

# УГЛЕРОДНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ И ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Кандидат физико-математических наук **О.К. АЛЕКСЕЕВА**, начальник лаборатории;  
**В.В. ТИШКИН**, лаборант-исследователь;  
доктор химических наук, профессор **В.Н. ФАТЕЕВ**, руководитель отделения  
(НИЦ “Курчатовский институт”)

Углеродные наноматериалы имеют уникальные физические, химические, механические, электрические и магнитные свойства. Технологии получения развиваются и уже дают возможность синтезировать их в больших количествах. Эти замечательные наноматериалы важны для решения задач электрохимической и водородной энергетики. Результаты экспериментальных и теоретических работ показывают, что на основе фуллеренов, углеродных нанотрубок, графена и его производных могут быть созданы безопасные системы обратимого хранения водорода большой ёмкости. Применение углеродных наноматериалов повышает эффективность электрохимических систем – электролизеров и топливных элементов. Для очистки получаемого водорода от примесей перспективны композитные мембраны с наноуглеродным слоем, мембраны на основе графена и оксида графена. НИЦ “Курчатовский институт” и другие научные коллективы активно ведут работы в этих направлениях.

**У**глерод – уникальный элемент, существующий во множестве модификаций с различными физическими и химическими свойствами. Он содержится в земной коре (алмаз, графит, карбонаты, горючие ископаемые, природные горючие газы и др.), в атмосфере и гидросфере (CO<sub>2</sub>). С давних времен известны алмазы и графит и, конечно, уголь. Графит широко применяется в металлургии, в атомной энергетике, в ракетно-космической технике,

в водородной энергетике. Казалось, трудно было ожидать появления новых форм углерода, важных не только для развития науки, но и для создания новых технологий. Ситуацию изменило открытие фуллерена C<sub>60</sub> (1985 г.), а затем углеродных нанотрубок (1991 г.) и графена (2004 г.). Напомним, что к открытию фуллерена привели исследования спектров молекул углерода в межзвездном пространстве вблизи красных гигантов. Затем эксперименты, моделиру-

ющие “космические условия” и подтверждающие присутствие пика  $C_{60}$  в спектрах, удалось провести в лаборатории. Позже были получены кристаллы  $C_{60}$ . В 2010 г. с помощью космического телескопа *Spitzer* в нескольких туманностях впервые были обнаружены фуллерены  $C_{60}$  и  $C_{70}$ . После этого были представлены возможные свидетельства существования в космосе фуллеренов в твердой фазе. И это еще не все открытия. Вполне вероятно, что фуллерены и даже нанотрубки могут формироваться в космосе при нагреве зёрен кубического SiC, которые образовались в оболочках умирающих звезд, богатых углеродом.

Так фундаментальные исследования обеспечили дальнейшее активное развитие нанотехнологий. Углеродные наноматериалы имеют уникальные физические, химические, механические, электрические, магнитные и другие свойства и находят разнообразные применения. Технологии их получения развиваются и уже дают возможность синтеза в больших количествах. В представленном кратком обзоре мы ограничимся обсуждением использования этих замечательных наноматериалов для решения задач водородной и электрохимической энергетики – хранения водорода, улучшения работы топливных элементов и электролизеров, газоразделения. Эти работы ведутся в НИЦ “Курчатовский институт”.

### Углеродные наноматериалы для хранения водорода

Ключевой вопрос водородной энергетики – наличие эффективных систем хранения водорода.

В настоящее время используют хранение сжатого газообразного водорода в резервуарах/баллонах высокого давления, хранение газообразного водорода в подземных хранилищах, хранение жидкого водорода в гидридах металлов. К сожалению, все эти технологии небезопасны из-за высокой взрывоопасности водорода и его воздействия на конструкционные материалы. Широкое распространение водородной энергетики требует разработки безопасных эффективных систем обратимого хранения водорода, которые сочетали бы большую ёмкость и возможность быстрого выделения водорода. Результаты экспериментальных и теоретических работ говорят, что возможно создание таких систем на основе углеродных наноматериалов – фуллеренов, нанотрубок, нановолокон, графена<sup>1</sup>. Они имеют большую удельную поверхность, упорядоченную систему пор, достаточно лёгкие и стабильные, могут обеспечить эффективную связь с атомами водорода. Большие надежды сейчас возлагают на разные

