

УДК 620.97

Д.А. Соловьев<sup>1</sup>

## ЭНЕРГИЯ ГИДРОСФЕРЫ: РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ, РЫНОК, НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Статья содержит характеристику проблемы и раскрывает основные пути использования энергетического потенциала гидросферы Земли. В работе рассматриваются экономические модели рынка энергетических ресурсов гидросферы. Проанализированы перспективные технологии преобразования энергии гидросферы.

*Ключевые слова:* энергия, вода, возобновляемые источники энергии, гидросфера, океан, энергетические ресурсы, рынок энергетических ресурсов, новые технологии.

### Введение

Несмотря на значительные достижения во многих областях науки, которыми отмечены последние десятилетия, проблема обеспечения населения Земли достаточным количеством природных и энергетических ресурсов до сих пор в полной мере не решена. Она приобретает особую актуальность по мере роста дефицита и истощения многих видов традиционных источников природного сырья. Во многих регионах мира стали проявляться энергетические, сырьевые и продовольственные кризисные ситуации. За последние 200 лет глобальное потребление энергии возросло более чем в 30 раз и составило 13 Гт у.т. По крайней мере, к 2050 г. ожидается практически удвоение потребления всех видов энергоресурсов [1].

Сегодня мировое сообщество уделяет все больше внимания развитию и изучению новых возможностей решения этих проблем на основе использования как традиционных, так и возобновляемых энергоресурсов [2, 3], к которым относятся ресурсы водной оболочки нашей планеты — гидросферы. Гидросфера Земли является потенциальным источником большинства ресурсов, необходимых для жизнедеятельности и жизнеобеспечения всего человечества и его дальнейшего устойчивого развития. Именно по этой причине во всех странах отмечен всплеск интереса к изучению Земли и едва ли не в первую очередь — к изучению энергетических возможностей Мирового океана. За последние годы существенно возросли ассигнования на развитие этой тематики. Также становится очевидным,

что сохранение жизнеобеспечивающей экологической обстановки на нашей планете стало проблемой первостепенной важности, и в ее решении океаны, моря, реки и озера и другие водные ресурсы играют одну из ведущих ролей. Гидросфера нашей планеты содержит и аккумулирует в себе огромные запасы энергии разных видов. Совокупность водных масс океанов, морей, рек и озер представляет собой до сих пор нераскрытый потенциал физической, химической, тепловой и других, возможно еще неизвестных науке, видов энергии.

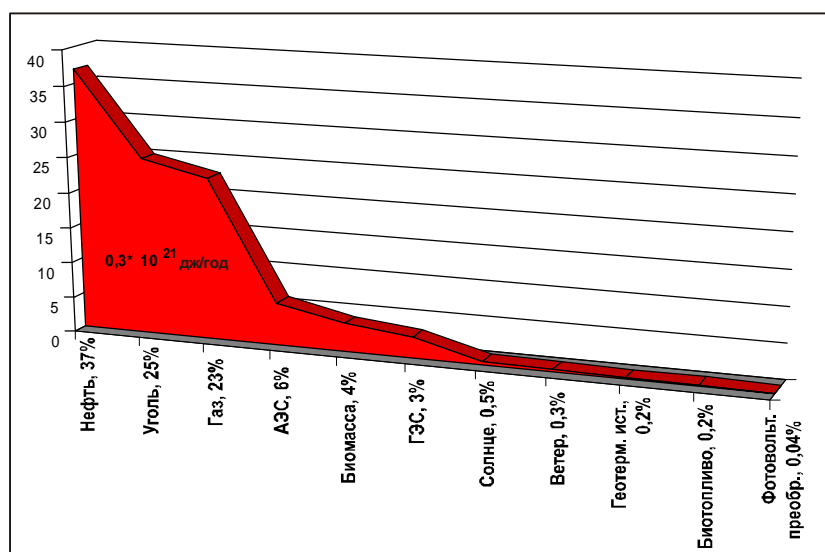
### Оценка энергетического потенциала гидросферы Земли

По оценкам [4], доступная часть энергии Мирового океана (энергетический потенциал гидросферы), т.е. та часть, которая может быть практически использована при современном уровне техники преобразования, почти в два раза превышает уровень современного потребления энергии в мире [5], который определяется цифрой около  $0,3 \cdot 10^{21}$  Дж в год (рис. 1, 2). Больше всего в океане тепловой энергии, поскольку он представляет собой гигантский тепловой аккумулятор энергии Солнца. Так, тепловая (внутренняя) энергия, соответствующая перегреву поверхностных вод океана по сравнению с донными, например, на  $20^\circ\text{C}$ , имеет величину около  $10^{26}$  Дж. Кинетическая энергия океанских течений оценивается величиной около  $10^{18}$  Дж. Таким образом, суммарная энергия Мирового океана превышает величину  $10^{34}$  Дж.

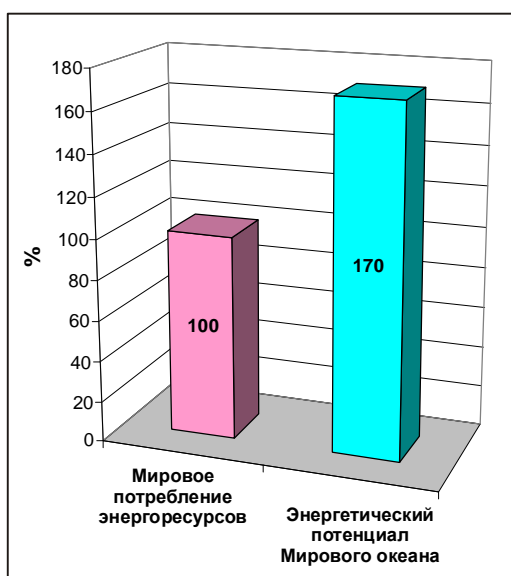
Однако в настоящее время используются лишь доли этой энергии, в связи с тем что такая энерге-

---

<sup>1</sup> Соловьев Дмитрий Александрович — Учреждение Российской академии наук Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, к.ф.-м.н., e-mail: solovev@sail.msk.ru.



