

УДК 539.26:54-14

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НАУКИ О ВОДЕ. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Шишелова Т.И., Толстой М.Ю.

*Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск,  
e-mail: tamara.shishelova@gmail.com*

Изучению свойств воды посвящены тысячи работ, как теоретиков, так и экспериментаторов. Но все они разрознены, не скоординированы. Проблема воды – исключительно важная фундаментальная проблема XXI века, которая должна решаться широким кругом специалистов. Все исследования, касающиеся воды, должны координироваться из одного центра, и такого центра сегодня нет. Отставание в изучении фундаментальных проблем воды тормозит развитие всех естественных наук. Существует много важных и острых вопросов, но проблема чистой воды является самой острой проблемой в мире. Больше 3-х миллиардов человек в мире страдают от недостатка воды. Проблема сохранения водных ресурсов и бережного отношения к ним – важная, острая и наболевшая проблема. Проблема воды – это проблема ее очистки и опреснения. Решение этой проблемы будет также способствовать сохранению мирового баланса пресной воды. Снабжение населения качественной питьевой водой касается здоровья людей. Мы должны до конца познать роль воды, чтобы правильно ее использовать. Поэтому одной из проблем воды является проблема изучения структуры воды. Изучение структуры воды обеспечит новый научный прорыв в фундаментальном естествознании.

**Ключевые слова:** вода, структура, очистка, питьевая вода, проблема воды.

## CURRENT STATE OF WATER SCIENCES. PROBLEMS AND PROSPECTS

Shishelova T.I., Tolstoy M.Yu.

*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk,  
e-mail: tamara.shishelova@gmail.com*

The study of the properties of water devoted thousands of jobs, both theoreticians and experimentalists. But they are scattered, uncoordinated. The problem of water – is an extremely important fundamental problem of the XXI century, which needs to be addressed is to solve a wide range of specialists. All research for water should be coordinated from a single center, and today there is no such center. The lag in the study of the fundamental problems of water hinders the development of natural sciences. There are many important and pressing issues, but the problem of clean water is the most urgent problem in the world. More than 3 billion people in the world suffer from lack of water. The problem of water conservation and respect for them – is an important, urgent and sore problem. The problem of water – it is a problem of its purification and desalination. Solving this problem will also help to maintain the global balance of freshwater. The supply of quality drinking water is a human health. We need to know the entire role of water in order to use it correctly. One of the problems of water is the problem of studying the structure of water. The study of the structure of water provides a new breakthrough in the fundamental science.

**Keywords:** water, structure, purification, potable water, the water problem.

### Введение

«Вода стратегический продукт, – так отозвался о воде полномочный представитель Президента РФ А.В. Квашнин, – и, конечно, с водой связаны фундаментальные научные проблемы, которые в полной мере ещё не сформулированы, но они есть и их надо будет решать». Да, водой занимаются давно, нет ни одной отрасли, ни одного предприятия, которого бы не касалась вода. Казалось, что про воду мы знаем всё, но чем больше мы её изучаем, тем больше открываем аномальные, интересные факты, которые ждут своего объяснения. И хотя в настоящее время учёные большое внимание уделяют нанотехнологиям, и особо ценятся научные исследования в области нанотехнологии или наноразмерных состояний, но в самое ближайшее время будет особо цениться водные технологии.

Можно сказать, что вода в тонких плёнках – это нанообъект. Именно в тонких плёнках воды почти в наноразмерном измерении проявляется большинство аномальных свойств. И вполне возможно, что при изучении её в таком состоянии мы можем узнать о воде гораздо больше.

Занимаясь нанотехнологиями, нанообъектами, мы обязательно коснёмся наноразмерного состояния воды. А отсюда именно это приведёт к принципиально новым водным технологиям. Вода создала жизнь – познав этот механизм можно его использовать на благо человека.

Ещё совсем недавно многие скептически относились к вопросам структуры воды. Сейчас уже почти все согласны с тем, что вода имеет структуру. Поэтому одной из проблем воды является проблема изучения структуры воды.

В настоящее время не существует прямых методов, позволяющих исследовать структуру воды, а известные физические методы недостаточны, чтобы расшифровать эту структуру, но всё совершенствуется, и методы тоже. Вполне возможно, в ближайшее время сформируется метод исследования, который поможет решить эту проблему.

Именно структурные исследования воды могут позволить раскрыть тайны воды. Да мы знаем состав воды, группировки воды, но мы мало знаем о свойствах связанной воды, так как в этом случае она всегда разная, по-разному она связывается с объектами, с которыми она соприкасается. Многообразие окружающего мира определяется разнообразием структуры воды.

По выражению А.В. Квашнина «Изучение структуры воды обеспечит новый научный прорыв в фундаментальном естествознании». Это, пожалуй, самая важная проблема и перспективное направление в науке о воде.

В ИрГТУ совместно с Российской академией естествознания ежегодно проходит региональная конференция «Вода и жизнь». В формате живого диалога на этих конференциях, с широким участием ученых, студентов, школьников обсуждаются основные свойства и парадоксы воды, современные технологии экономии, хранения и очистки воды, вопросы структуры воды, значимость и многообразие водных ресурсов Иркутского региона и необходимость бережного отношения к ним. Много внимания уделяется экологическому состоянию водных объектов России, качеству и санитарным гигиеническим характеристикам питьевой воды, проблемам опреснения, роли воды в жизнеобеспечении биологических систем, воды в живых организмах и минералах.

Изучению свойств воды посвящены тысячи работ, как теоретиков, так и экспериментаторов. Но все они разрознены, не скорректированы. Проблема воды – исключительно важная фундаментальная проблема XXI века, которая должна решаться широким кругом специалистов. «Все исследования, касающиеся воды, должны координироваться из одного центра, и такого центра на сегодня нет». «Отставание в изучении фундаментальных проблем воды тормозит развитие всех естественных наук, наука должна повернуться лицом к воде».