<sup>1</sup> 1. Фатеев В.Н., Алексеева О.К., Коробцев С.В., Серёгина Е.А., Фатеева Т.В., Григорьева А.С., Алиев А.Ш. Проблемы аккумуляирования и хранения водорода // *Chemical Problems*. No 4 (16). 2018. 453–832; 2. Алексеева О.К., Пушкарева И.В., Пушкарев А.С., Фатеев В.Н. Графен и графеноподобные материалы для водородной энергетики // *РОССИЙСКИЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ*. 2020. Том 15. № 3. С. 22–50; 3. Нечев Ю.С., Алексеева О.К. Феноменологический, прикладной и термодинамический аспекты сорбции водорода графитом и родственными углеродными наноструктурами // *Успехи химии*. 2004. Т. 73. С. 1308–1337; 4. Debolina Paul, Pratap Mane, Utpal Sarkar & Brahmananda Chakraborty. Yttrium decorated fullerene C30 as potential hydrogen storage material: Perspectives from DFT simulations // *Theoretical Chemistry Accounts* 142. Article number 94 (2023).

варианты фуллереноф, в том числе на модифицированные металлами. Для  $C_{60}$  экспериментально достигнуто высокое содержание водорода по массе (однако, при высоком давлении), для  $C_{120}$  с добавками атомов титана расчёты также показывают высокую массовую плотность водорода. Интересны, хотя и мало изучены, небольшие фуллерены. Одно из последних теоретических достижений – фуллерен  $C_{30}$  с добавлением 5 атомов иттрия (Y). Каждый из атомов присоединяет 7 молекул водорода, при этом получается 8% водорода по массе (средняя температура десорбции 492 К). Это выше, чем величина, общепринятая как требуемая для хранения водорода. Система Y-C30 стабильна и перспективна.

Углеродные нанотрубки лёгкие, имеют большую поверхность. Проблемы часто возникают при сорбции-десорбции водорода. При комнатной температуре и нормальном давлении нужные параметры пока не достигнуты. Некоторые результаты, полученные в последние годы, показали, что важны дополнительная очистка от примесей катализаторов, оставшихся после синтеза, специальная обработка (активация) и модифицирование нанотрубок. Добавление никеля, платины и др. повышает сорбцию благодаря спилловер-эффекту, то есть переносу атомов водорода, образовавшихся на них при диссоциации молекул водорода, к углеродному носителю.

Впрочем, многие исследователи графена считают наиболее перспективным этот углеродный наноматериал. Действительно, двумерный

кристалл, состоящий из монослоя атомов углерода, образующих “сотую” структуру, обладает с точки зрения хранения водорода многими полезными качествами. Конфигурация атомов углерода может обеспечить эффективную связь с атомами водорода. Графен обладает большой удельной поверхностью. Это лёгкий, прочный, термически и химически стабильный материал, пригодный для транспортировки на большие расстояния. Его гибкость позволяет создавать различные системы и устройства. Синтезируют графен уже в больших количествах, разными методами.

Физическая сорбция, то есть сорбция молекулярного водорода на графене, при комнатной температуре и низких давлениях не может обеспечить требуемую сорбционную ёмкость, хотя и отличается быстрой кинетикой. Интерес вызывает графен (слои графита) с наноблистерами – островками, или пузырьками, в которых может накапливаться водород. Блистеринг давно изучают в связи с разрушением металлов из-за образования в поверхностных слоях, наполненных водородом или гелием пузырей, что особенно опасно для термоядерных установок. В последнее время стало понятно – такая структура может быть использована и для систем хранения и транспортировки водорода (кстати, и для разработки катодов двухионных батарей). Максимальная плотность молекулярного водорода в блистере может при нормальном давлении и 77 К, достигать требуемой плотности водорода по массе, а чтобы выделять из стабильных блистеров

водород, надо повышать температуру или давление. Для химической адсорбции требуется диссоциация молекулярного водорода, так как образуется химическая связь между атомами водорода и графена. По теоретическим оценкам сорбционная ёмкость при этом может быть очень большой. К сожалению, возникает проблема обратимости процессов. Её можно решить, если воспользоваться зависимостью энергии связи и барьера адсорбции от кривизны поверхности гибких графеновых материалов. К основным направлениям повышения сорбционной способности водорода на графеновых структурах и улучшения кинетики относятся следующие: изменение кривизны поверхности, увеличение расстояния между слоями, создание каркасных 3D-систем, а также добавление к графену атомов щелочных и переходных металлов ("декорирование" поверхности), замещение углерода атомами бора, серы, азота, фосфора (допирование). Наиболее эффективно совместное декорирование-допирование. Например, декорирование наночастицами платины способствует диссоциации водорода, а допирование атомами азота стабилизирует эти каталитические центры, поддерживая перенос атомов водорода.

