

Возможности применения композитных трековых мембран с нитридным покрытием для фракционирования микроэлементов в природной воде

© Н. А. Хлебников^{*а}, Е. В. Поляков^а, С. В. Борисов^а, О. П. Шепатковский^а, И. Г. Григоров^а,
М. В. Кузнецов^а, Г. П. Швейкин^а, С. В. Смирнов^б, П. П. Матофонов^б, В. А. Трапезников^б,
М. Я. Чеботина^б, В. П. Гусева^б

^а Институт химии твердого тела УрО РАН, 620990,
Екатеринбург, ул. Первомайская, 91; * e-mail: khlebnikov@ihim.uran.ru

^б Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург

^б Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург

Получено 25.02.2010

УДК 542.816:544.77:544.58

Разработана методика плазмохимического синтеза, позволяющая получать композитные трековые мембраны с электропроводящим покрытием из частиц нитрида титана, имеющих сложное иерархическое строение. За счет осаждения оксинитрида на поверхность полиэтилентерефталатной трековой мембраны композитная мембрана приобретает каналы ассиметричного строения и дополнительную прочность. Размер входного отверстия композитных мембран можно изменять в широких пределах путем варьирования параметров синтеза. На примере ряда макро- (C, Al, Si, Mg, Fe, P) и микроэлементов (Sr, U, Th) показаны возможности непосредственного применения композитных трековых мембран для визуализации формы и состава неэлектропроводных минеральных и биологических веществ методами электронной микроскопии, качественного и количественного фракционирования размеров микроэлементов в природной воде методом ультрафильтрации.

Ключевые слова: композитные трековые мембраны, электропроводящие покрытия, фракционирование микроэлементов.

Определение фракционного состава является важным элементом исследования форм существования микроэлементов в природной воде. Фракционирование позволяет получить первичную информацию о соотношении взвешенных, коллоидных и молекулярно-ионных фракций исследуемых элементов в растворе, тем самым оценить их миграционную способность. Среди методов фракционирования значительная роль принадлежит фильтрационным методам, которые дают возможность установить границы существования коллоидной и взвешенной фракций микроэлементов определенного размера в их неорганической и биоорганической составляющих путем применения мембранных фильтрационных материалов [1–3].

Номенклатура мембранных материалов, способов их получения, а также областей применения многообразна [4–6]. Одно из важных мест среди мембранных материалов с надмолекулярными размерами пор занимают полимерные трековые мембраны (ПТМ), обладающие такими преимуществами, как механическая и химическая стойкость, узкое распределение пор по размерам, значительный диапазон промышленно доступных по размерам пор мембранных материалов [7, 8]. С этими качествами ПТМ связано их широкое применение в фармацевтике, медицине, микроэлектронике [4–6]. Потребительские свойства ПТМ определяются химическим составом, молеку-

лярной и макроскопической структурой полимеров, на основе которых они получены [4–10], а совершенствование их свойств возможно как благодаря синтезу новых полимерных композиций – основы мембранных материалов, так и путем физико-химического модифицирования применяемых ПТМ [10]. Один из эффективных способов улучшения фильтрационных свойств ПТМ связан с приданием мембранным каналам ассиметричной формы, что значительно снижает их гидродинамическое сопротивление при сохранении проницаемости и ресурса [5, 9, 11, 12]. Физико-химическое модифицирование полимерных мембран достигается нанесением на рабочую поверхность ПТМ химических покрытий, например, за счет прививки сополимера или окислительной обработки поверхности холодной плазмой. К недостаткам получаемых таким способом композитных мембран можно отнести неравномерность проработки поверхности материала мембран из-за слабой адгезии, невозможность воздействия вглубь фильтрующего канала мембраны [10].