Вода была и остается самым необычным веществом в мире. Обыкновенной

воды в мире нет. Она всегда и всюду необыкновенная и всегда разная. За счет водородной связи каждая молекула воды связана довольно хорошо с четырьмя соседними молекулами. Взаимное приближение между молекулами уменьшает размер сложной молекулы воды. Такое необычное молекулярное строение воды обуславливается ее необычные свойства.

Уже много лет вода-объект особого внимания исследователей. Изучают воду пресную, соленую, замороженную, воду намагниченную. И чем больше ее изучают, тем больше накапливается поразительных и непонятных фактов, которые ждут своего объяснения.

### Вода – драгоценный дар природы

Вода – драгоценный дар природы, обеспечивающий жизнь на Земле. Естественное распределение её запасов не очень удобно для человека; большую часть водной массы составляют солёные моря и океаны. Пресная вода доступна нам далеко не вся: значительная её часть «законсервирована» в виде льда или тает глубоко под землёй. Лишь доли процента земных ресурсов пресных вод имеются в нашем распоряжении. Положение осложняется тем, что всё больше растёт потребность в воде и всё больше её расходуется. В 1900 году потребление воды в мире составляло 400 км<sup>3</sup>. По прогнозам на 2020 год потребление воды достигнет 7500 км<sup>3</sup> (рис. 1). Сегодня мы явно ощущаем исчерпаемость водных запасов.

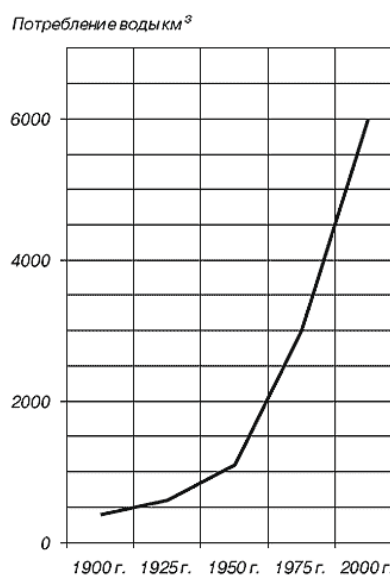


Рис. 1. Потребление пресной воды в мире

В настоящее время подсчёт количества воды на Земле выполнен со всей точностью, доступной современной науке. Эту работу учёные проделали в рамках программы Международного гидрологического десятилетия 1964–1974 гг. Результаты этой работы опубликованы в многотомном труде «Мировые водные ресурсы и водный баланс земного шара».

Установлено, что гидросфера – океаны, моря, реки, озёра, болота, атмосферная влага – измеряется внушительной величиной –  $1,385 \times 10^9$  км<sup>3</sup> воды, или  $1,4 \times 10^{19}$  т. Три четверти поверхности планеты покрыто водой. Если распределить всю воду равномерно по поверхности земного шара, средний радиус которого 6370 км, получится плёнка толщиной менее 3 км. Основную часть водного потенциала составляет вода: 97,75% или  $1,338 \times 10^9$  км<sup>3</sup>, – это солёные воды океанов и морей, остальные 2,25% – пресные воды, однако, половина их –  $24 \times 10^6$  км<sup>3</sup> – «консервирована» в виде ледяных гигантских шапок Антарктиды, Арктики и других высоких гор.

Содержание воды в атмосфере невелико – около 0,001% всей её массы на нашей планете. Вода в атмосфере находится во всех трёх агрегатных состояниях – газообразном (водяной пар), жидком (капли дождя) и твёрдом (кристаллики снега и льда). Полное обновление состава воды в атмосфере происходит за 9–10 дней. Таким образом, атмосферная влага является самым активным звеном круговорота воды в природе.

При кажущейся лёгкости и воздушности облака содержат значительное количество воды. Водность облаков, то есть содержание воды в 1 м<sup>3</sup>, колеблется от 10 до 0,1 г и менее. Поскольку объёмы облаков очень велики (десятки кубических километров), то даже одно облако может содержать в виде капель или кристалликов льда сотни тонн воды. Эти гигантские водные массы непрерывно переносятся воздушными потоками над поверхностью Земли, вызывая на ней перераспределение воды и тепла.

В среднем на поверхность Земли в течение года выпадает слой осадков толщиной 1 м, но реальные их количества весьма не одинаковы для разных областей земного шара. В некоторых районах Индии или на Гавайских островах годовой уровень осадков превышает 12 000 мм, в среднеазиатских пустынях или на северо-востоке Сибири он едва достигает 200 мм.

По континентам ресурсы речных вод распределены неравномерно: в Европе и Азии, где проживает 70% населения мира, сосредоточено лишь 39% мировых запасов речных вод. Распределение рек на территории нашей страны крайне неравномерное. Наиболее обеспечены водными ресурсами северные и северо-восточные районы России.

Большая часть запасов пресных вод сосредоточена в озёрах. В целом на нашей планете запасы пресных озёрных вод оценивают в 176 000 км<sup>3</sup>. Самое глубокое озеро на планете – Байкал (1 620 м), затем африканское озеро Танганьика (1 470 м).

Значительная часть воды на нашей планете скрыта под её поверхностью. В верхней пятикилометровой толще земной коры на континентах содержится  $84,4 \times 10^6$  км<sup>3</sup> воды. Из них  $60 \times 10^6$  км<sup>3</sup> составляет свободная вода. Во всей земной коре содержится около  $1,5 \times 10^9$  км<sup>3</sup> воды, что соизмеримо с объёмом Мирового океана.

Под обширными пространствами верхних пластов суши распространены подземные льды. Их общая масса оценивается величиной в 500 000 км<sup>3</sup>. Мощность ледяного слоя может достигать 50 м. К сожалению, всего 0,025% пресных вод находятся в жидком состоянии и в доступных для человека сферах, и, конечно, все эти запасы расходуются. Но как пополнить резервы пресной воды? Опреснение воды требует огромных затрат. XXI век связан с интенсивным развитием промышленности, ростом населения планеты, поэтому трудности в снабжении пресной водой неизбежно увеличиваются. Для предотвращения водного кризиса потребуются объединённые усилия многих стран по разработке долгосрочных проектов обеспечения каждого жителя планеты чистой водой в нужных, но оптимальных количествах.