Кроме графена рассматривают и графеноподобные материалы, например, так называемый графин. Он состоит из плоских слоёв углерода толщиной в один атом и отличается уникальной комбинацией нескольких типов межатомных связей. К монослою такого материала легче присоединяются атомы металла.

Декорированный цирконием графин по расчётам может иметь сорбционную ёмкость около 8% водорода по массе при температуре десорбции 574 К.

Обнадёживающие результаты получены в основном в теоретических работах. Остаётся ждать экспериментального подтверждения и, безусловно, продолжать изучение механизмов взаимодействия водорода с углеродными наноструктурами, влияния спилловер-эффекта, встраивания водорода между слоями и в наноблистеры, декорирования-допирования атомами других элементов.

### **Углеродные наноматериалы в электрохимических системах**

Электрохимические системы – экологически чистые электролизёры и топливные элементы – чрезвычайно важны для водородной энергетики. Электролиз воды – перспективный и эффективный способ получения возобновляемого водорода высокой чистоты. Топливные элементы непосредственно преобразуют химическую энергию топлива водорода в электрическую. В этих электрохимических системах уже давно используют углерод, например, в качестве носителей катализаторов, непосредственно как катализаторы, в мембранах, газодиффузионных слоях, биполярных пластинах. Появление и начало производства фуллеренов, углеродных нанотрубок, графена и других углеродных наноматериалов привело к стремительному развитию исследований, направленных на их применение для повышения

эффективности электрохимических систем. Конечно, в первую очередь внимание обратили на совершенствование углеродных носителей катализаторов. Основной катализатор – платина, а традиционный носитель – сажа (например, Vulcan XC-72). Использование графена, углеродных нанотрубок, нановолокон и их различных комбинаций привело к снижению расхода платины и повышению стойкости. У этих материалов большая удельная поверхность, пористость, нужная электропроводность. Графен, благодаря специфической электронной структуре, обеспечивает большое количество активных центров для платины. Наилучшие результаты получены при использовании не чистого графена, а оксида графена (ОГ) или восстановленного оксида графена (ВОГ). Например, применение ВОГ в качестве носителя для наночастиц платины (Pt) позволило улучшить транспортные характеристики и стабильность электрокаталитического слоя, повысить активность электрокатализатора. Носители платинового катализатора на основе углеродных нанотрубок (как одностенных, так и многостенных), кроме того, сокращают расход платины и повышают эффективность системы. Отметим, что заметные успехи достигнуты в НИЦ “Курчатовский институт” при осаждении платины на наноуглеродные носители (в том числе ВОГ) с помощью магнетронного распыления. Эта технология помогает также наносить катализаторы роста углеродных нанотрубок, улучшая их качество, структуру и ориентированность, важные для дальнейшего закрепления плати-

ны<sup>2</sup>. Фуллерены тоже вызывают интерес. При равномерном диспергировании нанокластеров Pt на двумерные нанопластинки фуллеренов C<sub>60</sub> на границах композита PtC<sub>60</sub> образуются чрезвычайно активные центры, и активность катализатора электролизера в реакции выделения водорода резко возрастает. Недавно предложили интересное и очень важное применение графена – для электролиза морской воды<sup>3</sup>. Этот углеродный наноматериал может, во-первых, служить носителем катализатора, во-вторых, из него можно сделать покрытие поверхности металлических каталитических частиц (создать системы типа ядро-оболочка) и, в-третьих, использовать как проводящую среду между подложкой и катализатором.

Одно из важных направлений исследований – допирование углеродных наноматериалов азотом и другими элементами. Перспективный метод допирования – плазменная обработка. Она легко позволяет менять концентрацию вводимых

<sup>2</sup> 1. Alexeeva O.K., Fateev V.N. Application of the magnetron sputtering for nanostructured electrocatalysts synthesis. *IJHE41(5)* (2016), p. 3373–3386; 2. Кудинова Е.С., Воробьева Е.А., Иванова Н.А., Тишкин В.В., Алексеева О.К. Метод магнетронного распыления для нанесения Ni-катализатора процесса синтеза массивов углеродных нанотрубок // *Российские нанотехнологии*. 2020. Том 15. № 6. С. 749–756; 3. Zasyapkina A.A., Ivanova N.A., Spasov D.D., Mensharapov R.M., Alekseeva O.K., Vorobyeva E.A., Kukueva E.V., Fateev V.N. Electrode with a Carbon Nanotube Array for a Proton Exchange Membrane Fuel Cell // *Inorganics*. 2023. 11. 219. <https://doi.org/10.3390/inorganics11050219>.

