данные по содержанию углерода были получены с помощью анализатора углерода Shimadzu TOC-ve, данные по содержанию кислорода были получены расчётным методом (табл. 3).

Примечание: 1 — алюмосиликаты; 2 — недожог угля; 3 — железосодержащий концентрат; 4 — титаномагнетит.

На основании полученных данных были рассчитаны значения усреднённого сечения поглощения тепловых нейтронов макроэлементами модельных образцов (табл. 3). Усреднённое сечение поглощения для пробы рассчитывалось по формуле:

$$\sigma_{ср} = \sum_{i=1}^n C_i \cdot \sigma_i$$

где  $C_i, \%$  — содержание элемента в пробе,  $\sigma_i$  б<sub>арн</sub> — сечение поглощения тепловых нейтронов для естественной изотопной смеси данного элемента,  $n$  — число элементов. Значения  $\sigma_i$  были взяты из справочника Медниса [18]. В результате была обнаружена линейная корреляция между величиной потока тепловых нейтронов в центре 100 мл кюветы и усреднённым сечением поглощения тепловых нейтронов, рассчитанном по основным макроэлементам пробы (рис. 4). Коэффициент корреляции составляет 0,99.

в центре кюветы от усреднённого сечения поглощения тепловых нейтронов макрокомпонентами пробы  $\sigma_{ср}$

Как показали результаты расчётов  $\sigma_{ср}$  основной вклад в поглощение потока тепловых нейтронов вносят Fe, Ti и Mn, содержащиеся в пробах, за счёт высоких значений сечения поглощения и содержания в исследуемых образцах. На долю этих элементов приходится 94–98% поглощения нейтронов для железосодержащей и титаномагнетитовой пробы и 10–64% поглощения нейтронов для алюмосиликатной пробы и недожога угля.

Поскольку при активации проб содержащих макроколичества Fe, Ti и Mn возможна систематическая погрешность при определении элементов методом ИНАА, то для проведения корректных анализов необходимо либо создавать эталоны, моделирующие содержание основных поглощающих элементов, либо вносить поправку на поглощение тепловых нейтронов на основе предварительного элементного анализа пробы. Помимо указанных выше элементов, существенный вклад в поглощение тепловых нейтронов за счёт высоких по-