Директор института водных проблем Данилов-Данильян В.Н. рассмотрел проблему пресной воды в мире в связи с надвигающимся глобальным водным кризисом. Суть вопроса, на котором он остановился, заключается в том, какую роль может сыграть Россия в этой проблеме. Он отмечает, что за прошлое столетие глобальное потребление пресной воды – восходящая кривая. Вода потреблялась даже быстрее, чем можно было ожидать. Нисходящая кривая представляет объём экономически доступных водных ресурсов, то есть ту часть запаса пресных вод, которую можно изъять при со-

блюдении технических и экологических ограничений. Эта кривая, к сожалению, опускается.

Дело в том, что человек превысил все допустимые пределы воздействия на окружающую среду, в том числе на природные процессы возобновления водных ресурсов.

Как видно на рис. 2, пересечение восходящих кривых прогноза роста водопотребления и падающей кривой, сокращающихся экономически допущенных ресурсов происходит в интервале от 2025 до 2035-2040 гг.



Рис. 2. Прогнозы роста глобального водопотребления

Сейчас, по данным ООН, более 1 млрд. 100 млн. человек постоянно живут в условиях водного кризиса, то есть постоянного острого дефицита пресной воды, и примерно ещё 1 млрд. — в условиях водного стресса, когда такой дефицит возникает достаточно регулярно (например, в сухой сезон).

Все страны резко различаются по водообеспеченности. Так, например, Россия располагает большими запасами подземных вод, их потенциальный ресурс оценивается в 230 км<sup>3</sup> в год, из которых 60% приходится на Европейскую часть РФ. Утвержденные эксплуатационные запасы подземной пресной воды составляют 22 км<sup>3</sup> в год. На каждого жителя Российской Федерации в год приходится в среднем 30 тыс. м<sup>3</sup> суммарного речного стока, 530 м<sup>3</sup> суммарного водозабора и 90–95 м<sup>3</sup> воды бытового водоснабжения (то есть по 250 л в сутки). В крупных городах удельное водопотребление составляет 320 л в сутки, в Москве — 400 л в сутки. Средняя водообеспеченность населения у нас одна из самых высоких в мире. Для сравнения: США — 320, Великобритания — 170, Япония — 125, Индия — 65, Ирак — 16 л в сутки. Однако по сравнению со многими другими странами пресная вода у нас расходуется крайне неэкономно. Россия занимает второе место в мире по валовым запасам водных ресурсов. Первое место принадлежит Бразилии с рекой Амазонкой, ко-

торая по годовому стоку, по крайней мере, в семь раз превышает каждую из группы следующих за ней крупнейших рек мира.

Человек отбирает из самых разнообразных источников почти 5 000 км<sup>3</sup> воды. Чтобы учесть количество воды, фактически эксплуатируемой человеком, к этим 5 000 км<sup>3</sup> надо добавить ещё 12–17 (по разным оценкам). Между тем общее количество экономически доступных ресурсов пресной воды лежит в интервале 22–35 тыс. км<sup>3</sup>.

Для выплавки 1 т чугуна и перевода его в сталепрокат необходимо 50–250 м<sup>3</sup> воды. Производство 1 т азотной кислоты требует 80–180 м<sup>3</sup> пресной воды, хлопчатобумажной ткани — 300–1100 м<sup>3</sup>, синтетического волокна — 1000 м<sup>3</sup>, целлюлозы — 200–400 м<sup>3</sup>, резины — 2500 м<sup>3</sup>, синтетических тканей — 2000–3000 м<sup>3</sup>. Огромные объёмы воды потребляют энергетические установки для охлаждения энергоблоков, причём значительная её часть уходит в безвозвратные потери. Так, для работы ТЭС мощностью 1 млн. кВт необходимо 1–1,6 км<sup>3</sup> воды в год, а для работы АЭС той же мощности — от 1,6 до 3 км<sup>3</sup>. Нижние границы этих интервалов соответствуют самому передовому техническому уровню. Для выращивания 1 т пшеницы, продаваемой на мировом рынке, требуется в среднем 1000 м<sup>3</sup> воды.

Вывод: вода на мировом рынке скоро станет товаром, который по объёмам продаж будет вполне сопоставим с нефтью. [11]

Рис. 3. иллюстрирует рост водопотребления на душу населения в бытовых целях за последние 2000 лет.

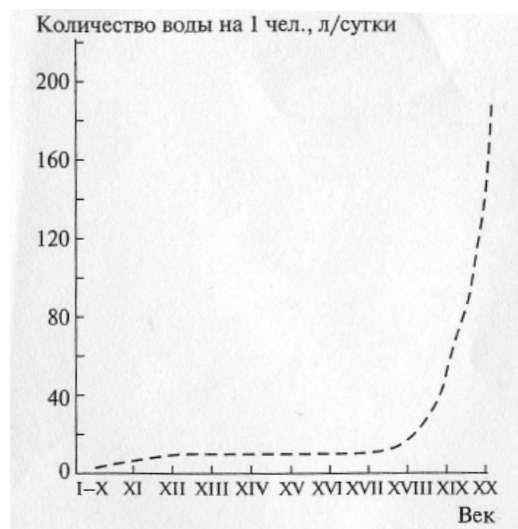


Рис. 3. Рост потребления воды для бытовых нужд на душу населения



Воду мы практически не продаём, а для внутренних целей наше хозяйство использует 62,5 км<sup>3</sup> воды в год – это 62,5 млрд. т, то есть в 180 раз больше, чем добыча нефти для внутренних нужд и экспорта. На мировом рынке будет расти производство и продажа водосберегающих и водоэффективных технологий, которые позволяют лучше использовать имеющуюся воду, будут развиваться водоохраные технологии.