<sup>3</sup> Xinyu Li, Yingjie Liu, Yanhui Feng, Yunwei Tong, Zhenbo Wu, Yida Deng and Wenbin Hu Research prospects of graphene-based catalyst for seawater electrolysis // *Mater. Futures* 2 (2023) 042104 (18 pp.).

элементов, а также обеспечивает возможность *in situ* нанесения катализатора (например, Pt) на модифицированный носитель. Внедрение атомов азота в носитель на основе ВОГ было успешно проведено в НИЦ “Курчатовский институт”<sup>4</sup>. Возникающие активные центры действительно помогают более эффективно использовать драгоценные металлы (платину, палладий, оксиды иридия и рутения) – до сих пор самые распространенные катализаторы в электролизёрах и топливных элементах. Тем не менее необходимо найти варианты других материалов, желательных неметаллических, не подверженных воздействию агрессивной среды. Эффективными катализаторами оказались углеродные нанотрубки, графен и некоторые композитные углеродные наноматериалы при допировании и декорировании другими атомами. Исследовали (как в экспериментальных, так и в расчётных работах) допирование азотом, серой, бором, фосфором, фтором, кислородом (иногда и совместное допирование несколькими элементами). Внедрение в углеродную структуру других атомов приводит к изменению физико-химических свойств. Катализаторы, более эффективные в реакции восстановления кислорода, чем известные Pt/C катализаторы, получены при допировании азотом углеродных нанотрубок, оксида графена; при адсорбировании серы на

кластерах графена. Производные фуллеренов (например, допированный азотом и декорированный металлами C<sub>24</sub>) проявили себя как активные электрокатализаторы реакции выделения водорода.

Одна из задач, интересных для водородной энергетики, заключается в разработке катализаторов, которые были бы активны во всём диапазоне pH, например, при выделении водорода и кислорода из воды. Для металлосодержащих материалов это практически невозможно. Сочетание различных активных центров в углеродных наноматериалах позволяет создать многофункциональные катализаторы, эффективные сразу для нескольких электрохимических реакций. Так, было продемонстрировано, что допированные азотом и фосфором графитизированные углеродные сетки эффективны в реакциях выделения водорода и кислорода. Трифункциональные электрокатализаторы реакций выделения водорода и кислорода и восстановления кислорода получили из графена, допированного азотом, фосфором и фтором, и из других углеродных наноматериалов, допированных совместно азотом-серой. Эти пока уникальные примеры вдохновляют на развитие новых многофункциональных безметаллических катализаторов.

Еще одно интересное направление, которое может эффективно развиваться благодаря углеродным наноматериалам, заключается в совершенствовании твёрдых полимерных электролитов. Для топливных элементов, электролизёров, водородных сенсоров и др. важны электролиты, обеспечивающие проводимость как протонов, так и электро-

<sup>4</sup> Пушкарев А.С., Алексеева О.К., Пушкарева И.В., Шапир Б.Л., Чумаков Р.Г., Тишкин В.В., Козлова М.В., Калининченко В.Н., Фатеев В.Н. Плазменное азотирование наноструктурного восстановленного оксида графена // Российские нанотехнологии. 2020. Том 15. № 6. С. 769–774.

нов, или обладающие смешанной проводимостью. Авторы<sup>5</sup> разработали процесс получения свободных плёнок ОГ/О<sub>x</sub>-ОСНТ (гибрида оксида графена и оксидированных углеродных одностенных нанотрубок), обладающих смешанной протонной и электронной проводимостью. Простота синтеза и отличные свойства плёнок позволяют надеяться на их широкое применение.