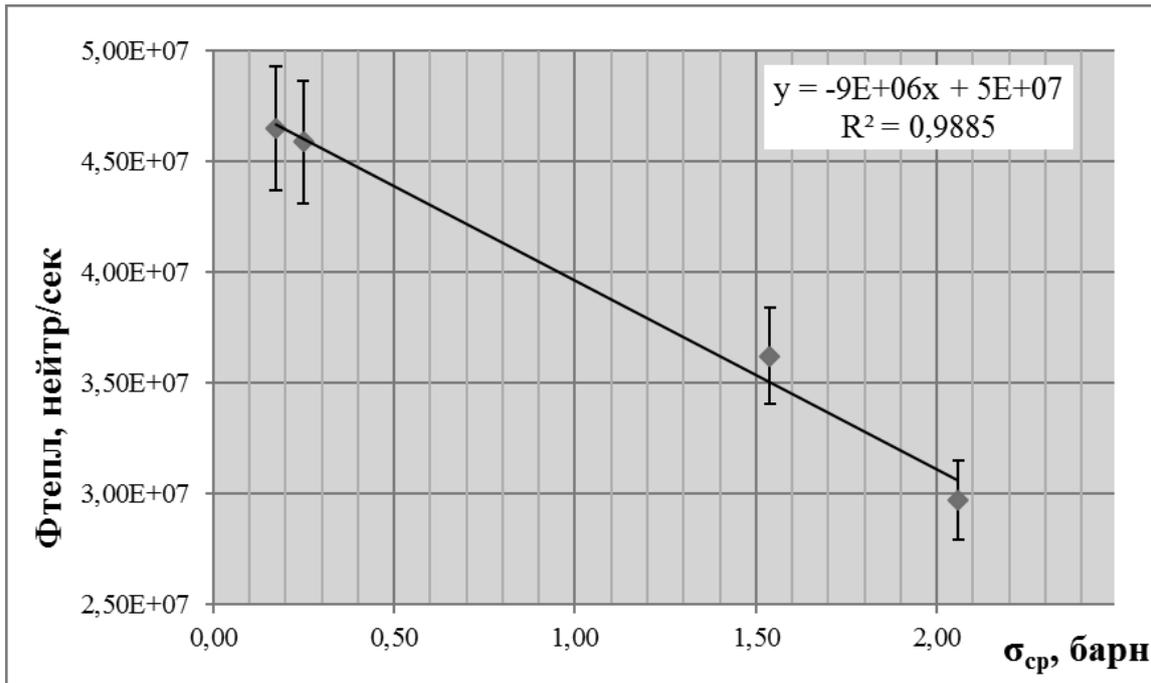


Рис. 4. Зависимость величины потока тепловых нейтронов  $\Phi_{тепл}$

казателей сечения поглощения, также может вносить мышьяк, в избытке содержащийся в арсенопиритовых пробах, и редкоземельные элементы (РЗЭ) при их высоком содержании в пробе. Поэтому наиболее точной будет поправка на поглощение тепловых нейтронов, рассчитанная по всем макроэлементам пробы, включая РЗЭ.

Зависимость между величиной потока тепловых нейтронов и усреднённым сечением поглощения пробы носит линейный характер (см. рис. 4) и по результатам экспериментальных измерений равна:

$$\Phi_{тепл} = -8,9 \cdot 10^6 \cdot \sigma_{ср} + 4,82 \cdot 10^7,$$

где  $\Phi_{тепл}$  — поток тепловых нейтронов в центре кюветы с породой;  $\sigma_{ср}$  — усреднённое сечение поглощения тепловых нейтронов макроэлементами пробы. Такую зависимость можно использовать для введения поправки на поглощение нейтронов, рассмотрим это на примере железосодержащего концентрата. Усреднённое сечение поглощения тепловых нейтронов для данной пробы составило —  $\sigma_{ср} = 2,06$  барн, что соответствует падению потока тепловых нейтронов в центре кюветы с образцом на:

$$\Delta\Phi_{тепл} = \frac{8,9 \cdot 10^6 \cdot \sigma_{ср}}{4,82 \cdot 10^7} * 100\% = 38\%.$$

Проведённые исследования позволяют учитывать неоднородность элементного состава ЗШО, и проводить эффективное определение содержания редких и благо-

родных элементов методом ИНАА как в самих ЗШО предприятий энергетического комплекса, так и в различных продуктах переработки ЗШО в виде недожога угля, железосодержащего концентрата, алюмосиликатных микросфер и т.п.

Метод ИНАА, с учётом введённой поправки на поглощение тепловых нейтронов макроэлементами пробы, был применён для определения содержания золота в золошлаковых отходах с полигонов ряда энергопредприятий ЖКХ Приморского края (котельная № 3.3, г. Находка, котельная № 4.1, г. Находка, котельная, г. Новошахтинск, котельная, № 4, г. Дальнегорск, котельная, г. Б. Камень).

В качестве контрольного метода, для определения содержания золота в ЗШО, использовалась методом атомно-адсорбционная спектрофотометрия (ААС). Результаты исследований показали, что данные по содержанию золота в ЗШО оказываются существенно выше при определении методом ИНАА, нежели при использовании ААС (табл. 4).

Такое расхождение результатов определения золота двумя методами может быть объяснено тонкодисперсностью частиц золота, составляющих основную массу металла в исследованных ЗШО. Так в работе А.И. Хачука [19], было показано, что при анализе тонкодисперсного золота методы, предполагающие кислотное или пробирное разложение драгметаллов, показывают заниженные содержания драгметаллов, в то время как неразрушаю-

Таблица 4. Содержание золота по данным ИНАА и ААС, в золошлаковых отходах с полигонов энергопредприятий ЖКХ Приморского края

№	Наименование пробы	C <sub>Au</sub> , г/т (ИНАА)	C <sub>Au</sub> , г/т (ААС)
1	Проба Н-3.3-1ш (котельная № 3.3, г. Находка)	0,10	0,18
2	Проба Н-3.3-3ш (котельная № 3.3, г. Находка)	< 0,05	< 0,01
3	Проба Н-3.3-5ш (котельная № 3.3, г. Находка)	0,06	< 0,01
4	Проба Н-3.3-6ш (котельная № 3.3, г. Находка)	<0,05	< 0,01
5	Проба Б-К-10ш (котельная, г. Б. Камень)	<0,05	< 0,01
6	Проба Б-К-12ш (котельная, г. Б. Камень)	<0,05	< 0,01
7	Проба Б-К-14ш (котельная, г. Б. Камень)	<0,05	0,025
8	Проба Б-К-17ш (котельная, г. Б. Камень)	0,10	< 0,01
9	Проба АРС-23ш (котельная, г. Арсеньев)	0,11	< 0,01
10	Проба Д-4-29ш (котельная, № 4, г. Дальнегорск)	<0,05	< 0,01
11	Проба Д-4-31ш (котельная, № 4, г. Дальнегорск)	0,45	< 0,01
12	Проба Д-4-33ш (котельная, № 4, г. Дальнегорск)	0,15	< 0,01
13	Проба Н-2-37ш (котельная, г. Новошахтинск)	0,35	< 0,01
14	Проба Н-2-39ш (котельная, г. Новошахтинск)	0,45	< 0,01
15	Проба Н-2-40ш (котельная, г. Новошахтинск)	0,20	< 0,01
16	Проба Н-4.1-48ш (котельная № 4.1, г. Находка)	<0,05	< 0,01
17	Проба Н-4.1-50ш (котельная № 4.1, г. Находка)	<0,05	< 0,01
18	Проба Н-4.1-54ш (котельная № 4.1, г. Находка)	<0,05	< 0,01
19	Проба Н-4.1-57ш (котельная № 4.1, г. Находка)	<0,05	< 0,01