Сейчас в России и во всем мире используются, прежде всего, поверхностные и подземные воды. Поверхностные источники плохо защищены. Это может дать существенную модификацию оценок будущего расхода, потому что вода никуда не исчезает, просто она из чистой превращается в грязную, из пресной – в солёную, а за счет технологии, в том числе и технологии очистки, можно многое выиграть.

С проблемой дефицита воды в мировой экономике удастся справиться не за 15–20 лет, на это уйдут, наверное, две трети текущего столетия. Для того, чтобы она не стала для нас угрожающей, а, наоборот, определила новый источник благосостояния для страны, надо со всем вниманием и ответственностью относиться к ней.

Ученые подсчитали, что 97,5% всех запасов воды на планете Земля приходится на солёные воды морей и океанов. Иными словами, пресная вода составляет только 2,5% мировых запасов. Если учесть, что 75% пресной воды «заморожено» в горных ледниках и полярных шапках, еще 24% находится под землей в виде грунтовых вод, а еще 0,5% «рассредоточено» в почве в виде влаги, то получается, что на наиболее доступный и дешёвый источники воды – реки, озера и прочие наземные водоёмы приходится чуть больше 0,01% мировых запасов воды.

Принимая во внимание то значение, которое вода имеет для жизнедеятельности человека и всего живого на Земле, приведенные цифры наглядно подтверждают сакраментальный тезис о том, что вода – одно из самых драгоценных сокровищ нашей планеты.

Одно из сокровищ нашей планеты является озеро Байкал. Ученые постоянно будут ломать головы над удивительной загадкой – минимальной минерализацией его воды, ее абсолютной прозрачностью (белый диск виден на глубине более 40 метров), его уникальной способностью к самоочищению. Байкал одно из древнейших озер и самое

крупное хранилище пресной воды на планете. Байкал не только огромный резервуар, но и фабрика по подготовке чистой воды. Ежегодно в Байкале формируется 60 км<sup>3</sup> превосходной по качеству пресной воды.

Считанные годы, по мнению авторитетных учёных, остались до момента, когда «чёрное золото» окажется на задворках мирового рынка, а королевой его станет обычная пресная вода. От нехватки влаги будут страдать 40% населения планеты. К чему это приведёт? С ростом населения, которое будет увеличиваться ещё около полвека, будет и возрастать потребность пресной воды. А объём экономически доступной воды, наоборот, сокращаться, половина населения планеты в будущем окажется в таких условиях, когда воды не будет хватать для удовлетворения элементарных потребностей. Загрязнения водоёмов и массовые нарушения экологических норм на водозаборах могут ускорить убийственный процесс сокращения водных запасов.

Если вооруженные конфликты нынешнего столетия нередко возникали из-за нефти, то кровавые конфликты будущего века будут вспыхивать из-за воды». Эти слова принадлежат Исмаилу Серагельдину, финансирующему проекты, связанные с защитой окружающей среды. Не будем с ним спорить, однако его слова наводят на размышления относительно значения и роли воды в жизни, как отдельного человека, так и целых стран и народов. Там, где вода, там и жизнь – эта простая истина, рожденная на Востоке, стала часто употребляемой фразой, точно отражающей взаимосвязь между водой и жизнью. На Востоке всегда ценили и ценят воду. Недаром о ней говорят: «Земля – казна, вода – золото».

В этой связи невольно напрашиваются вопросы: а много ли воды на нашей планете, хватает ли ее вдоволь для нужд человека и порожденной им цивилизации? Ответ на эти вопросы можно найти в обзоре экспертов-экологов. В нем отмечается, что большая часть водных ресурсов нашей планеты содержат соль, и в таком виде непригодна для употребления человеком. Остающиеся проценты приходятся на пресную воду, которая используется человеком для питания, удовлетворения потребностей сельского хозяйства, промышленности и других целей. Но доступ к этим ресурсам пресной воды осложнен из-за их нахождения в труднодоступных природных средах.

Эти факты ярко показывают нам, сколь ценной является пресная вода и как бережно следует к ней относиться. Уместно подчеркнуть, что имеющиеся на Земле запасы пресной воды являются более или менее постоянной величиной и не имеют тенденции к самопроизвольному увеличению.

А между тем человечество с каждым годом потребляет все больше и больше поистине бесценной влаги. Ученые-экологи подсчитали, что в 1995 году земляне «выпили» 2300 кубических километров пресной воды. Большая часть этого объема была использована на нужды сельского хозяйства и промышленности. На долю земледелия приходится ныне в пять раз больше воды, чем в начале века. Промышленность же расходует ее в 26 раз, а муниципальные объекты в 18 раз больше, чем на заре столетия.

Ледники также служат «кладовыми» пресной воды, в которых сосредоточено почти 69% мировых запасов резервной пресной воды. Таяние ледников формирует значительную часть речного стока в горных районах, особенно летом, когда вода нужнее всего для орошения сельскохозяйственных культур. Например, в Средней Азии, где ледники занимают всего 5% площади, их доля в речном стоке составляет за год 20%, а летом – 50%.

#### Физические свойства

Физические свойства в полной мере изложены во многих работах [1-4, 7-9]. Вода ( $H_2O$ ) – простейшее устойчивое химическое соединение (рис. 4) водорода с кислородом, бесцветная жидкость с температурой кипения  $100^\circ C$ . Химическая формула воды такая простая:  $H_2O$ ;  $H-O-H$ . Размер одной молекулы воды составляет около  $3 \text{ \AA}$  (ангстрем) или примерно  $0,28 \text{ нм}$  (нанометра).