### Углеродные наноматериалы для очистки водорода от примесей

Технологии масштабного производства водорода хорошо развиты в нашей стране. К ним относятся и традиционные (паровая конверсия метана и природного газа, газификация угля), и использующие атомную энергию и возобновляемые источники энергии – главным образом воду (электролиз) и в меньшей степени биомассу. Во всех случаях требуется очистка получаемого водорода от примесей (например, от метана, диоксида углерода, влаги и др.). Для этой цели перспективно применение газоразделительных мембран. В настоящее время в основном применяют полимерные мембраны, но, несмотря на достижения в их многолетней разработке и способах производства, требуются поиски альтернативных вариантов, обеспечивающих высокую селектив-

ность и производительность. За последнее десятилетие на первое место, несомненно, вышли углеродные наноматериалы. Получены перспективные данные для мембран с наноструктурным углеродным селективным слоем, композитных мембран, включающих углеродные наноматериалы, мембран на основе нанопористого графена и оксида графена.

Мембраны на основе пористого графена обеспечили рекордное разделение смеси водород-метан (на порядок величины выше, чем полимерные) благодаря тому, что исследователям удалось разработать метод формирования нанопор строго контролируемого размера, с точностью до десятых долей нанометра. Однако создание нанопор – довольно сложный процесс, хотя предложены разные способы: лазерное воздействие, ионный пучок, травление, плазменное оксидирование.

Большой интерес представляют собой мембраны на основе оксида графена (ОГ) с уникальной тонкой слоистой структурой и функциональными группами. В отличие от графена, ОГ – не чисто 2D материал. Он состоит из сморщенных (складчатых) чешуек толщиной 1 нм и размерами в несколько микрон по горизонтали. Для ОГ-слоев используют дисперсии чешуек оксида графена. ОГ-мембраны могут обеспечить высокие проницаемость и селективность и разделять смеси водорода с углекислым газом, метаном, азотом.

Мембраны на основе ОГ могут быть “свободными”, без подложки. Такие мембраны имеют преимущества за счёт минимальной толщины.

<sup>5</sup> Nurun Nahar Rabin, Md. Saidul Islam, Mohammad Atiqur Rahman, Ryuta Tagawa, Yuta Shudo, Yoshihiro Sekine and Shinya Hayami. *Free-standing graphene oxide/oxidized carbon nanotube films with mixed proton and electron conductor properties* // *Energy Adv.* 2023. 2. 293–297. DOI: 10.1039/D2YA00314G

Характеристики полученных мембран зависят от размеров чешуек, конфигурации слоев, включая межслойные расстояния, и др. Однако в настоящее время основные работы ведутся в направлении получения ОГ-мембран на подложках (пористых полимерах, керамики и др.), так как это необходимо для повышения прочности. Методы – окунание, вакуумная фильтрация, нанесение распылением, послойное осаждение. Интересный новый вариант суперпрочных селективных ОГ-мембран предложен авторами<sup>6</sup>. Чешуйки ОГ были успешно осаждены на поверхность нетканого полотна из углеродных волокон. Модуль Юнга (модуль упругости) таких мембран 56 МПа. Мембраны толщиной 200 мкм имеют наиболее высокую селективность при разделении смесей водорода с диоксидом углерода, азотом, метаном. Такие мембраны довольно легко делать в больших масштабах. Они прочные, гибкие, термо- и химически стабильные. Микропористые керамические трубки из оксида алюминия – тоже хорошая подложка. В серии работ проведённых в НИЦ “ Курчатовский институт”, были разработаны мембраны с наноуглеродным селективным слоем, полученным при карбонизации полимеров<sup>7</sup>. Высо-

кие проницаемость для водорода, селективность при разделении  $H_2/CO_2$  и хорошую стабильность показали также мембраны, состоящие из трубок оксида алюминия, покрытых ОГ из раствора<sup>8</sup>. Разработаны методы получения производительных гибридных мембран из ОГ и металл-органических каркасов из ОГ и дисульфида молибдена и др.

Новое направление (пока расчётно-теоретическое) – использование фуллереновых мембран<sup>9</sup>. Речь идёт об очень тонких, монослойных структурах из фуллеренов. Могут быть применены и двухслойные с добавлением атомов магния между слоями. Размер и форма пор обеспечивают отличную проницаемость водорода и высокую селективность при разделении смеси водород/диоксид углерода и водород/кислород. Фуллереновые монослойные мембраны будут полезны при электролизе воды.

<sup>6</sup> Alaa Mohamed, Samy Yousef, Andrius Tonkonogovas, Arūnas Stankevičius, Arūnas Baltušnikas. *Fabrication of high-strength graphene oxide/carbon fiber nanocomposite membranes for hydrogen separation applications // Process Safety and Environmental Protection*. Vol. 172. April 2023. P. 941–949.