**Рис. 1. Соотношение потребления энергетических ресурсов в мире в 2010 г. [5]**



**Рис. 2. Энергетический потенциал источников энергии Мирового океана**

тика до сих пор считалась малоперспективной. В то же время происходящее быстрое истощение запасов ископаемых топлив, использование которых связано с существенным загрязнением окружающей среды (включая тепловое загрязнение, грозящее глобальными климатическими последствиями), и ограниченность запасов ядерного топлива заставляют уделять все больше внимания поискам возможностей экономически обоснованного использования не только энергии перепадов уровня воды в реках, но и других альтернативных видов энергии

гидросферы Земли. В ближайшей перспективе массовое замещение углеводородных энергоносителей на современном уровне технологии возможно за счет строительства новых гидро- и атомных электростанций, а также за счет развития биоэнергетических технологий и использования возобновляемых источников энергии. Широкое развитие неуглеводородных видов энергетики рассматривается в дополнительном сценарии Международного энергетического агентства (МЭА), предполагающем активное вмешательство государства в мировую энергетику в случае сохранения стабильно высоких цен на ископаемые энергоносители [6]. Вероятность наступления этого сценария подтверждается и форсайтом потребления энергии до 2050 г. по методу Дельфи, проведенным МЭА [6], а также альтернативным сценарием МЭА [7] и Института энергетической стратегии (ИЭС) [8].

Океан содержит в себе множество различных видов энергии: энергию приливов и отливов, океанских течений, термальную энергию и многие другие, которые необходимо эффективно трансформировать для последующего использования.

Для количественной оценки энергетического потенциала гидросферы [4, 9] применяют, как правило, обобщенную внесистемную единицу измерения — метр водяного столба (1 м вод. ст. равен гидростатическому давлению столба воды высотой в 1 м при наибольшей плотности воды (т.е. при тем-

пературе около 4 °С) и ускорении свободного падения  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ). Эта величина называется плотностью потока потенциальной энергии давления и характеризует степень концентрации данного вида энергии. С помощью данного понятия удобно сравнивать между собой различные виды энергии в океане. Например, для теплового градиента (т.е. при разности температур между теплым и холодным слоями) в 20 °С плотность потока потенциальной энергии давления составляет 570 м вод. ст. Такой напор мог бы существовать в грандиозном водохранилище с плотиной высотой более полукилометра. А для градиента 12 °С плотность потока равна 210 м. Обе эти цифры (210 и 570 м) рассчитаны с учетом КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно.

Подобную плотность потока в океане имеет еще только энергия градиента солености (осмоса) — 240 м. Другие виды энергии океана имеют значительно меньшие значения плотности потока. Так, для ветровых волн она составляет 1,5 м, а для океанских течений — лишь 0,05 м (рис. 3).

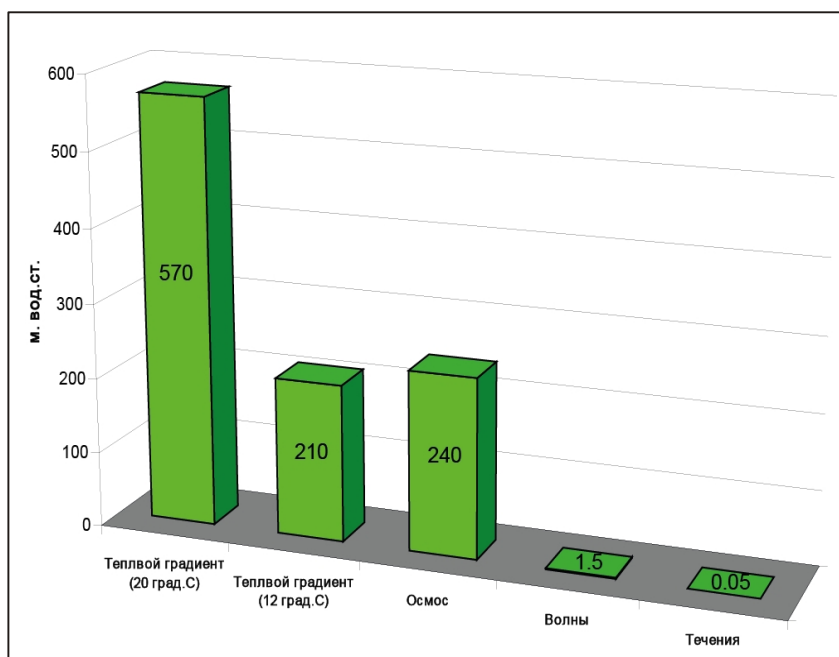
### Потенциал развития рынка энергоресурсов гидросферы

*Имитационная модель развития рынка энергоресурсов гидросферы.* Помимо непосредственной оценки энергетического потенциала гидросферы

ры в последнее время все большее значение приобретает оценка рыночного потенциала ее энергоресурсов. Подавляющее большинство процессов на рынке можно исследовать в задачах моделирования равновесия рыночных цен. При этом окончательное установление рыночной цены происходит при взаимодействии факторов спроса и предложения. В качестве примера можно рассмотреть ситуацию на рынке гидроэнергетических ресурсов Великобритании [10]. В табл. 1 на основе данных обзора Enviro Consulting, а также данных отчета Renewables Global Status Report 2010 представлена стоимость производства 1 МВт·ч электроэнергии на основе использования нетрадиционных энергетических ресурсов гидросферы, за исключением ГЭС в 2010 г., дифференцированных по мощности [10, 11].

По прогнозу [11], к 2020 г. стоимость производства электроэнергии на основе использования гидроэнергетических ресурсов снизится примерно на 20 %, при этом предложение превысит спрос в среднем на 30 %.

На основе приведенной в табл. 1 стоимости производства электроэнергии для наиболее распространенных энергетических станций средней мощностью 1,25...20 МВт и данных изменения спроса и предложения на мировом рынке гидроэнергетических ресурсов [11] построим имитационную модель



**Рис. 3.** Плотность потоков некоторых видов энергии в океане [4]

Таблица 1  
**Стоимость производства электроэнергии на основе использования нетрадиционных энергетических ресурсов гидросферы за исключением ГЭС различной мощности**

Мощность	< 1,25 МВт	1,25...20 МВт	> 20 МВт
Стоимость производства дол./МВтМ (2010 г.)	151,2	120,6	108,6

рынка энергоресурсов гидросферы, позволяющую прогнозировать баланс цен, спроса и предложения на рынке для заданного временного интервала. Моделирование проводится в среде визуального программирования Matlab Simulink [12]. Данная среда разработана специально для моделирования нестационарных динамических систем и широко используется для формализации и описания различных экономических явлений и процессов. Она имеет библиотеку стандартных графических блоков со встроенными математическими функциями.