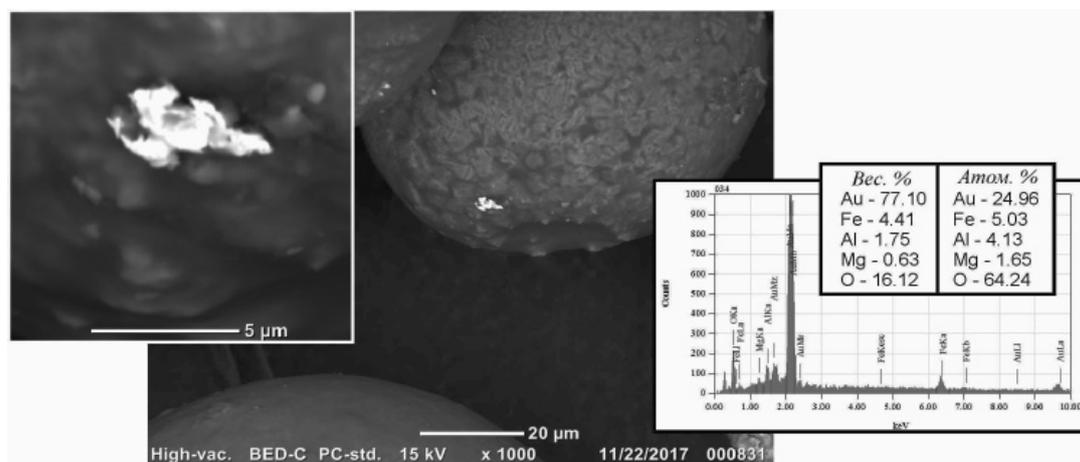


Рис. 5. Хлопьевидное зерно золота (5 мкм) на поверхности алюмосиликатно-железистой микросферы (100 мкм)

щие физические методы обнаруживают существенно более высокие концентрации.

Проведённые исследования микроминерального состава золошлаковых отходов энергопредприятий ЖКХ Приморского края в Институт горного дела (ИГД) ДВО РАН (г. Хабаровск) и в Дальневосточном геологическом институте (ДВГИ) ДВО РАН (г. Владивосток) подтверждают, что частицы свободного золота и других благородных металлов, присутствующие в ЗШО, представлены

в основном тонким и сверхтонким классом крупности (от долей до десятков микрон). Значительная часть золота плотно ассоциирована с окружающими минералами (рис. 5, 6).

Таким образом, применение неразрушающих физических методов анализа и в частности инструментального нейтронно-активационного анализа к задаче определения тонкодисперсного золота в золошлаковые отходы энергопредприятий ЖКХ, с учётом введения

