
МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ "РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
РЕСУРСОВ МОРЯ — ВАЖНЫЙ ВКЛАД В РЕАЛИЗАЦИЮ ПРОДО-
ВОЛЬСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ"

2556-85 *Физ.*

УДК 551.464:621.039.8

Е.М. Филиппов, И.А. Ламанова

Ядерно-физические методы контроля вод
прибрежных и устьевых акваторий

Биопродуктивность морей сложилась в течение длительного времени существования морских бассейнов с их солевым составом. В последние десятилетия, как известно, в связи с антропогенным воздействием на водные ресурсы происходит изменение солевого состава морских вод. Это в основном связано с изъятием больших объемов пресных вод из рек, впадающих в моря. В итоге резко меняется соленость приустьевых и прибрежных акваторий многих морей. Это в свою очередь оказывает пагубное воздействие на биопродуктивность морей. В дальнейшем для избежания этого пресную воду из рек следует брать не в любых количествах, а не выше некоторого лимита, а за солевым составом в прибрежных и в приустьевых акваториях необходимо следить с помощью автоматизированных систем контроля. В качестве таких методов контроля, в частности, могут служить ядерно-физические, с помощью которых можно непосредственно и одновременно определять плотность и соленость вод, а также оценивать содержание в них химических элементов основного солево-

состава.

Одновременное определение плотности и солености морских вод в натурных условиях можно вести с помощью датчика, опускаемого за борт судна. В качестве источника гамма-излучения в таком датчике может, например, служить радиоизотоп цезия-137 с выходом порядка 10^{10} квантов в секунду. Для регистрации излучения, взаимодействующего с морской водой необходимо использовать сцинтилляционные детекторы. В частности, для этих целей выгодно использовать стандартные сцинтиллы типа "Лимон" размерами 150×100 мм, выпускаемые отечественной промышленностью. Располагая такой детектор на расстоянии порядка 30 см от источника излучения и применяя в качестве радиометра двухканальный анализатор импульсов, можно определять плотность и соленость морских вод с погрешностями порядка $1 \cdot 10^{-4}$ г/см³ и 0,1% соответственно. Плотность при этом будет определяться путем регистрации рассеянного гамма-излучения в диапазоне энергий 100–500 кэВ, а соленость – путем регистрации рассеянного излучения в диапазоне 30–100 кэВ. Поскольку на канал солености будет оказывать действие и плотность морской воды, для ее устранения необходимо показания в канале солености нормировать к показаниям в канале плотности.

Для более точных определений плотности и солености морских вод следует использовать два разных сцинтиллы. Определение солености при этом необходимо вести с помощью пластинчатого сцинтиллятора, располагающего от источника на расстоянии порядка 15 см. Высокая разрешающая способность таких сцинтилляторов дает возможность определять плотность морских

вод с точностью порядка $2 \cdot 10^{-5}$ г/см³. Соленость же при этом можно определять с помощью вышеуказанного сцинтиблока "Лимон", установленного от источника на расстояние порядка 50 см. Соленость в данном случае можно будет определять с погрешностью 0,02%. Длительность замера при работе с указанным выше источником будет составлять во всех случаях 3-5 мин. Более подробно эта методика рассматривается в работах [3,6].

Для определения в морской воде химических элементов основного солевого состава (макроэлементов) может применяться ряд ядерно-физических методов. Так, определение калия в воде можно вести по радиоактивности его изотопа калий-40. Известно, что радиоактивность морских вод, не загрязненных искусственно радиоактивными нуклидами, на 99% обусловлена радиоактивностью калия-40. При распаде этого изотопа испускаются гамма-кванты с энергией 1,46 МэВ и бета-частицы с максимальной энергией 1,32 МэВ. Причем на 1 гамма-квант из ядер калия-40 испускается 8 бета-частиц.

Гамма-метод (ГМ) для определения радиоактивности морских вод начал применяться раньше бета-метода (БМ). Сотрудниками МГИ АН УССР И.Ф.Лукашиным, В.Н.Еремеевым и др. показано, что с помощью указанного выше сцинтиблока "Лимон", опускаемого за борт судна, содержание калия в воде можно определять с погрешностью 2% при длительности замера 1 час. Подробно эта методика описана в работе [2].

На основе БМ для определения калия в морской воде могут быть созданы как лабораторные, так и забортные установки. К настоящему времени в МГИ АН УССР создана и опробована лабораторная установка. Испытание ее показали, что содержание

калия с ее помощью можно определять с точностью 2% при длительности замера 1 час. Для измерений достаточно использовать пробу воды объемом порядка 1,5 л. Погружной прибор БМ может быть создан для изучения морской воды до глубин не выше 500 м. Благодаря устранения влияния фона космических излучений точность измерений заборной установки может быть повышена до 1-1,5% при прочих равных условиях. Более подробно эта методика рассматривается в работах [2,6].