В связи с отмеченными ограничениями представляется актуальным поиск новых подходов для улучшения совокупности эксплуатационных свойств существующих трековых мембранных материалов. Одним из возможных направлений в этой области является создание композитов за счет нанесения на поверхность ПТМ неорганических химически и меха-

нически стойких покрытий методом ионно-плазменного напыления. Технические трудности реализации данного подхода вызваны необходимостью поддержанием длительного контакта ПТМ с холодной плазмой ниже температуры кристаллизации и компенсируются преимуществами получения композитных мембран с асимметричным строением пор, прецизионного регулирования «эффективного» размера пор при росте покрытия в зоне выхода порового канала на поверхность. Широкий ассортимент физико-химических свойств доступных для нанесения ионно-плазменным методом неорганических материалов позволяет уже сейчас получать покрытия, которые в дополнение к требуемым химическим и механическим свойствам будут иметь повышенную электро- и теплопроводность. Последнее обстоятельство позволило бы расширить круг возможностей композитных ПТМ, добавить к функции фракционирования взвесей и коллоидов возможность непосредственного, без дополнительного напыления проводящего слоя [13], неразрушающего анализа фазового, элементного и морфологического состава электрически непроводящих фракций важнейших составляющих техногенных и природных водных систем – минералов и биоты [14].

Целью данной работы явилась попытка экспериментально оценить обсуждавшиеся выше потенциальные преимущества композитных трековых мембран, полученных с помощью техники ионно-плазменного напыления поверхностных слоев (оксид-нитрида титана, в качестве инструмента фракционирования микроэлементов и радионуклидов в природной воде.

Экспериментальная часть

Экспериментальной основой получения композитных трековых мембран была разработанная некоторыми из авторов установка для ионно-плазменного напыления методом электродугового синтеза покрытий на полимерные трековые мембраны [15]. В качестве экспериментального материала покрытия был выбран TiN благодаря сочетанию высокой механической прочности, электро- и теплопроводности, простоте синтеза и широкой области химической и физической гомогенности покрытий из этого соединения [16].

Синтез композитных мембран осуществляли на установке ионно-плазменного напыления типа «Булат» испарением титанового катода на образцы ПТМ из полиэтилентерефалата производства ФЛЯР ОИЯИ (Дубна) толщиной 20 мкм с диаметром пор 0.1, 1.0 и 3.0 мкм. Осаждение ионов Ti производили в среде N₂ при непрерывном контроле температуры подложки и давления рабочего газа в камере.

Для оценки фильтрационных характеристик мембран применяли методы, основанные на анализе

данных микроскопии, бесконтактной ультразвуковой магнитной и фазовой спектроскопии, газовой проницаемости, проницаемости жидких растворов, жидкостной порометрии [16–21].

В данной работе для установления воспроизводимости результатов было произведено несколько серий синтеза. Для аттестации композитных трековых мембран (КТМ), определения состава и морфологии покрытия были использованы методы рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) [22, 23], растровой и просвечивающей электронной (РЭМ, ПЭМ), сканирующей зондовой (СЗМ) микроскопии [24–26], водной порометрии [27], кинетического микроиндентирования [28].

Одной из важнейших характеристик мембранных материалов является размер пор. Из-за многообразия и сложности процессов, сопровождающих фильтрацию, под понятием диаметра пор подразумевается эффективный диаметр пор, т.е. тот размер, который непосредственно участвует в фильтрационном процессе. В рамках данной работы мы определяли эффективный диаметр пор композитных трековых мембран с разными временами осаждения проводящего покрытия путем сравнения результатов анализа изображений, полученных методами РЭМ и СЗМ, с данными экспериментов по проницаемости дистиллированной воды через композитные мембраны с покрытием. Достоинства такого подхода заключаются в характеристике мембран в условиях, при которых непосредственно осуществляются процессы фильтрации [14]. Измерения механической прочности композитных трековых мембран выполняли на установке кинетического микроиндентирования ИМАШ УрО РАН.

Элементный анализ проб природной воды и фильтратов после фракционирования выполняли на масс-спектрометре Spectromass 2000 в режиме RapQuant, контролируя содержание более 30 макро- и микроэлементов в пробах [29].