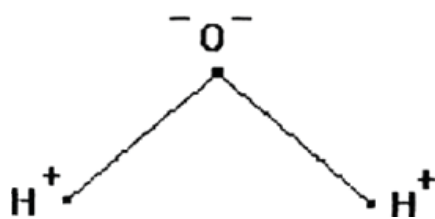


Рис. 4. Схема строения

Во льду все молекулы связаны между собой водородными связями. При этом четыре связи каждой молекулы локально организованы в тетраэдрическую структуру, четыре близлежащие молекулы располага-

ются в вершинах трехгранной пирамиды, в центре которой находится пятая молекула воды (рис. 5).

Положительно заряженное ядро атома кислорода, ввиду своей большой массы и заряда, сильнее притягивает к себе электронное облачко, оголяя при этом ядра водорода.



Рис. 5. Тетраэдрическая структура молекулы воды

Три ядра в молекуле воды образуют равнобедренный треугольник с двумя протонами водорода в основании и кислородом в вершине. Расстояние  $O-H$   $0,9568 \text{ \AA}$  ( $0,1 \text{ нм}$ );  $H-H$   $1,54 \text{ \AA}$  ( $0,15 \text{ нм}$ ). Модель молекулы воды, предложенная Нильсом Бором [9], показана на рис. 6.

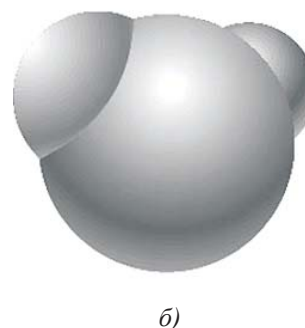
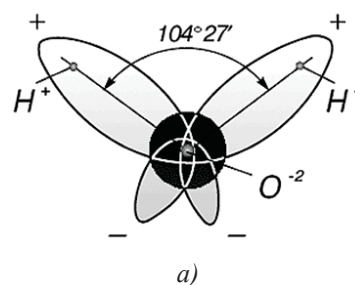


Рис. 6. Строение молекулы воды, предложенное Н. Бором [6]:  
а – угол между связями  $H-H$ ;  
б – внешний вид электронного облака молекулы воды

Свойства воды в основном зависят от водородных связей. Из-за большой разности электроотрицательности атомов водорода и кислорода электронные облака сильно смещены в сторону кислорода. По причине этого, а также того, что ион водорода не имеет внутренних электронных слоев и обладает малыми размерами, он может проникать в электронную оболочку отрицательно поляризованного атома соседней молекулы. Благодаря этому каждый атом кислорода притягивается к атомам водорода других молекул и наоборот.

Каждая молекула воды может участвовать максимум в четырех водородных связях: два атома водорода – каждый в одной, а атом кислорода – в двух; в таком состоянии молекулы находятся в кристалле льда. При таянии льда часть связей рвется, что позволяет уложить молекулы воды плотнее; при нагревании воды связи продолжают рваться, и плотность ее растет, но при температуре выше  $4^{\circ}\text{C}$  этот эффект становится слабее. При испарении рвутся все оставшиеся связи. Разрыв связей требует много энергии, отсюда высокая температура и удельная теплота плавления и кипения и высокая теплоемкость. Вязкость воды обусловлена тем, что водородные связи мешают молекулам воды двигаться с разными скоростями. Строение электронного облака молекулы воды таково, что во льду каждая молекула связана четырьмя водородными связями с ближайшими к ней молекулами, координационное число молекул в структуре льда равно четырем. О размере молекулы можно судить по величине расстояния между ближайшими молекулами во льду, составляющего  $2,67 \text{ \AA}$  ( $0,267 \text{ нм}$ ). Соответственно молекуле воды можно приписать радиус равный  $1,38 \text{ \AA}$  ( $0,138 \text{ нм}$ ). Дипольный момент воды равен  $1,87$  Дебая. Электрический дипольный момент – векторная физическая величина, характеризующая, наряду с суммарным зарядом электрические свойства системы заряженных частиц (распределения зарядов) в смысле создаваемого ею поля и действия на нее внешних полей.

Исследования показали, что в воде сохраняется ближняя упорядоченность, свойственная структуре льда. Следовательно, тенденция каждой молекулы воды к окружению четырьмя ближайшими молекулами и к образованию с ними водородных связей свойственна как жидкому, так и твердому состоянию. Расстояние между ближайшими

молекулами при плавлении льда изменяется от  $2,76 \text{ \AA}$  ( $0,276 \text{ нм}$ ) до  $2,90 \text{ \AA}$  ( $0,29 \text{ нм}$ ). Свойственное среднее расположение ближайших молекул ведет к очень рыхлой, ажурной структуре. Именно с этим связаны аномальные свойства воды.

Почти шарообразная молекула воды имеет заметно выраженную полярность, так как электрические заряды в ней расположены асимметрично. Каждая молекула является миниатюрным диполем с высоким дипольным моментом.

Полярность молекул, наличие в них частично некомпенсированных электрических зарядов создает группировки молекул – ассоциаты. Полностью соответствует формуле  $\text{H}_2\text{O}$  лишь вода, находящаяся в парообразном состоянии. В температурном интервале от  $0$  до  $100^{\circ}\text{C}$  концентрация отдельных (мономерных молекул) жидкой воды не превышает  $1\%$ . Все остальные молекулы воды объединены в ассоциаты различной степени сложности, и их состав описывается общей формулой  $[\text{H}_2\text{O}]_X$ . Причиной образования ассоциатов являются водородные связи. Они возникают между ядрами водорода одних молекул и электронными «сгущениями» у ядер кислорода других молекул воды.

#### Аномальные свойства воды

Вода аномальна в отношении многих физических свойств. В отличие от большинства жидкостей с ростом температуры объем воды уменьшается, плотность увеличивается, достигая минимума объема (соответственно максимума плотности) при  $4^{\circ}\text{C}$ , удельный объем воды с ростом температуры повышается. При замерзании объем уменьшается примерно на  $10\%$ . Теплоемкость воды аномально велика. При плавлении льда теплоемкость увеличивается больше, чем вдвое. Обычно у твердых тел при плавлении она изменяется незначительно. Вязкость воды с ростом температуры уменьшается, электропроводность воды сильно зависит от примесей. Диэлектрическая проницаемость воды –  $81$  при  $20^{\circ}\text{C}$ , показатель преломления –  $1,33$ . Аномальна вода также в отношении скорости распространения звука и ряде других свойств. Аномальные свойства воды связаны с особенностью строения ее молекул и структуры в различных агрегатных состояниях.