Изучение морских вод в натурных условиях может вестись и с помощью нейтронных методов, например, при облучении вод потоками нейтронов калифорниевых источников. Быстрые нейтроны, испускаемые этими источниками, замедляются в морской воде до тепловых энергий. Тепловые нейтроны взаимодействуют с ядрами атомов водорода и химических элементов основного состава. По ослаблению потока тепловых нейтронов, регистрируемых нейтронными детекторами, при этом можно судить об общей солености морской воды. При захвате хлором тепловых нейтронов возникает радиационное гамма-излучение с энергией (МэВ): 5,09; 5,60; 6,11; 6,39; 6,62; 6,77 и др. При регистрации этих излучений с помощью сцинтиллов "Лимон" в течение 100 с содержание хлора в черноморской воде можно определять с абсолютной погрешностью 0,01%.

Захват ядрами хлора и натрия тепловых нейтронов приводит к образованию радиоактивных изотопов. Для определения хлора и натрия в морской воде необходимо использовать емкость объемом порядка 1 м³. При работе в эту емкость вводится источник из контейнера и ведется облучение воды в течение

ние 30 мин. Затем источник убирается в контейнер, а в емкость помещается детектор, с помощью которого в течение 30 мин. измеряется наведенная активность хлора и натрия. С помощью этой методики хлор и натрий можно определять с абсолютными погрешностями 0,05 и 0,07% соответственно. По регистрации рассеянного гамма-излучения в диапазоне энергий 30 кэВ — 1 МэВ при этих измерениях можно определять общую соленость воды с погрешностью 0,01–0,02%. . Подробнее все эти методы изложены в работах [4,6].

Содержание химических элементов основного состава морской воды можно определять с помощью рентгенофлуоресцентного метода (РФМ), основанного на облучении воды низкоэнергетическим гамма-излучением (5–20 кэВ). Под действием этого излучения атомы химических элементов солевого состава воды возбуждаются и испускают в окружающее пространство характеристическое излучение. Регистрацию его осуществляют с помощью полупроводниковых кремний-литиевых детекторов.

При работе с источником $5 \cdot 10^{10}$ квантов/с и длительности замера 10 мин в воде можно определять элементы солевого состава со следующими абсолютными погрешностями (%): серу — 0,035; хлор — 0,1; калий — 0,015; кальций — 0,01; бром — $6,5 \cdot 10^{-5}$ и стронций — $1,3 \cdot 10^{-5}$. Облучение проб воды в вакуумных камерах позволяет кроме того определять еще содержание в пробах натрия и магния с абсолютными погрешностями 7 и 0,8% соответственно.

Рассмотренный метод прежде всего может использоваться для анализа проб воды без их выпаривания в лабораторных ус-

ловиях. Кроме того на основе этого метода может быть создана аппаратура и для забортных анализов воды. Для этих целей может быть сконструировано специальное погружное устройство со шлюзовой камерой. С помощью таких устройств можно отбирать пробы воды на глубине и там же их анализировать.

Рассматриваемый флуоресцентный метод в практике ядерного анализа вещества применяется также для определения целого ряда химических элементов солевого состава вод в пробах выпаривания. Кроме того эта методика используется для определения содержания в абсорбционных пробах многих микроэлементов.

Возможности РФА применительно к решению перечисленных задач более подробно рассматриваются в работах [5,6].

Для определения в морской воде различных микроэлементов широко используется нейтронно-активационный анализ (НА), с облучением проб в ядерных реакторах и последующим их анализом с помощью полупроводниковых детекторов. Возможности этого метода рассматриваются в обзорной работе [1].

В последние годы для определения микропримесей в пробах различных веществ начинает применяться синхротронное излучение [5]. Эта разновидность РФА выгодно отличается от НА тем, что элементы основного солевого состава не мешают определению макроэлементов в пробах выпаривания морских вод.

Из рассмотренных ядерно-физических методов для контроля за солевым составом морских вод в прибрежных и в приустьевых акваториях прежде всего могут применяться гамма-методы для определения солености и плотности морских вод, гамма- и

бета-методы определения калия в воде и рентгенофлуоресцентный метод для определения элементов основного солевого состава.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бакшеева И.П., Ламанова И.А., Филиппов Е.М. Нейтронно-активационный анализ морской воды. Депонирована в ВИНТИ 13.07.1984 г. №5092-84Деп., 112 с.
2. Дегтерев А.Х., Филиппов Е.М. Гамма- и бета-методы определения калия в морской воде. Депонирована в ВИНТИ 31.05.1983, №2894-83Деп., 62 с.
3. Филиппов Е.М. Ядернофизические методы изучения плотности и солености морских вод и льда. Депонирована в ВИНТИ 22.04.1983, №2160-83Деп., 102 с.
4. Филиппов Е.М. Нейтронные методы изучения морской воды. Депонирована в ВИНТИ 9.06.1983, №3180-83Деп., 130 с.
5. Филиппов Е.М., Дегтерев А.Х., Ламанова И.А. Рентгено-радиометрический анализ в океанологии. Депонирована в ВИНТИ 29.09.1983, №5423-83Деп., 64 с.
6. Филиппов Е.М., Ламанова И.А., Дегтерев А.Х. Изучение элементносолевого состава морских вод ядерными методами. - Вестник АН УССР, 1984, №10, с.23-31 (на укр.яз.).

Морской гидрофизический
институт АН УССР
Севастополь