Для обработки и анализа изображений, полученных методами РЭМ и СЗМ, использовали программное обеспечение Scan Master, Photoshop. Расчеты, построение графиков и статистическую обработку результатов производили с помощью специализированных программных продуктов Sigma Plot, Statistica.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 приведен типичный обзорный РФЭС-спектр образца композитной мембраны с нанесенным слоем нитрида титана. Исследование внутренних электронных уровней основных элементов системы (Ti, O, N, C) на поверхности и в приповерхностных слоях композитов методом РФЭС показало, что нанесенный слой представляет собой оксинитрид

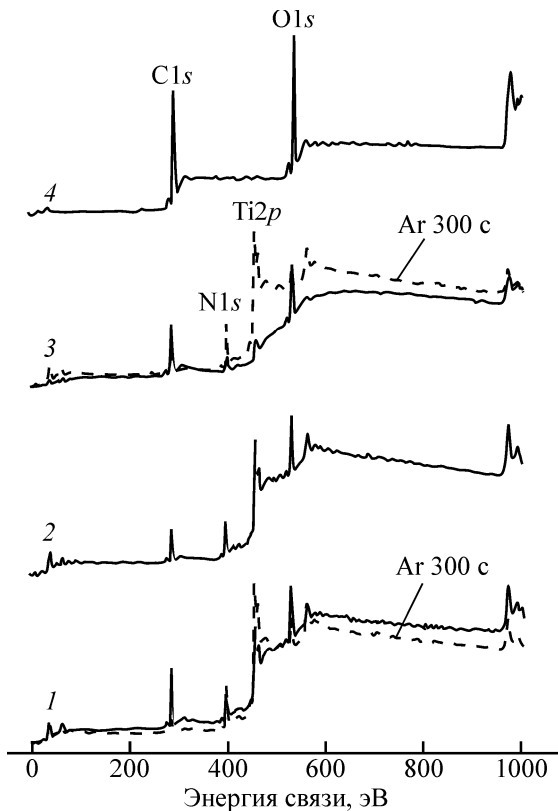


Рис. 1. Обзорные РФЭ спектры поверхности КТМ и пленок оксинитрида титана на мембране при времени осаждения, с: 1 – 20, 2 – 120, 3 – 450. Для образцов 1 и 3 показаны также спектры после ионного травления пучком аргона.

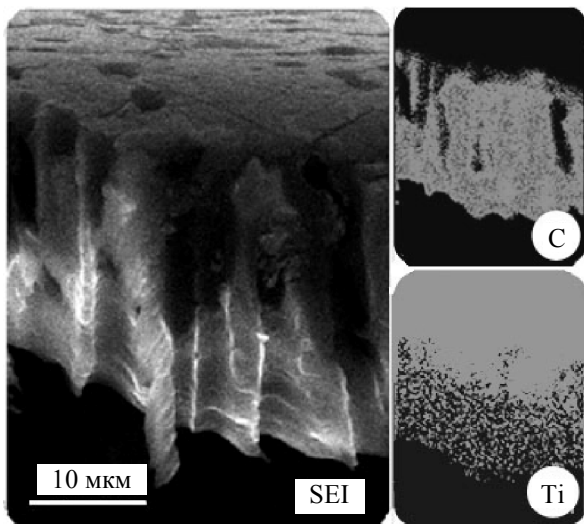


Рис. 2. Типичное изображение среза композитной трековой мембраны с исходным диаметром пор 3 мкм, а также карт распределения Ti и C на данном снимке, полученное на микроскопе JEOL JSM 6390 LA с приставкой EDX при ускоряющем напряжении 20 кВ. Видно диффузное распределение Ti по всей толщине канала трековой мембраны.

титана, покрытый слоем диоксида титана. Состав пленки слабо зависит от времени осаждения, и через 450 с осаждения Ti(N,O) мембранная структура полимерной пленки практически не изменялась, сохраняя сформированную плотность трековых от-

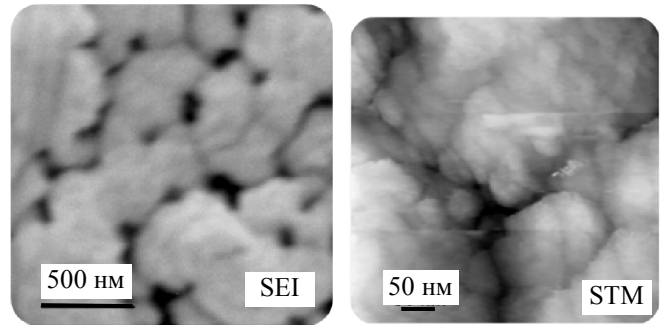


Рис. 3. Изображение структуры поверхности композитных мембран при разных увеличениях (РЭМ, СЗМ).