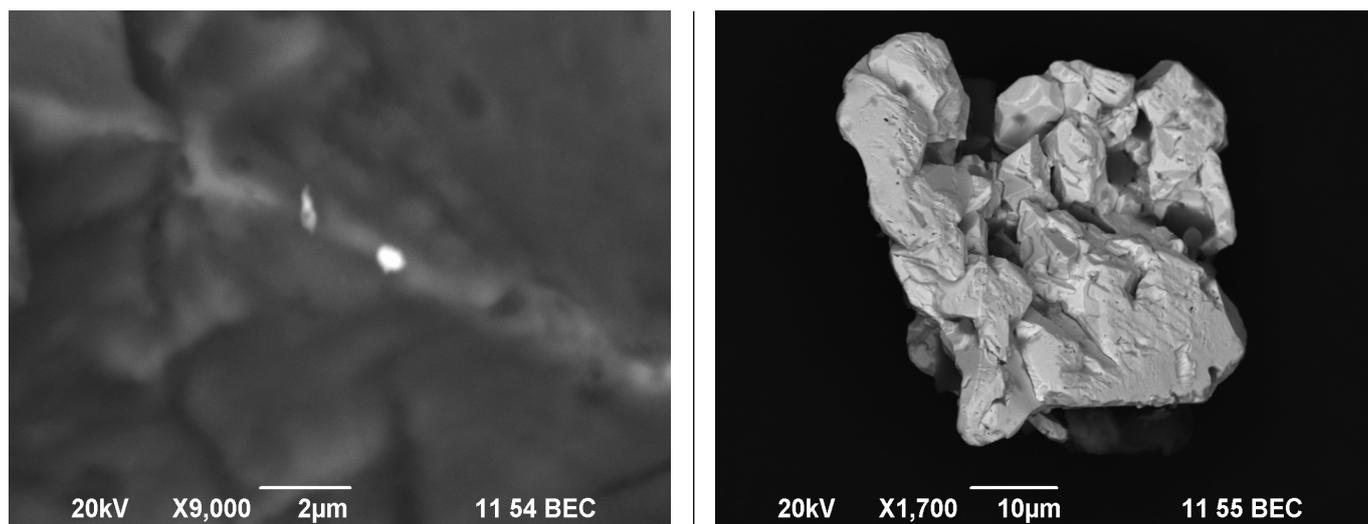


Рис. 6. Тонкодисперсные частицы золота, обнаруженные в ЗШО, отобранных с полигона ТЭЦ-2 г. Владивостока: а — в виде включений; б — в виде свободной частицы

поправки на поглощение нейтронов макрокомпонентами пробы, позволит корректно определить содержание металла в ЗШО и использовать полученные результаты как потенциально интересные для промышленного извлечения.

#### Выводы

Проведённые исследования показали снижение потоков тепловых нейтронов от ампульного источника нейтронов на основе Cf-252 внутри активационной зоны установки ИНАА, за счёт поглощения тепловых нейтронов макроэлементами, содержащимися в пробе (Fe, Ti и Mn). Активное поглощение тепловых нейтронов может привести к систематической ошибке определения элементов методом ИНАА при работе с образцами различного элементного состава.

Для корректного определения элементов методом ИНАА в образцах сложного и неоднородного состава, какими являются золошлаковые отходы энергопредприятий ЖКХ, необходимо либо создавать эталоны, моделирующие содержание основных поглощающих элементов в пробе, либо вносить поправку на поглощение тепло-

вых нейтронов на основе предварительного элементного анализа пробы.

#### Результаты

по определению тонкодисперсного золота методом ИНАА в золошлаковых отходах энергопредприятий ЖКХ показали, что данные по содержанию золота в ЗШО оказываются существенно выше, чем при использовании методов, предполагающие кислотное или пробирное разложение драгметаллов, за счёт более полного определения золота микронного размера, частицы которого плотно ассоциированы с окружающими минералами.

В ходе проведенных исследований экспериментально установлено, что золошлаковые отходы энергопредприятий ЖКХ содержат золото в количествах, которые можно рассматривать как потенциально интересные для промышленного извлечения.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания министерства науки и высшего образования Российской Федерации в сфере научной деятельности (код проекта № 10.3706.2017/4.6)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Краденых, И.А., Барчуков А. В. Проблемно-ориентированный анализ эффективности деятельности предприятий золотодобывающей промышленности Дальнего Востока / И. А. Краденых, А. В. Барчуков // Записки Горного института. — 2015. Т. 211. — С. 43–52.
2. Ван-Ван-Е, А. П. Состояние и развитие ресурсного потенциала золотодобывающей отрасли ДВО / А. П. Ван-Ван-Е, В. С. Литвинцев, Г. В. Секисов // Горный информ.-аналитич. бюлл. Дальний Восток-2. — 2009. — С. 32–36.
3. Молчанов, В. П. Экология и комплексное освоение техногенных и пляжных россыпей благородных металлов Приморья / В. П. Молчанов, М. А. Медков, А. А. Юдаков // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования, 2007. — № 2. — С. 65–71.