<sup>7</sup> 1. Алексеева О.К., Амирханов Д.М. Достижения и перспективы в области создания неорганических газоразделительных мембран с углеродным разделительным слоем // *Рос. хим. журн.* 2004. Т. XLVIII. № 5. С. 82; 2. Алексеева О.К., Котенко А.А., Челяк М.М. Высоко-

пературные фильтры и газоразделительные мембраны, полученные в условиях контролируемой карбонизации полимеров // *Мембраны*. 2007. № 4 (36). С. 3–16; 3. Алексеева О.К., Котенко А.А., Нефёдова Е.В., Нечаев Ю.С., Челяк М.М., Шапир Б.Л. Некоторые вопросы создания газоразделительных мембран на основе углеродных наноструктур // *Наночастицы в конденсированных средах*. Сб. науч. ст. Минск: Издательский центр БГУ, 2008. С. 154–158; 4. Alexeeva O.K., Nechaev Yu.S., Shapir B.L., Öchsner A. *Some aspects of molecular hydrogen transport in nanostructured carbon membranes // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*. 2009. № 1 (69). С. 131–139.

<sup>8</sup> Zeynali R., Ghasemzadeh K., Sarand A.B., Kheiri F, Basile A. *Experimental study on graphene-based nanocomposite membrane for hydrogen purification: effect of temperature and pressure // Catal Today*. 2019. V. 330. P. 16. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2018.05.047>

<sup>9</sup> Yujing Tong, Hongjun Liu, Sheng Dai and De-en Jiang. *Monolayer Fullerene Membranes for Hydrogen Separation // Nano Lett.* 2023. 23. 16. 7470–7476. <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.3c01946>



## Заключение

Фундаментальные исследования привели к открытию фуллеренов, новых форм углерода. Вслед за этим были обнаружены углеродные нанотрубки, экспериментально получен графен. Технологии их синтеза развиваются. Результаты экспериментальных и теоретических работ показывают важность их использования для водородной энергетики. На основе фуллеренов, нанотрубок, нановолокон, графена и его производных могут быть созданы безопасные системы обратимого хранения водорода большой ёмкости. Активно проводятся исследования, направленные на повышение эффективности электрохимических систем. Внедрение в углеродные наноматериалы других атомов (азота, бора, фосфора, серы, кислорода, фтора) приводит к увеличению активности и стабильности катализаторов (платины, палладия, оксидов иридия и рутения), а также позволяет синтезировать эффективные безметалли-

ческие электрокатализаторы, в том числе многофункциональные. Углеродные наноматериалы дают возможность разработать твёрдые полимерные электролиты, обеспечивающие проводимость как протонов, так и электронов или обладающие смешанной проводимостью. Для очистки получаемого водорода от примесей (например, от метана и диоксида углерода, влаги и др.) перспективно применение композитных мембран с селективным наноуглеродным слоем на керамической основе, газоразделительных мембран на основе оксида графена, монослойных структур из фуллеренов.

Исследования активно продолжаются. Впереди много открытий, важных для водородной энергетики.

*Работы выполнены в НИЦ "Курчатовский институт" в рамках приказа № 89 от 20.01.2023 по пункту Зп. 2.5. "Разработка новых электрокаталитических материалов с улучшенными свойствами для электрохимических устройств с ТПЭ".*

ПОКУПАЙТЕ ДЕШЕВЛЕ

КНИГИ

ЖУРНАЛЫ

В ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНЕ ИЗДАТЕЛЬСТВА «НАУКА»

НАУКА  
— 1727 —

www.naukabooks.ru

The image shows a laptop displaying the website of Nauka Books. The website has a blue header with navigation links: "КАТЕГОРИИ КНИГ", "КАТЕГОРИИ ЖУРНАЛОВ", "О СЕТИ «НАУКАБУКС»", and "ИЗДАТЕЛЬСТВО". The main content area features a section for "Интерактивные альманахи" with a sub-header "На сайте 18 альманахов доступных для просмотра: «Трансформация», «Общество и экономика» и «Историческая энциклопедия». Below this are three book covers: "ГЕОПОЛИТИЧЕСКАЯ", "ОКЕАНОЛОГИЯ", and "ПРИРОДА". To the right of the laptop, there is a potted plant and a stack of books. The overall background is a light-colored wall.