верстий (рис. 2). Согласно данным СЗМ, поверхность пленок TiON имеет сложное строение, при которой материнские частицы нитридной фазы, формируя агрегаты, образуют иерархичную структуру размеров. Наиболее мелкие агрегаты «первичного» покрытия представляет собой равномерно упакованные частицы, средние размеры которых близки к 30 нм. Установлено существование двух уровней дочерних по отношению к первичным частицам агрегатов с размерами около 100 и 300 нм (рис. 3).

Исследование профиля сечения пор модифицированных мембран (рис. 2) методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) не выявило отличий между морфологией исходных ПТМ и пор обратной (противоположной покрытию оксинитрида титана) стороны композитных мембран. Поскольку размер входных отверстий композитных мембран заметно уменьшился в результате напыления нитрида титана, был сделан вывод о том, что первоначально цилиндрические поры после нанесения покрытия приобретают асимметричное строение. Подтверждением этому стали результаты количественного определения диаметра пор методом водной проницаемости. На начальном этапе применения методики порометрии мы экспериментально определили границы выполнения закона фильтрации Дарси в зависимости от размера пор и скорости фильтрации жидкости. Сравнение экспериментально найденных чисел Рейнольдса, характеризующих течение воды в поровом пространстве мембран, с табулированными величинами показало, что для диаметра пор более 2 нм соблюдается линейная зависимость между скоростью фильтрации W и избыточным давлением на пористую среду P , характерная для ламинарного режима течения жидкости в порах (рис. 4). Этот факт позволил нам в дальнейшем вычислять размер пор нанокompозитных трековых мембран на основе эмпирического уравнения $W(D)$, D – величина эффективного диаметра пор, параметры которого были установлены методом наименьших квадратов для серии коммерческих мембран с аттестованным значением размеров пор (доверительная вероятность 95%) (рис. 5).

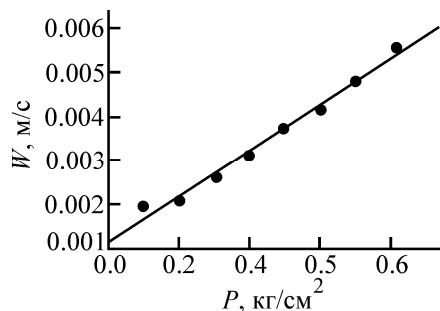


Рис. 4. Пример зависимости скорости фильтрации от приложенного давления для мембраны с диаметром пор 1 мкм.

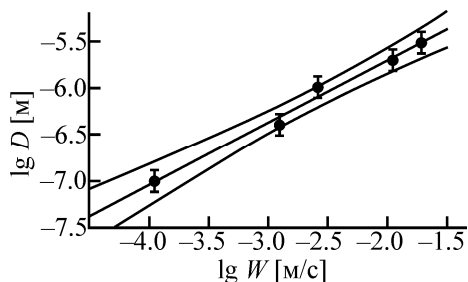


Рис. 5. Эмпирическая зависимость между эффективным размером пор КТМ (D) и линейной скоростью фильтрации воды (W), использованная для определения размеров пор композиционных мембранных материалов с покрытием из $Ti(O,N)$. Результаты статистической обработки зависимости по уравнению $\lg D = a + b \lg W$: коэффициент корреляции $R = 0.987$, погрешность линеаризации $S_r = 0.11 \pm 0.02$, $a = 6.46 \pm 0.60$, $b = 1.48 \pm 0.09$.

Используя полученное регрессионное уравнение, находили значения D для серии модифицированных трековых мембран с покрытием оксинитрида титана, которые впоследствии использовали для исследования фракционного состава радионуклидов в природной воде.