Даже после кратковременного воздействия магнитных полей увеличивается ско-

рость химических процессов и кристаллизации растворенных веществ, интенсифицируются процессы адсорбции, улучшается коагуляция примесей и выпадение их в осадок. Воздействие магнитного поля на воду сказывается на поведении находящихся в ней примесей, хотя сущность этих явлений пока точно не выяснена. Существует несколько гипотез о намагничивании воды, например, магнитное поле может привести к деформации водородных связей или перераспределению молекул воды в ассоциативных образованиях, что влияет на изменение физико-химических характеристик, протекающих в ней процессов.

Сибирскими учеными, Ф.А. Летниковым и Т.В. Кашеевой [12], открыто явление, когда обессоленная вода вследствие нагревания ее до высоких температур под большим давлением изменяет свои свойства. Удельная электропроводность активированной обессоленной воды в 10–20 раз выше, чем не активированной. Получена так называемая скользкая вода. Обычная вода превращается в скользкую при введении в нее небольшого количества полимерных соединений. Скорость ее течения увеличивается в 2,5 раза, она быстро заполняет любую емкость. Причиной такой перемены служат, очевидно, особенности взаимодействия полимерных добавок и молекул воды. Между ними легко возникают водородные связи, определенным образом ориентированные по оси потока жидкости, влияющие на ее структуру.

Вода остается одним из самых загадочных и удивительных веществ на Земле. Ее уникальность проявляется уже в том, что это единственное вещество на планете, которое встречается во всех трех агрегатных состояниях – твердом, жидком и газообразном – в естественных условиях.[23]

Вода при охлаждении ниже +4°C не сжимается, а расширяется.

Вода в твердом состоянии не тяжелее, чем в жидком, как все тела, а наоборот – легче.

Никакие другие газы, кроме кислорода и водорода, не образуют жидкость при смешивании друг с другом.

Вода обладает своей собственной энергетикой, которая представляется одной из загадок, исследуемых наукой [2,3,28].

Среди всех веществ, имеющих на Земле, вода, благодаря своеобразию своих физических и химических свойств, зани-

мает исключительное положение в природе и играет особую роль в жизни человека. Основное назначение воды – быть основой биологической жизни во Вселенной. Именно вода лежит в основе всех процессов в растительном и животном мире нашей планеты.

Ученые, занимающиеся изучением воды, обнаружили, что при определенных условиях молекулы воды могут собираться в стабильные образования, напоминающие кристаллы.

Установлено [2,8,9], что водная среда представляет собой многоуровневый, иерархически организованный жидкий кристалл, в основе которого лежит кластер, кристаллоподобный «квант воды», состоящий из 57 и более ее молекул.

Вода, которая состоит из упорядоченных жидких кристаллов с величиной угла Н–О–Н приближающейся к 109°, называется структурированной.

Молекулы воды отличаются друг от друга по своему изотопному составу. В настоящее время известны 5 различных изотопов водорода. Из них только два являются стабильными: самый легкий протий – с атомной массой 1, его обозначают символом 1H – состоит из 1 протона и 1 электрона, и тяжелый водород, или дейтерий с атомной массой 2, его обозначают символом 2D – состоит из 1 протона, 1 нейтрона и 1 электрона. Третий сверхтяжелый водород (с атомной массой 3) соответственно состоит из 1 протона, 2-х нейтронов и 1 электрона. Тритий радиоактивен, его период полураспада около 12,3 лет. Время жизни остальных изотопов не превышает нескольких секунд [33].

У кислорода обнаружены шесть изотопов: O14, O15, O16, O17, O18 и O19. Три из них: O16, O17 и O18 – стабильные, а O14, O15 и O19 являются радиоактивными изотопами. Стабильные изотопы кислорода содержатся во всех природных водах: их соотношение таково: на 10000 частей O16 приходится 4 части O17 и 20 частей O18.

Вероятность образования молекул с разным изотопным составом не одинакова. Самой распространенной является молекула с наименьшей массой, состоящая из водорода – 1 (протия) и кислорода – 16. Содержание других более тяжелых молекул в природе не превышает 0,23% [10], содержание изотопных модификаций воды в природе представлено в табл. 1.



Таблица 1  
Содержание изотопных модификаций воды  
в природе

Молекулы воды	Содержание, %
H <sub>2</sub> 18O	0,205
HD16O	0,015
HD18O	$6 \cdot 10^{-5}$
HD17O	$1 \cdot 10^{-6}$
D <sub>2</sub> 16O	$3 \cdot 10^{-6}$
D <sub>2</sub> 18O	$9 \cdot 10^{-9}$
D <sub>2</sub> 17O	$1 \cdot 10^{-9}$

Тяжелая вода – это вода, в которой протий полностью замещен на дейтерий и представлена формулой D<sub>2</sub>O. Изотопный состав по кислороду в этой воде соответствует обычно составу кислорода воздуха. Плотность тяжелой воды 1104 кг/м<sup>3</sup>. Тяжелая вода кипит при более высокой и замерзает при более низкой температуре, чем легкая.

### Структура воды

Жидкая вода имеет очень сложную структуру, и многие ее особенности до сих пор не нашли четкого объяснения. Для воды характерна ярко выраженная способность к самоорганизации вследствие образования водородных связей [27-29].

