

Р6-2011-64

О. Д. Маслов, М. В. Густова, А. Г. Белов, Т. П. Дробина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ АЛЮМИНИЯ
И КРЕМНИЯ В ОБРАЗЦАХ ВОДЫ
ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ **РФА** И МИКРОТРОНА **МТ-25**

Маслов О. Д. и др.

P6-2011-64

Определение содержания алюминия и кремния в образцах воды ядерно-физическими методами с использованием РФА и микротрона МТ-25

С помощью ядерно-физических методов анализа (РФА, ГАА и НАА) определено содержание отдельных химических элементов в водных образцах. Изучена возможность определения Mg, Al и Si в водных образцах. Получены пределы обнаружения 0,03 и 0,1 мг/л для Al и Si. Контроль содержания алюминия и кремния в питьевой воде важен для предотвращения риска заболевания болезнью Альцгеймера.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2011

Maslov O. D. et al.

P6-2011-64

Determination of Aluminum and Silicon Content in Water Samples by Nuclear Physical Methods Using XRFA and the MT-25 Microtron

Some of element contents in the samples have been determined by nuclear physical methods (XRFA, GAA and NAA). The possibility of determining Mg, Al, and Si content in water samples has been studied. The detection limits of 0.03 for Al and 0.1 mg/l for Si in water samples have been obtained. Monitoring of the aluminum and silicon content in water is important because the high concentration of aluminum or the low content of silicon in drinking water may be risk factors for Alzheimer's disease.

The investigation has been performed at the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2011

ВВЕДЕНИЕ

Алюминий занимает одно из главенствующих мест среди элементов, используемых для изготовления промышленных материалов. Соответственно, возникает необходимость его контроля и анализа в цветной металлургии, в составе сплавов конструктивных элементов, в частности для ракетостроительной промышленности. Кроме того, подобный анализ необходим в оптической и стекольной промышленности, поскольку алюминий входит в состав стекол и покрытий. Контроль содержания алюминия важен в пищевой промышленности, сельском хозяйстве и при водоподготовке питьевой воды. Источниками поступления алюминия в природные воды являются частичное растворение глин и алюмосиликатов, атмосферные осадки, сточные воды различных производств.

Алюминий достаточно хорошо известен как металл, отравление растворимыми формами которого может вести к энцефало- и полиневропатии, протекающих с явлениями слабоумия. Исследования последних лет подтверждают [1,2], что повышенное содержание алюминия в питьевой воде увеличивает риск возникновения болезни Альцгеймера. По данным американских ученых [2], ежедневное потребление 0,1 мг алюминия с питьевой водой увеличивает риск возникновения слабоумия в 2,26 раза и значительно снижает познавательные способности. Однако ежедневное потребление кремния в питьевой воде в количестве 10 мг снижает риск возникновения подобного заболевания на 11 %.

В России предельно допустимая концентрация (ПДК) алюминия в водных объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения установлена в зависимости от местных условий на уровне 0,2–0,5 мг/л, а в воде водоемов, используемых для рыбохозяйственных целей, — 0,08 мг/л [3].

Кремний является постоянным компонентом химического состава природных вод. Этому способствует повсеместная распространенность соединений кремния в почвах и горных породах. Значительные количества кремния поступают в природные воды в процессе отмирания наземных и водных растительных организмов, с атмосферными осадками, а также со сточными водами предприятий, производящих керамические, цементные, стекольные изделия, силикатные краски, вяжущие материалы, кремнийорганический каучук и т. д.

Концентрация кремния в речных водах колеблется обычно от 1 до 20 мг/л, ПДК кремния установлена равной 10 мг/л. [4] Согласно исследованиям, кремний является мощным активатором воды и обладает значительными бактерицидными свойствами. Присутствие кремния в концентрации более 2 мг/л задерживает и ингибирует развитие сине-зеленых водорослей [5].

Планируются дальнейшие исследования для урегулирования норм содержания алюминия и кремния в питьевой воде с целью защиты от возникновения неврологических заболеваний.

Как правило, для определения Al и Si используют химические методы анализа [6–8], которые достаточно трудоемки. Актуальность данной задачи требует развития новых и апробации известных методов для анализа данных элементов в объектах окружающей среды и пищевых продуктах.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Элементный анализ образцов воды проводился методами рентгенофлуоресцентного (РФА), гамма-активационного (ГАА) и нейтронно-активационного (НАА) методов анализа на установках РФА и микротроне МТ-25 ЛЯР.

Для анализа были взяты пробы воды из реки Волга и образцы питьевой воды после очистки стандартными фильтрами. Водные образцы объемом 1 л предварительно выпаривали, сухой остаток упаковывали в пакеты из лавсановой пленки толщиной 10 мкм.