Результаты определения физико-механической прочности композитных трековых мембран, выполненного в диапазоне линейной зависимости деформации покрытия мембран от приложенной нагрузки на индентор, позволили сделать вывод от том, что нанесение на ПТМ нитридного покрытия не изменяет или улучшает (при толщине покрытия более 1 мкм) прочностные свойства композитных мембран.

Таким образом, метод плазмохимического осаждения позволяет получать композиционные фильтрующие материалы на основе трековых мембран и покрытия из оксинитрида титана с требуемым размером пор в диапазоне от 10 нм и выше при воспроизводимости размеров пор не хуже 15% (рис. 6). Процесс формирования покрытий завершается за время порядка 100–150 с, что не приводит к необратимым термическим воздействиям на материал подложки из-за использованного авторами способа отвода тепла от стенки реактора с напыляемым материалом. Это позволяет организовать синтез композиционных фильтрующих материалов в непрерывном

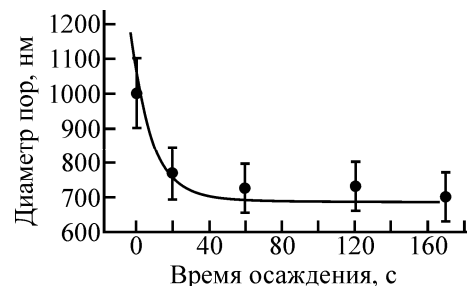


Рис. 6. Изменение диаметра пор композитных трековых мембран в зависимости от времени нанесения покрытия оксинитрида титана. Исходный диаметр пор трековой мембраны $D = 1000$ нм.

режиме напыления. Возможность снижения размеров пор композиционных фильтрующих материалов менее 10 нм ограничивается трудностями не технического, а метрологического характера, вызванными возрастающей с уменьшением скорости фильтрации погрешностью определения эффективных размеров пор. Определение физико-механических свойств получаемых данным методом композиционных фильтрующих материалов и их химической стойкости является целью дальнейших исследований авторов.

Композитные трековые мембраны с покрытием из нитрида титана были использованы нами для оценки фракционного состава микроэлементов в природной воде [14, 27]. Сочетание мембранной фильтрации с методами РЭМ и энергодисперсионного анализа позволило выделять взвешенную и коллоидные фракции большого числа микроэлементов и визуализировать их фракционный состав в различных диапазонах размеров. Количественное фракционирование отдельных химических элементов с применением КТМ с различным размером пор требовало корректировки данных фильтрации при оценке доли задержанного вещества в связи с тем, что применение техники форвакуума приводило к испарению части аналита в процессе фильтрации и последующему сгущению пробы. Для учета процесса сгущения была предложена методика определения фактора сгущения по изменению концентрации тех макроэлементов пробы, которые можно было рассматривать в качестве внутреннего стандарта. Методами математической статистики было показано, что изменение концентрации Na , K , Rb в процессе фильтрации связано исключительно с эффектом сгущения воды за счет испарения при фильтровании ее через пористую среду и что эти элементы могут быть использованы как внутренний стандарт концентрации в исследуемых растворах. Средний для этих трех элементов коэффициент изменения их концентрации во входящем растворе по отношению к фильтрату был использован для корректировки объема фильтрата и концентрации исследуемых элементов в нем после фракционирования, позволив достоверно определить

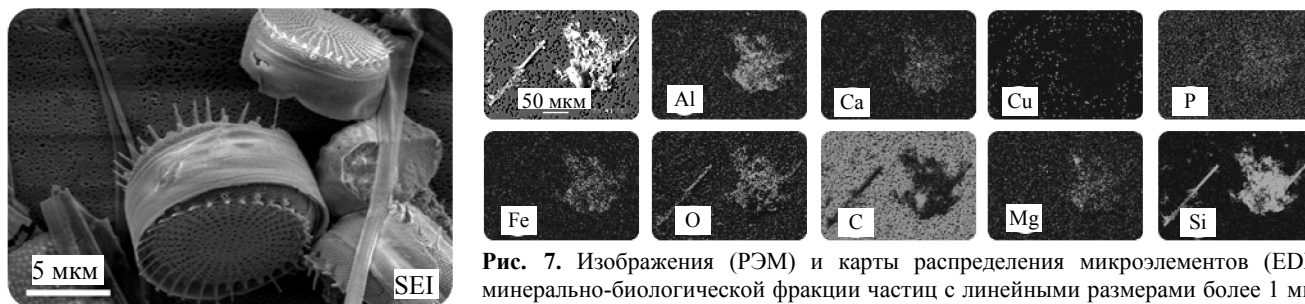


Рис. 7. Изображения (РЭМ) и карты распределения микроэлементов (EDX) минерально-биологической фракции частиц с линейными размерами более 1 мкм на поверхности КТМ после фильтрации пробы воды р. Теча.