Для расчетов используем простую линейную модель, без запасов, случайностей, прогнозов и прочих усложняющих факторов, которая базируется на следующих функциях: 1) функция зависимости спроса от цены  $D_{md} = D_0 - K_d \cdot P_{rc}$ , где  $D_{md}$  — спрос (Demand) за текущий интервал времени,  $D_0$  — спрос при нулевой цене,  $K_d$  — крутизна линии спроса,  $P_{rc}$  — цена (Price) товара; 2) функция зависимости предложения от цены  $S_{pl} = S_0 + K_s \cdot P_{rc}$ , где  $S_{pl}$  — предложение (Supply) за текущий интервал времени,  $S_0$  — предложение при нулевой цене,  $K_s$  — крутизна линии спроса.

Экономическое содержание построенной модели представляет собой четыре блока (рис. 4). Спрос

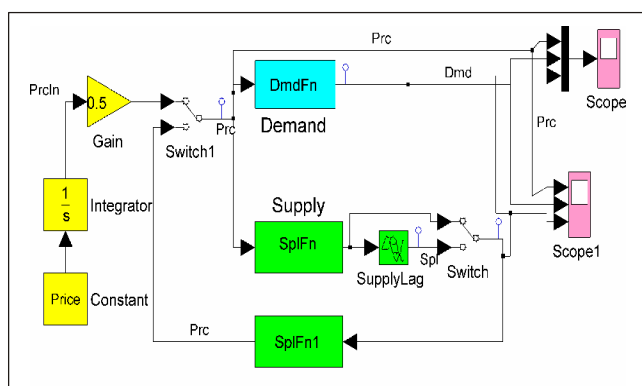


Рис. 4. Блок-схема имитационной модели

представлен одним стандартным блоком с именем DmdFn. Он вычисляет значение спроса в зависимости от цены, подаваемой на вход блока. Обозначения и параметры блока на схеме следующие:  $u = P_{rc}$ ,  $D_0 = 100$ ,  $K_d = 10$ .

Предложение представлено тремя стандартными блоками. Собственно функция зависимости количества предлагаемых на продажу товаров от цены реализуется блоком с именем SplFn. Он вычисляет значение предложения в зависимости от цены, подаваемой на вход блока. Обозначения и параметры блока на схеме следующие:  $u = P_{rc}$ ,  $S_0 = 70$ ,  $K_s = 7$ .

Блок SupplyLag имитирует запаздывание поставщика на рынке. Продавец поставляет товар в количестве  $S_{pl}$ , определенном на основе цен прошлого интервала времени.

Блок SplFn1 имитирует решение поставщика смириться с ценой текущего спроса. Он соглашается продать весь товар по цене, которую диктует линия спроса. Блок реализует функцию, обратную функции спроса, и вычисляет цену  $P_{rc}$ , по которой сможет купить весь товар Spl поставщика. Параметры блока одинаковы с параметрами блока DmdFn («Спрос»).

На рис. 5 представлены результаты расчета имитационной модели. Видно, что при заданных прогнозных параметрах рынка в процессе перехода к установлению рыночного равновесия средняя цена

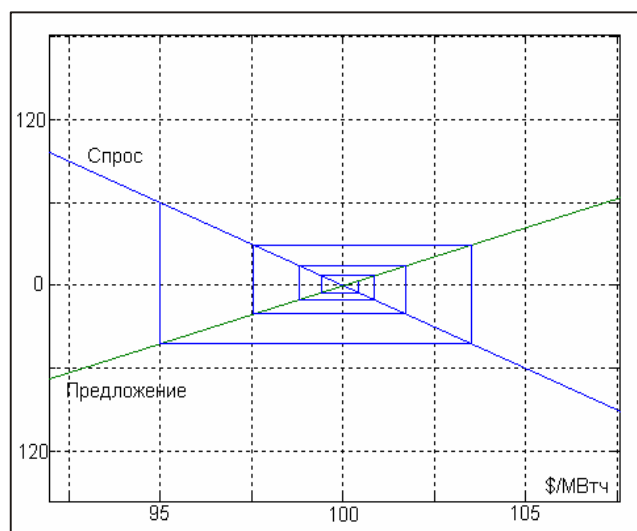


Рис. 5. График паутины движения цены к равновесию на рынке гидроэнергоресурсов (прогноз на 2020 г.)

1 МВт·ч электроэнергии, полученной на основе использования энергетических возможностей гидросферы, колеблется в диапазоне 100 дол./МВт·ч, что согласуется с данными прогноза [11]. Для сравнения стоит отметить, что на сегодняшний день стоимость электроэнергии, полученной путем сжигания углеводородного топлива, имеет порядок 150...180 дол./МВт·ч.

Таким образом, использование построенной имитационной модели можно считать оправданным при прогнозной оценке рыночного потенциала, рассмотренного здесь в качестве примера одного из используемых сегодня способов преобразования энергии гидросферы. В конечном счете предложенная методика может позволить наиболее простым и наглядным способом оценить перспективность и экономическую привлекательность большинства новых технологий получения энергии гидросферы, в том числе при принятии решения о финансировании энергетических проектов на государственном уровне.

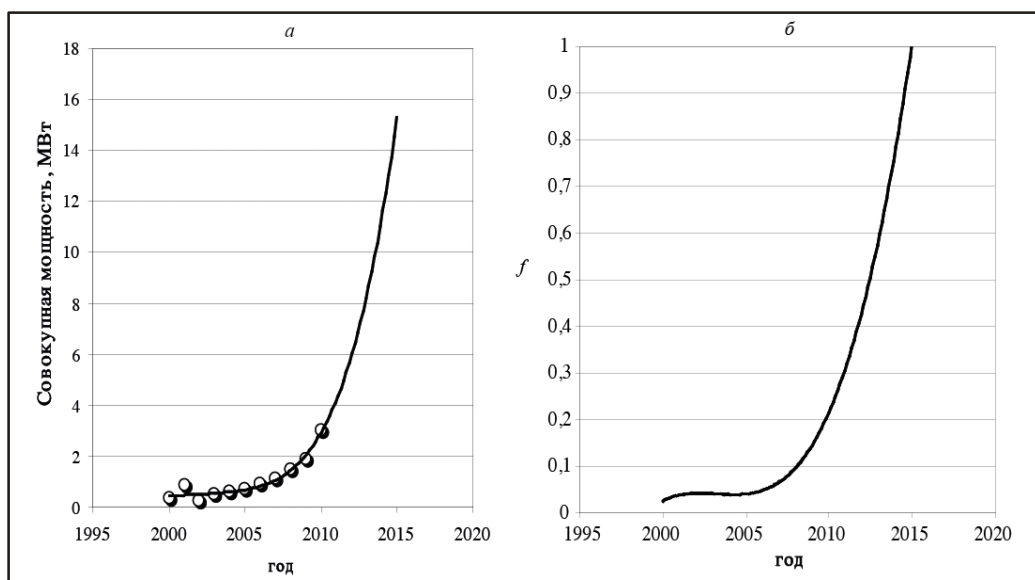
*Проникновение новых технологий на рынок энергоресурсов гидросферы.* Другой важной проблемой развития рынка энергетических ресурсов гидросферы является скорость проникновения на него новых технологий [13]. Проблема заключается также в том, что новые технологии и устройства не могут сразу занять свое место на рынке из-за

влияния многих факторов. При этом нередко возникает конкурентная борьба между новыми и уже присутствующими на рынке технологиями.