Первичными структурами могут являться димеры, тримеры, ..., полимеры, из которых в дальнейшем образуются циклические структуры в основном пяти- и шестичленные, которые далее формируют различные пространственные многогранники. Наиболее привлекательными являются многогранники, имеющие ось симметрии пятого порядка (додекаэдр и икосаэдр), так как это объясняет многие свойства воды, например, ее текучесть, способность образовывать газовые гидраты и др. Из этих структурных элементов в дальнейшем могут образовываться длинные цепи и пространственные структуры, заполняющие весь объем. Структура жидкой воды была предметом обширных исследований [2, 14-16, 30-34].

Предложенные различные теории и структурные модели воды обладают тем недостатком, что, с одной стороны, удовлетворительно объясняют только часть наблюдаемых явлений, с другой, – часто противоречат одна другой. Имеющихся в настоящее время экспериментальных данных недостаточно, чтобы разрешить эти противоречия. Применявшиеся ранее теоретические и экс-

периментальные методы исследования не позволяют детально выяснить сложную структуру воды. Изучение структуры воды породило множество концепций, для большинства которых признаются наличие упорядоченных доменов в воде. Эти теории (структурных дефектов Самойлова, структур Бернара-Фалуера, «гидратов» Полинга, мерцающих кластеров Франка и Вена и многие другие) интенсивно обсуждались в целом ряде монографий.

Методы рассеяния рентгеновского излучения или нейтронов не подтверждают образования в воде упорядоченных структур с размерами больше десятков ангстрем, что не согласуется с данными по гистерезисным температурным аномалиям показателя преломления воды или аномальным рассеянием света в водных растворах органических соединений. В жидкой воде зарегистрирован эффект ИК – люминесценции. Существование полос ИК – люминесценции связано с присутствием в воде полых кластеров (клатратов). Кластеры воды теоретически рассчитываются обычно только для десятков молекул, или вблизи межфазной границы, например, раздела вода/ лед представляет собой достаточно определенную структуру глубиной до 15 Å (0,15 нм).

Многие свойства воды, например, ее текучесть, способность образовывать газовые гидраты, предполагают образование протяженных упорядоченных структур, например, континуальную модель воды. Данные по акустической эмиссии из водных растворов в области от 500 до 2,5 кГц предполагают источник генерации звуковых волн с линейными размерами на много порядков большими, чем молекулярные кластеры.

Структурные исследования воды рентгеновскими методами проведен Киселевым А. Б. [10], им показано, что в температурной области 20–40°C и давлении близком к нормальному в дистиллированной воде под действием рентгеновского излучения возникает структура, которая представляется расширенной тетраэдрической льдоподобной упаковкой молекул воды, содержащей молекулярно-ионные комплексы H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> –OH<sup>-</sup>. Расстояние между молекулами воды  $3,1 \cdot 10^{-10}$  м, расстояние между атомами кислорода в комплексе  $2,3 \cdot 10^{-10}$  м. Молекулы воды колеблются с амплитудой  $0,9 \cdot 10^{-10}$  м в полость структуры воды, что выражается расстоянием  $3,9 \cdot 10^{-10}$  м. При дальнейшем движении молекул со временем экспозиции расстоя-

ние между частицами увеличивается и в воде возникает тетраэдрическая льдоподобная структура с расстоянием между молекулами воды  $2,7 \cdot 10^{-10}$  м, а затем при расстоянии  $(3,0-3,1) \cdot 10^{-10}$  м в воде образуются комплексы  $\text{H}_3\text{O}^+-\text{OH}^-$  с расстоянием между ионами гидроксония и гидроксила  $2,3 \cdot 10^{-10}$  м.

Структурированность воды наиболее сильно обнаруживается при переходе от высоко – к низкоинтенсивному излучению, замене молибденового медным излучением.

Период изменения структуры воды возрастает с уменьшением температуры жидкости и увеличением интенсивности рентгеновского излучения. С уменьшением интенсивности рентгеновского излучения период изменения структуры воды уменьшается, и порядок структуры воды переходит в беспорядок, который также изменяется при низкоинтенсивных физических воздействиях [10].

#### **Водные ресурсы Иркутской области. Вода Байкала**

*Поверхностные воды.* В пределах Иркутской области имеются колоссальные запасы озерной, речной и подземной пресной и минеральной воды. Удельные затраты на получение  $1 \text{ м}^3$  воды, потребляемой промышленностью, коммунальным хозяйством и населением региона, в 2–5 раз ниже, чем в Европейской России. [24,25]

Юго-восточная граница области на протяжении нескольких сотен километров проходит по акватории Байкала крупнейшего озера планеты. В нем содержится 23 тыс.  $\text{км}^3$  чистой пресной воды, что составляет около 80% общероссийских и 20% мировых запасов поверхностных пресных вод. Байкальская вода используется населением близлежащих поселков в качестве питьевой, некоторые промышленные предприятия прибрежной зоны берут ее для технологических целей.

Анализы байкальской воды, проведенные Лимнологическим институтом СО РАН, Институтом экотоксикологии Минприроды РФ, Университетом Южной Каролины, лабораториями Японии и Кореи, подтверждают ее высокое качество. В настоящее время созданы предприятия по ее разливу и организована реализация населению в качестве питьевой столовой воды. Водозабор на действующих производствах осуществляется с глубины более 400 м, что гарантирует высочайшее качество продукции.

Приходная часть водного баланса озера Байкал составляет  $71,16 \text{ км}^3$ , из которых осадки составляют 13%, приток речных вод – 82,5%, приток подземных вод – 3,2% и конденсация – 1,3%. Расходная часть составляет  $70,72 \text{ км}^3$  (сток из озера равен  $6039 \text{ км}^3$ ) на испарение приходится  $10,33 \text{ км}^3$ .

В пределах Байкальского региона протекает 31359 рек с общей протяженностью 116417 км и насчитывается около 18469 озер с общей площадью зеркала  $1292 \text{ км}^2$ .

Всего в Иркутской области насчитывается более 67 тыс. рек, речушек и ручейков общей протяженностью 310 тыс. км и средней плотностью 400 м речной сети на  $1 \text{ км}^2$ . В горно-таежных районах Восточных Саян, Северо-Байкальского и Патомского нагорий эта плотность возрастает до 1 тыс. м на  $1 \text{ км}^2$ .