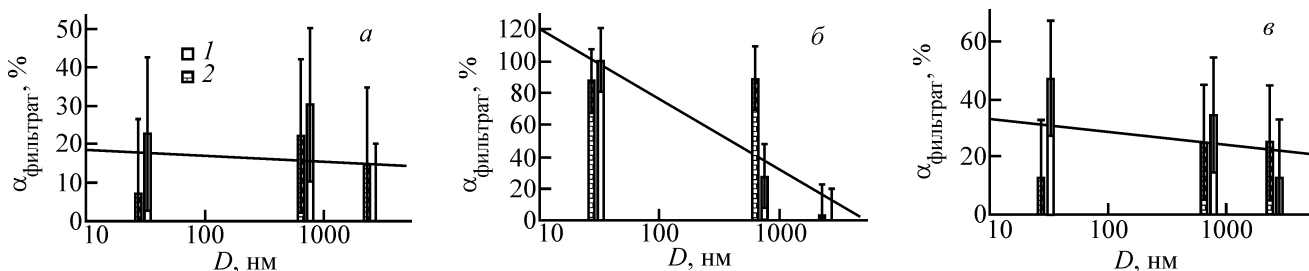


Рис. 8. Распределения Sr(II) (а), Th(IV) (б), U(VI) (в) во взвешенной и коллоидной фракциях свежееотобранных проб речной воды, взятых в весенний (1) и осенний (2) периоды в районе устья р. Течи.

фракционный состав микроэлементов по результатам фильтрации природной воды через КТМ с различным размером пор.

На примере свежееотобранных проб воды р. Теча (Челябинская область) показано, что значительная часть речной взвеси имела как органическое, так и минеральное происхождение (рис. 7). Применение композитных трековых мембран позволило без дополнительной подготовки визуализировать и определить состав отфильтрованных из речной воды фракций. Наличие напыленного проводящего слоя нитрида титана обеспечило «стекание» заряда с находящихся на поверхности композита отфильтрованных взвешенных и коллоидных фракций (в том числе биологического происхождения), что в свою очередь позволило получить качественные изображения исследуемых плохо проводящих объектов.

Из приведенных изображений видно, что основным минеральным представителем взвешенной фракции является сложное соединение Al–Mg–Si и соединения Fe; органическое вещество представлено прежде всего диатомовыми водорослями, покрытыми соединением железа. Для мест отбора проб в р. Теча выявлено присутствие диатомовых водорослей *Stephanodiscus hantzschii* Grun., диаметры 13.5–4.5, 10.5–4.0 и 10.0–5.0 мкм, и *Synedra ulna* (Nitzsch.) Ehr. 192.0–7.0 мкм.

Количественный фракционный анализ взвешенной и коллоидной фракций U, Sr, Th показал, что независимо от сезона соединения U, Sr и Th в основном (20–80%) находятся в воде в ионно-дисперсном состоянии (рис. 8). Вероятной формой переноса оставшейся части Sr, U, Th (до 80–20%) в речной воде могут быть адсорбированные состояния на минераль-

ных алюмосиликатах магния и гидроксидах железа, а также на поверхности силикатного каркаса диатомовых водорослей [1].