Рентгенофлуоресцентный анализ. Рентгеновские спектры образцов измерялись с помощью спектрометра фирмы Canberra. Для возбуждения рентгеновского излучения использовались радиоизотопные кольцевые источники ^{109}Cd ($E = 22,16$ кэВ, $T_{1/2} = 453$ дня) и ^{241}Am ($E = 59,6$ кэВ, $T_{1/2} = 458$ лет) с активностью 20 мКи. Характеристическое рентгеновское излучение регистрировалось полупроводниковым Si(Li)-детектором с площадью 30 мм^2 , толщиной 5 мм и с разрешением 145 эВ на линии Mn K_α (5,9 кэВ). Время измерения составляло 10 мин. Для обработки спектров использовалось программное обеспечение для рентгенофлуоресцентного анализа WinAxil Canberra.

Гамма-активационный и нейтронно-активационный анализ. Для проведения гамма-активационного и нейтронно-активационного анализа образцы водных выпарок облучали в течение 5–15 мин гамма-квантами тормозного излучения электронов с $E_e = 22$ МэВ или потоком тепловых нейтронов в водяном замедлителе на микротроне МТ-25. Ток электронов был равен 15 мкА. Гамма-спектрометрические измерения облученных образцов проводили с использованием детектора из сверхчистого Ge с разрешением 1,5 кэВ на линии 1,33 МэВ (^{60}Co). Кремний, магний и алюминий определялись по реакциям: $^{29}\text{Si}(\gamma, p)^{28}\text{Al}$ ($T_{1/2} = 2,2$ мин, $E_\gamma = 1779$ кэВ);

^{30}Si (γ , p) ^{29}Al ($T_{1/2} = 6,6$ мин, $E_\gamma = 1273$ кэВ), ^{25}Mg (γ , p) ^{24}Na ($T_{1/2} = 14,96$ ч, $E_\gamma = 1369$ кэВ); и ^{27}Al (n, γ) ^{28}Al ($T_{1/2} = 2,2$ мин, $E_\gamma = 1779$ кэВ).

2. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты определения некоторых химических элементов в водных образцах представлены в таблице. На рис. 1 показан рентгеновский спектр образца водной выпарки пробы из реки Волга, а на рис. 2 представлен гамма-спектр данного образца после активации.

Содержание элементов в образцах воды, мг/л

Элемент	ПДК, мг/л [4, 9]	Образец			Метод анализа
		Река Волга	1-я стадия очистки воды (уголь)	2-я стадия очистки воды (промышленный фильтр)	
Na	200	$8,7 \pm 0,6$	$8,7 \pm 0,6$	$8,2 \pm 0,6$	НАА
Mg	20-85	$17,1 \pm 0,4$	$12,5 \pm 0,4$	$7,6 \pm 0,4$	ГАА
Al	0,2-0,5	$1,02 \pm 0,07$	$0,69 \pm 0,07$	$0,19 \pm 0,07$	НАА
Si	10	$5,3 \pm 0,1$	$1,4 \pm 0,1$	$0,8 \pm 0,1$	ГАА
Cl	350	$2,6 \pm 0,3$	$10,7 \pm 0,3$	$1,3 \pm 0,3$	НАА
Ca	30-140	$43,5 \pm 2,5$	$35,5 \pm 2,5$	$31,7 \pm 2,5$	РФА
Fe	0,3	$0,21 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,02$	$0,18 \pm 0,02$	РФА
Cu	0,1	$0,017 \pm 0,001$	$0,015 \pm 0,001$	$0,015 \pm 0,001$	РФА
Se*	10	$5,1 \pm 1,4$	$\leq 1,4$	$\leq 1,4$	РФА
Br*	100	$2,7 \pm 0,2$	$1,4 \pm 0,2$	$1,2 \pm 0,2$	РФА
Sr	7	$0,217 \pm 0,004$	$0,187 \pm 0,004$	$0,200 \pm 0,004$	РФА

*Содержание для Se и Br — мкг/л.