Важно правильно оценить скорость, с которой новое технологическое решение будет вытеснять предыдущее, используемое для получения тех же функциональных характеристик. Иначе говоря, необходимо предсказать скорость, с которой новая техника замещает старую, либо в случаях, когда нет старой техники, оценивать скорость адаптации техники к выполнению таких функций, которые ранее она не выполняла. В подобной ситуации нередко прибегают к теории функций проникновения на рынок Фишера-При, которые представляют собой S-образные кривые [14].

Пусть  $f$  — это часть максимального уровня внедрения, который может иметь новый товар на рассматриваемом рынке. С течением времени  $f$  увеличивается от нуля до значения, равного или меньшего единицы. После достижения уровня, равного единице, данная технология (или устройство) становится старой, и ее нужно заменять новой. В ходе замены старого изделия  $f$  уменьшается от единицы до нуля.

График зависимости  $f$  от времени, построенный по эмпирическим данным, представляет собой S-образную кривую. Время внедрения на рынок  $DT$



**Рис. 6. Морские ветровые энергоустановки 2010–2015 гг.:**  
**а — прогноз изменения совокупной мощности (по данным [15]);**  
**б — функция проникновения на рынок**

определяется как  $DT = (t_h - t_l)$ , где  $t_h$  — это время, за которое функция  $f$  становится равной  $0,5 = f_h$ , и  $t_l$  — время, за которое функция изменяется от нуля до  $0,1 = t_l$ . Величина  $DT$  может иметь отрицательное значение в том случае, когда данная технология устаревает и ее заменяют новой. В этом случае она называется временем вывода с рынка.

В качестве примера рассмотрим ситуацию на рынке морских ветровых энергетических установок. На рис. 6 представлены графики прогноза изменения совокупной мощности морских ветровых энергоустановок 2010–2015 гг. (а) и функции проникновения на рынок морских ветровых энергоустановок (б), построенные по эмпирическим данным [15]. При сравнении этих двух графиков хорошо видно, что данные прогноза изменения совокупной мощности морских ветровых энергоустановок коррелируют с данными, полученными по теории Фишера-При. Прогноз построен на основе полиномиальной аппроксимации с величиной достоверности  $R^2 = 0,97$ . При этом время внедрения  $DT$  ветровых энергетических установок морского базирования, по оценочным расчетам, составит примерно 4,5–5 лет, а новый цикл смены технологий их работы может произойти не раньше 2015 года.

Аналогичный характер изменения показателей проникновения новых технологий на рынок можно ожидать и для других однотипных морских энергетических технологий, которые будут замещать собой старые технологии. Очевидно, что новая техника не будет внедрена быстро, поэтому существует значительный риск, связанный с ее использованием. Возможно, некоторые потенциальные потребители этой новой техники предпочтут не брать сразу весь риск на себя и продолжат работать со старыми технологиями. В любом случае проникновение на рынок новых технологий неминуемо произой-

дет, несмотря ни на что, т.к. есть определенный риск и в неиспользовании новой техники. Использование функций Фишера-При позволяет оценивать баланс этих рисков при принятии решения о внедрении на рынок новых энергетических технологий.

### Новые технологии преобразования энергии гидросферы

*Получение энергии гидросферы.* Основные способы преобразования энергии гидросферы Земли можно условно разделить по сложности их технической реализации на два вида: искусственные и естественные (табл. 2). К искусственным способам относятся те, которые связаны с применением различных технических (механических, электрических и т.п.) устройств преобразования тепловой, кинетической и химической энергии. Данные способы характеризуются высокой степенью сложности использования и технической реализации. Естественные способы трансформации энергии гидросферы отличаются прежде всего преимущественным обращением к природным процессам и материалам, потенциально доступным в качестве первичного ресурса получения энергии и не требующим применения сложных технических приспособлений.

Ниже, следуя [1, 4, 11, 14, 16–21], приведем краткую характеристику доступных ресурсов, возможностей, а также некоторых перспективных новых технологий преобразования энергии гидросферы.

*Преобразование кинетической энергии океана.* Энергия течений Мирового океана по величине близка к энергии, получаемой от сжигания всех видов топлива на Земле в течение года (примерно  $10^{20}$  Дж).

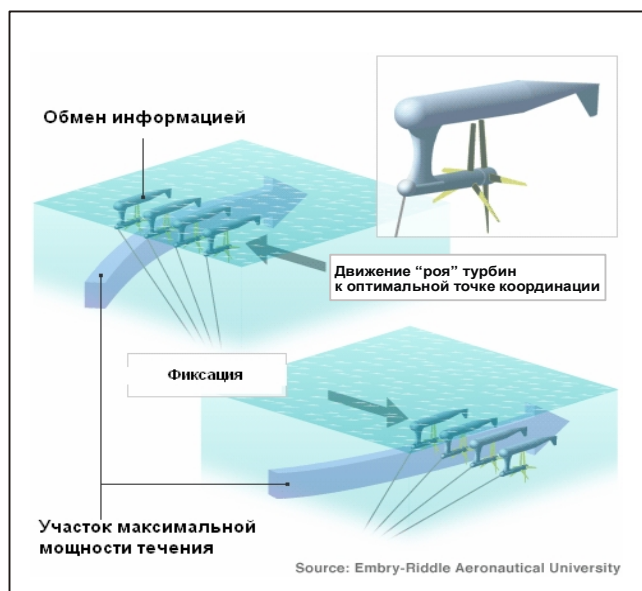
В 2010 г. были начаты работы по использованию энергии Гольфстрима, самого мощного течения в Мировом океане [17]. Предполагается использовать

Таблица 2

Энергетические ресурсы гидросферы

Способы преобразования энергии	
Искусственные	Естественные
Вид источника преобразуемой энергии	
Приливы, течения, волны	Биота (планктон, нектон, бентос)
Градиент температуры	Синтез биомассы (фотосинтез, хемосинтез)
Градиент солености	Сырьевые ресурсы (нефть, газ, химические элементы, газовые гидраты)
Химические связи (получение водорода, изменение химической структуры воды)	Гидротермы («черные курильщики»)

около 1 % его энергии. Авторы проекта считают, что эта цифра не должна заметно отразиться на общем балансе энергии течения. Традиционный подход к решению проблемы использования энергии Гольфстрима состоит в том, чтобы построить большие турбины и поставить их на якорь на морском дне. Однако современные расчеты показывают, что природа Гольфстрима не позволит этого сделать. Даже с учетом того, что Гольфстрим ограничен с двух сторон сушей, местоположение пиковой скорости потока меняется в связи с сезонными и погодными условиями. Инженеры аэронавигационного университета Эмбри-Риддл (США) предлагают использовать автономные турбины (рис. 7) с так называемой разведкой роя, которые могут проходить через океанские потоки, подобно стае рыб, ищущей пищу [18].