Таким образом, разработанная методика плазмохимического синтеза позволяет получать композитные трековые мембраны с электропроводящим покрытием из частиц оксинитрида титана, имеющих сложное иерархическое строение. За счет осаждения пленки оксинитрида на трековую мембрану (подложку) композитная мембрана приобретает асимметричное строение. Размер входного отверстия композитных мембран можно изменять в широких пределах за счет варьирования параметров синтеза. На примере ряда макро- (C, Al, Si, Mg, Fe, P) и микроэлементов (Sr, U, Th) показаны возможности непосредственного применения композитных трековых мембран для визуализации формы и состава неэлектропроводных минеральных и биологических веществ методами электронной микроскопии, качественного и количественного фракционирования размеров микроэлементов в природной воде методом фильтрации.

Работа выполнена при поддержке гранта НШ-752.2008.03.

Список литературы

- [1] Старик И. Е. Основы радиохимии. Л.: Наука, 1969. С. 647.
- [2] Wennrich R., Mattusch J., Morgenstern P. et al. // Fresenius J. Anal. Chem. 1997. Vol. 359, N 2. P. 161–166.
- [3] Трапезников А. В., Чеботина М. Я., Трапезникова В. Н. и др. Влияние АЭС на радиозоологическое состояние водоема-охладителя. Екатеринбург: АкадемНаука, 2008. 400 с.
- [4] Брок Т. Мембранная фильтрация. М.: Мир, 1987.
- [5] Брык М. Т., Цапюк Е. А. Ультрафильтрация. Киев: Наук. думка, 1989.
- [6] Мулдер М. Введение в мембранную технологию. М.: Мир, 1999.
- [7] Акименко С. Н., Мамонова Т. И., Орелович О. Л. и др. //

- Крит. технол. Мембраны. 2002. N 15. С. 21–28.
- [8] Suzuki Y., Yamaki T., Koshikawa H. et al. // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B. 2007. Vol. 260. P. 693–695.
- [9] Нечаев А. Н., Апель П. Ю., Черкасов А. Н. и др. // Крит. технол. Мембраны. 2003. N 4 (20). С. 18–22.
- [10] Жданов Г. С., Китаева Н. К., Баннова Е. А., Миняйло Л. В. // Крит. технол. Мембраны. 2004. N 22. С. 3–8.
- [11] Апель П. Ю., Дмитриев С. Н. // Крит. технол. Мембраны. 2004. N 3 (23). С. 32–37.
- [12] Борисов С. В., Григоров И. Г., Поляков Е. В. и др. // Ионный перенос в органических и неорганических мембранах: Матер. конф. Туапсе, 2008. С. 46–47.
- [13] Гоулдстейн Д., Ньюберри Д., Эчлин П. и др. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. М.: Мир, 1984. Т. 2.
- [14] Polyakov E. V., Khlebnikov N. A., Surikov V. T. et al. // Radioprotection. 2009. Vol. 44, N 5. P. 209–215.
- [15] Борисов С. В., Поляков Е. В., Хлебников Н. А. и др. Пат. РФ 2361965 С1. 20.07.2009 // БИ. 2009. N 20.
- [16] Швейкин Г. П., Алямовский С. И., Зайнулин Ю. Г. и др. Соединения переменного состава и их твердые растворы. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. 291 с.
- [17] Reutov V. F., Dmitriev S. N., Sokhatsky A. S. // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B. 2003. Vol. 201. P. 460–464.
- [18] Dmitriev S. N., Kravets L. I., Sleptsov V. V., Elinson V. M. // Polym. Degrad. Stab. 2005. Vol. 90. P. 374–378.
- [19] Vijay Y. K., Acharya N. K., Wate S., Avasthi D. K. // Int. J. Hydrogen Energy. 2004. Vol. 29. P. 515–519.
- [20] Kravets L. I., Gilman A. B., Drachev A. I. // High Energy Chem. 2006. Vol. 39, N 2. P. 114–122.
- [21] Calvo J., Bottino A., Capannelli G., Hernández A. // J. Membr. Sci. 2004. Vol. 239. P. 189–197.
- [22] Вудраф Д., Деллар Т. Современные методы исследования поверхности. М.: Мир, 1989. 569 с.
- [23] Hifner S. Photoelectron Spectroscopy. New York, 1995. 511 p.
- [24] Гоулдстейн Дж., Ньюберри Д., Эчлин П. и др. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. М.: Мир, 1984. Т. 1.
- [25] Миронов В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М.: Техносфера, 2004.
- [26] Григоров И. Г., Борисов С. В., Хлебников Н. А. и др. // Аналитика и контроль. 2007. Т. 11, N 4. С. 260–266.
- [27] Поляков Е. В., Хлебников Н. А., Суриков В. Т. и др. // Четвертая молодежная научно-практическая конф. «Ядерно-промышленный комплекс Урала: проблемы и перспективы»: Тез. докл. 2007. С. 77.
- [28] Замараев Л. М., Смирнов С. В., Матафонов П. П. // Пробл. машиностроения и надежности машин. 2008. N 2. С. 46–49.
- [29] Пуньшев А. А., Суриков В. Т. Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой. Образование ионов. Екатеринбург: ИХТТ УрО РАН, 2006.