4. Ксенофонов, Б. С. Золошлаки — перспективное сырьё для получения редкоземельных металлов / Б. С. Ксенофонов, И. А. Буторова, А. С. Козодаев, Р. А. Тарано, М. С. Виноградов, Е. В. Петрова, А. А. Воропаева // Экология и промышленность России. — 2014. — № 4. — С. 9–13.
5. Черепанов, А. А. Благородные металлы в золошлаковых отходах Дальневосточных ТЭЦ / А. А. Черепанов // Тихоокеанская геология. — 2008. Т. 27. — № 2. — С. 16–28.
6. Леонов, С. Б. Промышленная добыча золота из золошлаковых отвалов тепловых электростанций / С. Б. Леонов, К. В. Федотов, А. Е. Сенченко // Горный журнал. — 1998. — № 5 — С. 67–68.
7. Shumilova, L. V. Technogenic deposits as objects of increased negative impact on the environment / L. V. Shumilova // Science Time. — 2014. — 8. — p.p. 325–356.
8. Krylova, G. S. Geotechnological approaches to the processing of stale gold-pyrite raw materials / G. S. Krylova, G. V. Sedelnikova, E. E. Savary, V. N. Eliseev // Mining information-analytical bulletin. — 2000. — 5. — pp. 75–77.
9. Afanasenko, S. I., Lazaridi A. N. Zolotaya Zhila technogenic dumps / S. I. Afanasenko, A. N. Lazaridi // Gold mining industry. — 2010. — 1 (37). — p.p. 32–35.
10. Pavlov, N. A. The review of methods of processing of persistent technogenic deposits / N. A. Pavlov, A. S. Satsuk, L. F. Skorik // The path of science. — 2017. — 1 (35). — p.p. 32–35.
11. Литвинова, Н. М. К вопросу извлечения золота при переработке золошлаковых материалов / Н. М. Литвинова, А. В. Александров, Р. В. Богомяков, Н. А. Лаврик // Мат-лы Междунар. совещания «Плаксинские чтения 2013». — Томск, 2013. — С. 485–486.
12. Конев, Р. И. Анализ нанокристаллических структур и проблемы переработки минерального сырья / Р. И. Конев, А. Х. Турасебеков, Е. Н. Игнатиков // Проблемы переработки минерального сырья. Мат-лы республикан. научно-практич. семинара. — Ташкент, 2005. — С. 73–76.
13. Ханчук, А. И. Тонкодисперсное золото и платиноиды в графитовых сланцах Бурейского массива — новый тип благородно-металльного оруденения на Дальнем Востоке России / А. И. Ханчук, А. А. Бердников, А. А. Черепанов // Горный информ.-аналит. бюлл. — 2009. — № 5. — С. 9–18.
14. Гуд, Г. М. Инструментальный нейтронно-активационный анализ проб с различной массой и плотностью / Г. М. Гуд, В. Н. Кустов, О. Н. Левицкая // Заводская лаборатория. — 1994. — № 9. — С. 23–25.
15. Shilo, N. A. Instrumental neutron-activation determination of gold in mineral raw materials using a californium neutron source / N. A. Shilo, E. G. Ippolitov, V. V. Ivanenko, V. N. Kustov, V. V. Zhelezov, G. N. Aristov, A. S. Shtan, I. N. Ivanov, V. V. Kovalenko, N. B. Kondrat'ev // J. Radioanal. Nucl. Chem. — 1983. V. 79. — p.p. 309–316.
16. Кустов, В. Н. Исследование и разработка метода нейтронно-активационного анализа золотосодержащих руд и других объектов Дальневосточного района с использованием радионуклидных источников нейтронов: дис. . . . канд. физ.-мат. наук: 01.04.16 / В. Н. Кустов. — Владивосток, 1984. — 166 с.
17. Железнов, В. В. Особенности нейтронно-активационного определения золота в пробах с различным минеральным составом / В. В. Железнов, В. Н. Кустов, А. А. Юдаков, С. И. Иванников, М. А. Медков // Химическая технология. — 2011. Т. 12. — № 10. — С. 634–637.
18. Меднис, И. В. Справочные таблицы для нейтронно-активационного анализа / И. В. Меднис. — Рига. Знание, 1974. — 409 с.
19. Ханчук, А. И. Тонкодисперсное золото и платиноиды в графитовых сланцах Бурейского массива — новый тип благороднометалльного оруденения на Дальнем востоке России / А. И. Ханчук, Н. В. Бердников, А. А. Черепанов, Н. С. Коновалова // Горный информ.-аналит. бюлл. Дальний восток-2. — 2009. — Вып. 9. — С. 9–18.

© Елкин Олег Иванович (elkin8@yandex.ru), Иванников Сергей Игоревич (fyajkfq@mail.ru),

Гребенюк Игорь Владимирович (grebenyuk.iv@dvfu.ru), Железнов Вениамин Викторович, Таскин Андрей Васильевич (taskin@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»