**Рис. 7. «Рой» автономных турбин на Гольфстриме [18]**

«Разведка роя» может достичь двух целей. Нужно определить участок Гольфстрима с максимальной выходной мощностью. Другая цель состоит в том, чтобы найти точку координации, которая обеспечит оптимальную эффективность. Главное преимущество заключается в том, что течение может перемещаться на расстояние до 1 км, и установка обычных турбин в определенном месте не учла бы миграцию потоков в течение всех сезонов. Опытный образец в настоящее время находится в работе и должен быть закончен в конце 2011 — начале 2012 года.

Весьма перспективный вид кинетической энергии Мирового океана — энергия волн. Видов волн много. Однако с точки зрения выработки электрической энергии заслуживают внимания лишь три их типа: приливные, ветровые и зыбь. Ветровые волны обладают большой разрушительной силой, т.е. несут значительную энергию. Несколько миллионов штормов ежегодно случается в Мировом океане. Подсчитано, что 1 км<sup>2</sup> водной поверхности с волнами высотой около 5 м обладает мощностью около 3 млн кВт. А штормовая погода может охватить площадь в несколько тысяч квадратных километров. Соответственно, волновая мощность Мирового океана оценивается величиной около 3 млрд кВт. Запасы энергии ветровых волн и зыби огромны, но степень разработанности проблемы ее использования пока недостаточна: лишь в последнее десятилетие были сделаны некоторые шаги в деле практического использования энергии ветровых волн и зыби — для выработки электрической энергии.

Одним из таких шагов является новая технология преобразования энергии волн с использованием систем автономных волновых насосов, подающих воду на берег для выработки электроэнергии. Примером подобного устройства служит проект британских инженеров Dartmouth Wave Energy (рис. 8), который напоминает волновую электростанцию, использующую энергию вертикального движения поплавка [19]. При этом сам поплавок не имеет электрических систем и представляет собой механический насос, который закачивает морскую воду на большую высоту в прибрежные искусственные резервуары. Проект можно охарактеризовать как мини-ГАЭС (мини-гидроаккумулирующая электростанция). В основе установки — два поплавка, способные двигаться друг относительно друга. Верхний раскачивается волнами, нижний соединен с дном с помощью цепи и якоря. Между поплавками находится «насосная станция» (цилиндр с поршнем двойного действия, который качает воду при движении вниз и вверх, и клапанами с выходными трубами).

Преимущества подобной установки следующие. В поплавке нет проводов, магнитов, катушек, контактов и герметичных отсеков для оборудования, что делает его гораздо более дешевым, простым и надежным. Турбины и электрогенераторы волновой станции, расположенные на берегу, — это давно оп-

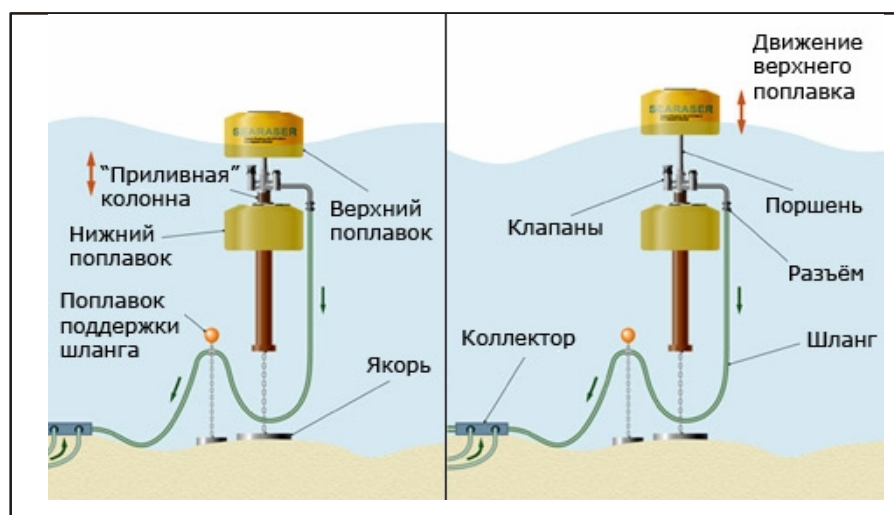


Рис. 8. Принцип работы гидроаккумулирующей волновой электростанции (иллюстрация Dartmouth Wave Energy/Alvin Smith) [19]

робованная и испытанная на обычных ГЭС техника. В отличие от традиционной ГАЭС такая установка не требует нижнего водохранилища. Кроме того, она решает проблему неравномерности силы волн. По оценочным расчетам, один поплавок может поднимать морскую воду на высоту до 200 м и давать мощность 0,25 МВт.

Хорошие перспективы имеют новые технологии использования энергии приливных волн, отличающихся четкой регулярностью: два раза в сутки в определенное время появляются приливные волны заранее известной высоты. Эти свойства — строгая периодичность и определенная высота — позволили людям очень рано научиться использовать их энергию. Так, уже в XI в. в Европе строили мельницы, работающие за счет энергии прилива. В наши дни приливные электростанции — самые мощные среди других волновых, но, к сожалению, их можно построить не на любом участке побережья (и, как правило, не там, где особенно нужна энергия). У нас в стране природные условия таковы, что самые мощные приливы имеются вдали от промышленных центров или районов с большим потреблением энергии. В России самые мощные приливы — у берегов Камчатки, где общая энергия приливных волн равна примерно  $10^{19}$  Дж в год.