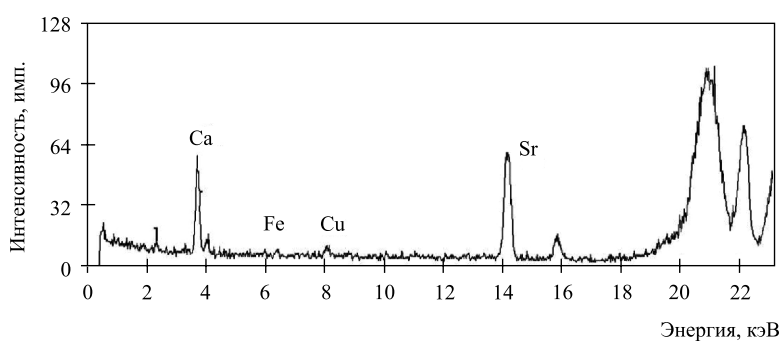


Рис. 1. Рентгеновский спектр образца водной выпарки

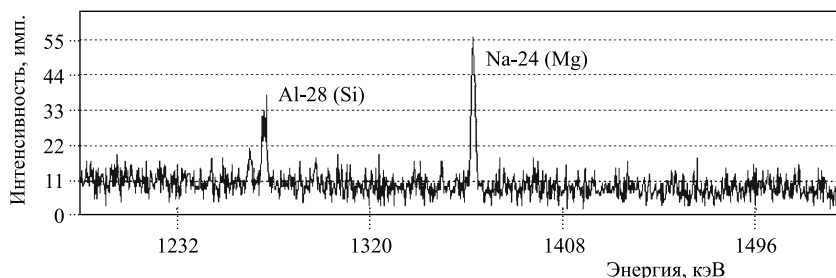


Рис. 2. Гамма-спектр образца водной выпарки после гамма-активации

На основании проведенных экспериментов были оценены пределы обнаружения для Si — 0,3 мг/л, Mg — 0,1 мг/л по ГАА и Al — 0,03 мг/л по НАА. Данные пределы достаточны для оценки этих элементов при определении качества воды.

Содержание элементов в волжской воде находится в пределах ПДК за исключением алюминия, превышение для которого составляет в 5 (2) раз. Очистка воды угольным и промышленным фильтрами приводит к уменьшению количества кремния в 10 раз по сравнению с ПДК.

Из данных таблицы видно, что стандартные способы водоподготовки позволяют снизить содержание Al до допустимой нормы.

Следует отметить также, что при очистке воды происходит, как правило, удаление солей жесткости (Ca, Mg), что не всегда благоприятно сказывается на здоровье, поскольку ряд экологических и аналитических эпидемиологических исследований выявил статистически значимую обратную зависимость между жесткостью воды и сердечно-сосудистыми заболеваниями [10].

ВЫВОДЫ

1. Разработаны методики анализа Si, Mg и Al с использованием микротрона МТ-25 по реакциям: $^{29}\text{Si}(\gamma, p)^{28}\text{Al}$ ($T_{1/2} = 2,2$ мин, $E_\gamma = 1779$ кэВ); $^{30}\text{Si}(\gamma, p)^{29}\text{Al}$ ($T_{1/2} = 6,6$ мин, $E_\gamma = 1273$ кэВ), $^{25}\text{Mg}(\gamma, p)^{24}\text{Na}$ ($T_{1/2} = 14,96$ ч, $E_\gamma = 1369$ кэВ); и $^{27}\text{Al}(n, \gamma)^{28}\text{Al}$ ($T_{1/2} = 2,2$ мин, $E_\gamma = 1779$ кэВ).

2. Получены пределы обнаружения Si — 0,3, Mg — 0,1 мг/л по ГАА и Al — 0,03 мг/л по НАА. Полученные результаты сопоставимы с данными стандартных более трудоемких методик и достаточны для оценки содержания кремния и алюминия при определении качества воды.

3. Содержание элементов в волжской воде находится в пределах ПДК за исключением алюминия, превышение для которого составляет 2 раза. Очистка воды угольным и промышленным фильтрами приводит к уменьшению количества кремния в 10 раз по сравнению с ПДК.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Burbaeva G. S., Shevzov P. N.* Aluminum as a Factor Affecting Brain Microtubule Assembly in Alzheimer's Disease: Abstr. 8th Sardinian Conf. Neurosci.: Anxiety and Depress.: Neurobiol., Pharmacol. and Clin., Cagliari, 24–28 May, 1995.
2. *Rondeau J., Commenges D., Jacqmin-Gadda H., Dartigues J.* Relation between Aluminum Concentrations in Drinking Water and Alzheimer's Disease: an 8-Year Follow-Up Study // *American Journal of Epidemiology*. 2000. V. 152(1). P. 55–66.
3. *Christopher N. et al.* Young Aluminum Concentrations in Drinking Water and Risk of Alzheimer's Disease // *Epidemiology*. 1997. V. 8, No. 3. P. 281–286.
4. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.
http://stroyoffis.ru/gn_gigienicesk/gn_2_1_5_1315_03/gn_2_1_5_1315_03.php
5. *Ходоровская Н. И., Стурова М. В.* Исследование влияния концентраций кремния и фосфора на развитие диатомовой микрофлоры водоема // *Известия Челябинского научного центра*. 2002. Вып. 2 (15).
http://www.ebiblioteka.lt/resursai/Uzsienio%20leidiniai/Celiabinsk/2002_2/2002_2_10_1.pdf
6. ГОСТ 18165-89. Вода питьевая. Метод определения массовой концентрации алюминия.
<http://www.complexdoc.ru/scan/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2%2018165-89>
7. *Мышляева Л. В., Краснощеков В. В.* Аналитическая химия кремния М.: Наука, 1972. 212 с.
8. Вода питьевая. Методы анализа. М.: Изд-во стандартов, 1984. 282 с.
9. *Зенин А. А., Белоусова Н. В.* Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеоздат, 1988.
10. Руководство по контролю качества питьевой воды. Т. 1. Рекомендации. ВОЗ. Женева, 1994. 255 с.

Получено 1 июля 2011 г.

Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 13.09.2011.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,5. Уч.-изд. л. 0,61. Тираж 250 экз. Заказ № 57423.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/