К 80-летию профессора Дмитрия Николаевича Суглобова

28 декабря 2010 г. исполнилось 80 лет заслуженному деятелю науки РФ, лауреату Государственной премии СССР и Премии им. В. Г. Хлопина РАН, доктору химических наук, профессору Дмитрию Николаевичу Суглобову.

Более чем полувековой период научной деятельности Дмитрия Николаевича Суглобова связан с Радиевым институтом им. В. Г. Хлопина, куда он пришел аспирантом в 1958 г. после окончания Ленинградского государственного университета (ЛГУ) и нескольких лет работы на кафедре неорганической химии ЛГУ. В Радиевом институте Д. Н. Суглобов защитил кандидатскую (1961 г.) и докторскую (1970 г.) диссертации, прошел путь от аспиранта и младшего научного сотрудника до начальника лаборатории, сектора и главного научного сотрудника.

С именем Д. Н. Суглобова в Радиевом институте прежде всего связано развитие фундаментальных исследований в области химии радиоактивных элементов. Необычайно широк круг научных интересов Д. Н. Суглобова. Это координационная химия актинидов (прежде всего урана, нептуния, плутония, америция в пяти- и шестивалентных состояниях), металлоорганическая химия, электронная и колебательная спектроскопия, фотохимия, химия редкоземельных элементов, химия неводных растворов и экстракционных процессов, химия карбонильных соединений технеция, летучие соединения радиоэлементов, а также вопросы экологии (миграция радиоактивных изотопов в почвах), атомной энергетики (проблемы альтернативных топливных циклов) и многое другое. В научном коллективе, который Дмитрий Николаевич возглавлял на протяжении более 30 лет, сложился особый, «суглобовский» стиль работы, когда каждый стремился вникнуть в суть изучаемых явлений, познать их причину, когда глубина проработки научных вопросов никогда не приносилась в жертву желанию получить быстрый результат. Научные труды Д. Н. Суглобова характеризуются систематическим подходом, деталь-



ным анализом получаемых данных, умением извлечь из них максимум информации.

Дмитрий Николаевич никогда не боялся браться за новые для себя научные направления, осваивать новые методы исследований. И в какой бы области радиохимии ни работал

Д. Н. Суглобов, он везде завоевывал авторитет как в нашей стране, так и за рубежом.

Научный авторитет и требовательность Дмитрия Николаевича сочетаются с личной скромностью, доброжелательным и уважительным отношением к коллегам. Он не считает зазорным советоваться с сотрудниками по научным вопросам, внимательно прислушивается к их мнению. Его авторитет – это не авторитет должности и регалий, а авторитет знаний, идей и аргументов.

На протяжении более 25 лет Дмитрий Николаевич является заместителем Главного редактора журнала «Радиохимия», а также одним из наиболее активных авторов и рецензентов журнала. Он внес неоценимый вклад в обеспечение регулярного выпуска журнала в трудные для отечественной науки годы, постоянно заботится о поддержании его высокого научного уровня.

В свои 80 лет Д. Н. Суглобов по-прежнему полон новых научных идей, активно ищет возможности и пути их воплощения. Редколлегия и редакция журнала «Радиохимия», коллеги и друзья поздравляют Дмитрия Николаевича с юбилеем, желуют ему крепкого здоровья и долголетия, новых успехов во благо отечественной науки.