На проектируемой в настоящее время ОАО «НИ-ИЭС» и РусГидро Северной приливной электростанции (ПЭС) в Баренцевом море впервые в России предполагается реализовать экспериментальный во-

дородный технологический комплекс [20]. Эту ПЭС планируется создать с целью отработки совокупности и взаимосвязи технологических вопросов производства, хранения, транспортировки и применения экологически чистого энергоносителя водорода в структуре нецентрализованного энергообеспечения.

Основные технические параметры комплекса задаются мощностью питания электрической энергией от ПЭС, равной 400 кВт, что соответствует производству 100 норм. м<sup>3</sup>/час H<sub>2</sub> методом электролиза и обеспечивает работу топливных элементов мощностью 200 кВт. Такой объем производства водорода будет достаточен для создания регионального полигона для отработки и демонстрации работоспособной технологии нецентрализованного производства и потребления водорода для энергообеспечения бытовых нужд и специальных малых производств.

Для получения водорода электролизом воды в расчете на 100 норм. м<sup>3</sup>/час H<sub>2</sub> требуемый расход воды составляет 78 л/час. Предполагается, что для целей проекта этот расход воды может быть обеспечен источниками как пресной, так и морской воды.

Стоит отметить, что подобные проекты, с использованием водорода в качестве промежуточного энергоносителя, ранее рассматривались ОАО «ГидроОГК» (ныне ОАО «РусГидро») совместно с ИЭС применительно к Тугурской ПЭС в Охотском море, где величина прилива достигает 5 м [1].



Несмотря на то что речная гидроэнергетика является наиболее развитой областью возобновляемой энергетики, в нее также приходят новые технологические решения. Они связаны с одним из наиболее интересных и перспективных направлений развития речной гидроэнергетики — строительством мини-ГЭС, микроГЭС и малых бесплотинных ГЭС (мощность их обычно менее 10 МВт). В отличие от других экологически безопасных ВИЭ малая гидроэнергетика практически не зависит от погодных условий и способна обеспечить устойчивую подачу дешевой электроэнергии потребителю. Еще одно ее преимущество — экономичность. В условиях когда углеводородные источники энергии истощаются и постоянно дорожают, использование дешевой, доступной, возобновляемой энергии рек, особенно малых, позволяет вырабатывать недорогую электроэнергию. К тому же сооружение объектов малой гидроэнергетики низкозатратно и быстрокупаемо.

*Преобразование тепловой энергии океана.* Последнее десятилетие характеризуется определенными успехами в использовании тепловой энергии океана. Согласно исследованиям Гавайского университета в Маноа, Подветренные Гавайские острова обладают значительным потенциалом для производства возобновляемой энергии за счет разницы в температуре поверхностных и глубинных вод океана. Технология преобразования термальной энергии океана (ПТЭО) подразумевает размещение теплового двигателя между потоками теплой воды на поверхности океана и холодной водой, поднимающейся из глубин. Так, на Гавайях созданы установки мини-ОТЕС (Ocean Thermal Energy Conversion), преобразующие тепловую энергию океана в электрическую. Установка мини-ОТЕС смогла отдать в электрическую сеть 12...15 кВт, а на собственные нужды потребила около 35 кВт. Опыт, полученный при разработке эксплуатации установок мини-ОТЕС, позволил приступить к проектированию тепловых океанских станций на сотни мегаватт. Сейчас разработки новой ОТЕС при финансовой поддержке правительства США ведет компания Lockheed Martin. Завод по преобразованию тепловой энергии океана в электрическую, производительность которого составит 10 МВт, должен появиться на Гавайях в 2012–2013 годах.

*Преобразование химической энергии воды.* Запасы энергии градиента солености, или осмоса, по некоторым оценкам, не уступают тепловой энергии океана. Осмотические электростанции наиболее актуальны в устьях больших рек, а около них, как правило, располагаются крупные города. Считается, что подобные станции наиболее перспективны для северных стран, таких как Россия, Канада и государства Скандинавии, при этом не стоит исключать самые южные части Африки и Америки. Глобальный потенциал осмотической энергии эксперты оценивают примерно в 1600...1700 ТВт·ч в год, что эквивалентно половине производимой в Европейском союзе электроэнергии.

Один из наиболее перспективных способов использования химической энергии молекул воды — электролиз. Электрический ток пропускается через воду, в результате чего происходит химический распад с освобождением водорода и кислорода.

Имеются в Мировом океане и другие химические источники энергии. Например, обсуждался вопрос об использовании сероводорода — горючего газа с довольно высокой калорийностью. Сероводородом богато Черное море, к тому же его количество там непрерывно растет. Есть сероводород и в других районах Мирового океана, общие запасы его очень велики (недостаток этого вида топлива — неприятный запах, но, возможно, будет найден способ его устранения).

*Преобразование энергии биоты и синтеза биомассы океана.* Важнейшим энергетическим ресурсом океана является биота (совокупность видов растений, животных и микроорганизмов, обитающих в Мировом океане), так как она дает до 10 % мирового потребления первичной энергии. Ожидается, что биота гидросферы будет играть такую же важную роль в будущем обеспечении энергией при выработке технологического тепла и производстве синтетических топлив. Синтетическое топливо из биомассы биоты можно сжигать на электростанциях, использовать на транспорте или в промышленности. Рассматривается возможность строительства водорослевых энергетических плантаций, для создания которых в океане имеются очень широкие возможности как на поверхности воды, та и на дне. Океаны и моря являются «биохимическими реак-

торами» нашей планеты, в которых за счет фотосинтеза идет непрерывное производство органического вещества. В пересчете на массу органического углерода производительность только фитопланктона составляет около 60 Гт/год. При этом интересно отметить, что интенсивность мировой добычи нефти составляет в настоящее время примерно 4 Гт/год, а газа — 2 Гт/год.

По некоторым оптимистическим оценкам [8], углеводородное топливо из водорослей может производиться по цене, меньшей мировой рыночной цены на него, при создании в океане обширных плантаций для культивирования этой растительности.

Более трети поверхности Мирового океана (130 млн км<sup>2</sup>) имеет дно с грунтом, пригодным для выращивания быстрорастущих водорослей, из которых можно легко получить горючие газы — метан и этан, широко используемые для самых разных целей.

Водоросли (прежде всего сине-зеленые) стали первыми организмами, у которых появилась в процессе эволюции способность осуществлять фотосинтез с использованием воды в качестве источника водорода и выделением свободного кислорода. Этот механизм преобразования солнечной энергии в биомассу унаследован и многоклеточными растениями. Таким образом, фотосинтез является основным источником первичной биологической энергии. Поэтому можно сказать, что энергия, преобразуемая в тепло при сжигании ископаемого топлива (уголь,

нефть, природный газ, торф), также является запасенной в процессе фотосинтеза.

Несмотря на успехи, достигнутые в производстве марикультур, до сих пор нет возобновляемых энерготехнологий, практически реализуемых в условиях открытого моря и прибрежных акваторий. Большое преимущество по сравнению с другими имеют микроводорослевые энергосистемы [21, 22, 23]. Они отличаются конкурентоспособностью по величине удельных затрат на единицу установленной мощности. Это достигается использованием искусственных водных плантаций с высокоурожайными водорослями и замкнутостью процесса преобразования солнечной энергии по питательным веществам, необходимым для выращивания водорослей и анаэробного сбраживания с получением биогаза. В настоящее время в России программы создания опытно-промышленных энергетических плантаций водорослевых систем морского базирования разрабатываются учеными географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова [21]. Для выращивания микроводорослей используются специальные морские фотоблоки, играющие решающую роль в процессе массового морского культивирования.

Принцип работы водорослевых энергосистем морского базирования основан на биоконверсии солнечной энергии (рис. 9). Биоконверсия энергии солнечного излучения заключается в преобразовании и аккумуляции этой энергии биомассой микроводорослей. Микроводоросли запасаются солнечной энергией в процессе выращивания в специальных резер-

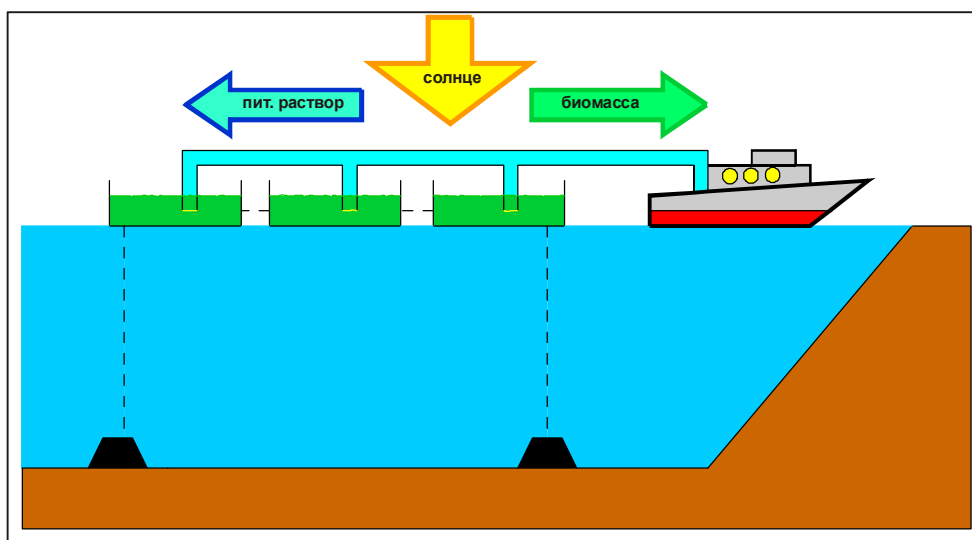


Рис. 9. Схема морской микроводорослевой энергоустановки [22]

вуарах на поверхности воды — плавающих фотоблоках. Из собранной биомассы энергоноситель в виде биогаза (метан) получается при ее микробиологическом перебраживании в анаэробных условиях. Брожение осуществляется в метантенках. Перебродившая масса обогащается в регенераторе углекислым газом и очищается, а питательный субстрат возвращается в фотоблоки.

В основу расчетов размеров и количества секции модуля системы были положены оценки оптимальной фильтрации энергии волн в кинетическую энергию движения микроводорослей в процессе фотосинтеза. Для производства 1 млн т у.т. в год водная водорослевая плантация должна иметь площадь, равную 70 км<sup>2</sup>. Оптимальный размер пилотного модуля составляет 1 км<sup>2</sup>.

Помимо замкнутого цикла работы преимуществом такой системы является то, что нет необходимости жесткого исполнения конструкции. Более того, для внутреннего перемешивания среды с водорослями требуется гибкость элементов фотоблока. Упругая конструкция, находящаяся в плавучем состоянии, не создает сопротивления для набегающей на нее волны. Она способна принимать любую форму, которая задается волновыми движениями. Каждый элемент такой системы совершает колебания, полностью повторяющие колебания частиц в волне.

*Преобразование энергии сырьевых ресурсов океана.* Мировой океан богат минерально-сырьевыми ресурсами, которые добываются с его дна. Наибольшее значение имеют нефть и газ, которые добывают с континентального шельфа. Они составляют по стоимости 90 % всех ресурсов, получаемых сегодня с морского дна. Морская добыча нефти в общем объеме составляет приблизительно одну треть. Еще одним богатством глубоководного ложа океана являются железомарганцевые конкреции, содержащие до 30 разных металлов. Они были обнаружены на дне Мирового океана еще в 70-х гг. XIX века. Наибольший объем железомарганцевые конкреции занимают в Тихом океане (16 млн км<sup>3</sup>). Первый опыт добычи конкреций предприняли США в районе Гавайских островов.

Перспективным источником газа в ближайшие 20 лет могут стать океанские месторождения газо-

вых гидратов. По некоторым оценкам, мировые запасы метана в газогидратах способны на несколько порядков превышать ресурсы всех разведанных на сегодня горючих ископаемых.

Гидротермальные источники срединно-океанических хребтов (сокращенно гидротермы) выбрасывают в океаны под высоким давлением в 250 атм высокоминерализованную горячую воду. На дне вокруг гидротерм обнаружены в больших количествах отложения окислов марганца и железа. Кроме того, потребляя различные неорганические вещества, в изобилии имеющиеся в гидротермах, живущие там бактерии производят многочисленные органические соединения в процессе хемосинтеза.

### Выводы

Энергетические возможности гидросферы нашей планеты играют все возрастающую роль в устойчивом развитии мировой экономики и энергетики. С развитием энергетики в значительной степени связаны и экологические проблемы. Эта триада — энергетика, экономика, экология — является одной из наиболее приоритетных в стратегии развития любой страны, определяющей качество жизни людей на многие годы вперед [24].

Анализ потенциала и инновационных направлений развития преобразования энергетических ресурсов гидросферы Земли, проведенный в настоящей публикации, позволяет выделить ряд требований и некоторые пути оптимизации их использования для эффективной трансформации энергии воды, среди которых:

**У** определение рациональных направлений энергетического прогресса в использовании ресурсов Мирового океана (разработка и использование инновационных технологий) на основе создания реалистичных экономических моделей развития рынка энергоресурсов гидросферы;

**У** приоритет применения новых естественных способов трансформации энергии гидросферы, характеризующихся преимущественным использованием природных процессов и материалов, потенциально доступных в качестве первичного ресурса получения энергии и не требующих применения сложных технических приспособлений;

Учет возможных ограничений на использование ресурсов гидросферы (экологических, экономических, политических, социальных и пр.);

Развитие национальной традиционной энергетики, скоординированное с развитием гидроэнергетики на всех уровнях;

Проведение энергосберегающих мероприятий в области потребления первичных невозобновляемых источников энергии гидросферы и в области использования выработанной энергии.

К наиболее перспективным направлениям получения возобновляемой энергии гидросферы на сегодняшний день можно отнести использование энергии волн (в т.ч. приливных), течений (в т.ч. речных), синтеза биомассы (микроводорослевые энергосистемы), а также энергоустановок, основанных на одновременном совместном использовании различных типов энергии гидросферы и других видов ВИЭ.

По прогнозу МЭА [25], данные направления применения морских энергетических технологий получат мощный импульс развития в ближайшие 10–15 лет.

На сегодняшний день практическое использование энергии гидросферы находится в основном в экспериментальной стадии и требует больших затрат. Анализ потенциала и новых технологий эффективного преобразования энергии гидросферы, рассмотренный в работе, дает основания полагать, что в ближайшем будущем доля энергии, получаемой за счет ресурсов Мирового океана, будет существенно возрастать. В конечном счете проблема заключается не в возможности извлечения из океана энергии в различных формах, а в экономической оправданности этого процесса. Поэтому при разработке новых технологий ее преобразования основное внимание следует сосредоточить на применении эффективных методов экономического прогнозирования ситуации на мировом рынке энергоресурсов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бушуев В.В. *Энергия — Вода — Эволюция*. М.: ИАЦ Энергия, 2008. 140 с.
2. Безруких П.П., Стребков Д.С. *Возобновляемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии*. М.: РАСХН, 2005.
3. *Энергетическая стратегия России на период до 2030 года*//Прил. к обществ.-дел. журн. «Энергетическая политика». М.: ИАЦ Энергия, 2010. 184 с.
4. Вертинский Н.В. *Энергия океана*. М.: Наука, 1986. 152 с.
5. Википедия [Электронный ресурс]. URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/World\\_energy\\_resources\\_and\\_consumption](http://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_resources_and_consumption) (дата обращения 3.08.2010 г.).
6. *Deciding The Future: Energy Policy Scenarios to 2050*. World Energy Council, 2007.
7. *Alternative Policy Scenario*, ИЕс Стратегии [Электронный ресурс]. URL: <http://www.energystrategy.ru/editions/EP.htm> (дата обращения 3.08.2010 г.).
8. Институт Энергетической Стратегии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.energystrategy.ru/editions/EP.htm> (дата обращения 3.08.2010).
9. Википедия [Электронный ресурс]. URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Мемп\\_водяного\\_столба](http://ru.wikipedia.org/wiki/Мемп_водяного_столба) (дата обращения 3.08.2010 г.).
10. *The Cost of Supplying Renewable Energy Volume 1 Final Report* Enviro Consulting Ltd London 2005 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.berr.gov.uk/files/file21118.pdf> (дата обращения 3.08.2010 г.).
11. *Renewables 2010 Global Status Report* [Электронный ресурс]. URL: <http://www.worldwatch.org/node/6481> (дата обращения 3.08.2010 г.).
12. Цисарь И.Ф. *Matlab Simulink. Компьютерное моделирование экономики*. М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. 256 с.
13. Мартино Д.П. *Технологическое прогнозирование*. М.: Прогресс, 1977. 592 с.
14. Да Роза А. *Возобновляемые источники*

энергии. Физико-технические основы: учебное пособие. М.: МЭИ, 2010. 704 с.

15. Fichaux N., Wilkes J. *Oceans of Opportunity Harnessing Europe's largest domestic energy resource* By the European Wind Energy Association, EWEA September, 2009. p. 69.

16. Данилов-Данильян В.И. *Водные ресурсы мира и перспективы водохозяйственного комплекса России*. М.: Типография ЛЕВКО, Институт устойчивого развития/Центр экологической политики России, 2009. 88 с.

17. «Стая» морских турбин будет собирать энергию Гольфстрима [Электронный ресурс]. URL: <http://energyland.info/news-show-tek-alternate-53959> (дата обращения 10.10.2010 г.).

18. *Swarms of marine turbines could «tap the Gulf Stream»* [Электронный ресурс]. URL: <http://www.bbc.co.uk/news/technology-10914462> (дата

обращения 10.10.2010 г.).

19. ГАЭС на энергии морских волн [Электронный ресурс]. URL: <http://aenergy.ru/872> (дата обращения 10.10.2010 г.).

20. Усачев И.Н., Шполянский Ю.Б., Историк Б.Л. и др. *Приливные электростанции (ПЭС) — источник энергии, запаасаемый в водороде*//2-й Международный форум «Водородные технологии для развивающегося мира». Тезисы докладов. 2008.

21. Соловьев А.А. и др. *Водорослевая энергетика*. М.: МГУ, 1997. 64 с.

22. Соловьев А.А. *Инновации в возобновляемой энергетике*//Вестник РАН, 2009. № 2. С. 223–230.

23. Алексеев В.В. *Биосоляр*. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. 88 с.

24. Бушуев В.В. *Энергия российского Экоза (энергетика — экономика — экология)*. Ч. 1: Энергия и энергетика. М.: ИАЦ Энергия, 2003.

25. *Energy Technology Perspectives 2010* [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iea.org/technology/index.asp> (дата обращения 10.10.2010 г.).

Поступила в редакцию  
25.11.2010г.

**D.A. Solovyev<sup>2</sup>**

### **ENERGY OF THE HYDROSPHERE: RESOURCE POTENTIAL, MARKET, NEW TECHNOLOGIES**

This article contains a description of the problems and the ways to use the energy potential of Earth's hydrosphere. In this article considered the economic model of the hydrosphere energy resources market. Also it analyzed the advanced technologies of energy conversion of the hydrosphere.

Key words: energy, water, renewable energy, hydrosphere, oceans, energy resources, energy market, new technologies.

---

<sup>2</sup> Solovyev Dmitriy Alexandrovich — P.P.Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, gesearch officer, Phd of Physics and Matematics, e-mail: [solovev@sail.msk.ru](mailto:solovev@sail.msk.ru).