Речная сеть представлена бассейнами таких крупных рек, как Ангара, Лена, Нижняя Тунгуска, и их многочисленными притоками. Средний многолетний речной сток в пределах Иркутской области приблизительно оценивается в 7,5 тыс.  $\text{м}^3/\text{с}$  ( $160-240 \text{ км}^3/\text{год}$ ).

Вода – основа жизни на земле. Самое большое, самое глубокое и самое старое озеро Байкал объявлено организацией ЮНЕСКО мировым наследием за невероятное разнообразие биологических видов животных и растений, населяющих этот регион. Это самое глубокое озеро в мире. Байкал, бесспорно, является бесценным национальным достоянием России.

Сегодня все, что связано с Байкалом, вызывает неподдельный интерес не только в нашей стране, но и за рубежом. За последние десятилетия Байкал притягивает туристов, привлекает ученых, поскольку озеро действительно уникально. В огромной каменной чаше, почти в центре Азии, на высоте 455 м над уровнем моря, раскинулось великое озеро, длина которого равна 636 км, наибольшая ширина – 79 км, наименьшая – 25 км. Максимальная глубина озера 1637 м, средняя – 730 м.

Байкалу около 25 миллионов лет. Обычно озеро, возраст которого приближается к 12–20 тысячам лет, считается старым, а Байкал молод, и нет признаков того, что он начинает стареть и когда-нибудь исчезнет с лица Земли, как исчезли и исчезают многие водоемы.

Но Байкал хрупок, и его экологическое равновесие под угрозой. Например, согласно данным природоохранных организаций,

ежедневно Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат (БЦБК) сбрасывал в воды Байкала 120 кубометров сточных вод. Перечень загрязняющих веществ включал более 25 наименований (хлорорганических, нитратов, фосфатов, фенолов, сульфатов, производных лигнина).

Кому пришла в голову мысль построить целлюлозно-бумажный комбинат на берегу Байкала, теперь уже неизвестно. Но 7 июня 1954 г. был подписан приказ о назначении комиссии по выбору площадки для будущего предприятия, а 17 апреля 1960 г. на берегу Байкала высадились первые строители. Уже осенью 1966 года построенный комбинат стал отравлять Байкал и портить чистейший байкальский воздух. Протесты ученых и общественности против БЦБК начались еще до начала постройки. Сначала возражали против строительства, потом, когда стали видны экологические последствия, призывали репрофилировать или закрыть. Выпускались решения, постановления, указы, но комбинат чадил, уничтожая тайгу, и продолжал лить отраву в Байкал. Пылегазовые выбросы Байкальского ЦБК распространялись вдоль побережья Байкала до 160 км к северо-востоку, попадая на территорию Байкальского заповедника, до 40–50 км и более к западу.

В 1994 году со сточными водами Байкальского ЦБК в озеро попало загрязняющих веществ (в тоннах): легкоокисляемых органических соединений – 538, сульфатов – 9535, хлоридов – 6171, фосфора – 0,41, азота аммонийного – 17,4, фенолов – 0,97, нитритов – 32, ртути – 0,02, алюминия – 3,5, сероорганических веществ – 5, метанола – 0,06, нитратов – 0,04, скипидара – 4, формальдегида – 2,4, фурфурола – 2,3, лигнина – 54.

По требованию Минприроды было принято решение о переходе с сентября 2008 года на замкнутый цикл водооборота, исключавший попадание загрязненных стоков в Байкале, а на данный момент БЦБК наконец-то закрыт.

Известно, что пятая часть чистой пресной воды Земли находится в чаше озера Байкал. Стоимость ее воды определена специалистами Лимнологического института РАН в 23 1015 трлн. долларов, то есть каждый литр оценен в один доллар. Со временем, ввиду роста дефицита питьевой воды, вода Байкала будет только дорожать.

Байкал создавался миллионы лет, а проект рассчитан на 2000 лет. Но какие послед-

ствия ожидают нас уже в скором будущем? Что создано природой, надо бережно сохранять и правильно эксплуатировать [25,26].

### **Мероприятия по расширению информативности по теме «Вода для жизни»**

В декабре 2003 года Генеральная Ассамблея Организации Объединенных Наций объявила 2005–2015 годы Международным десятилетием действий «Вода для жизни» (Десятилетие).

Основной задачей Десятилетия «Вода для жизни» является поощрение усилий в целях выполнения принятых на международном уровне обязательств по вопросам воды и водоснабжения к 2015 году. Все эти обязательства включены в Декларацию тысячелетия.

Десятилетие «Вода для жизни» было торжественно открыто 22 марта 2005 года во Всемирный день водных ресурсов Генеральным секретарем Организации Объединенных Наций Кофи Аннано, который выступил с видео-обращением. В частности, он сказал: «Это – важный вопрос, как для человеческого развития, так и для человеческого достоинства. Давайте же в этот Всемирный день водных ресурсов примем на себя обязательство сделать больше для того, чтобы обеспечить людей во всем мире безопасной и чистой водой. Давайте еще раз подтвердим свое обязательство более рационально использовать мировые водные ресурсы, которые являются основой для выживания и устойчивого развития в XXI веке».

Основной целью Международного десятилетия действий «Вода для жизни», 2005–2015 годы, являлось сократить к 2015 году наполовину долю людей, не имеющих доступа к безопасной питьевой воде и базовой санитарии.

Основные направления деятельности:

1. Дефицит воды, санитария и медицинское обслуживание

Сегодня 1,1 миллиарда человек, или 18% населения мира, не имеют доступа к доброкачественной питьевой воде. Около 2,6 миллиарда человек, или 42% мирового населения, лишены доступа к базовым средствам санитарии.

Хотя вода занимает 70% поверхности планеты, всего 1% всех водных ресурсов Земли пригоден для потребления человеком (рис. 7).

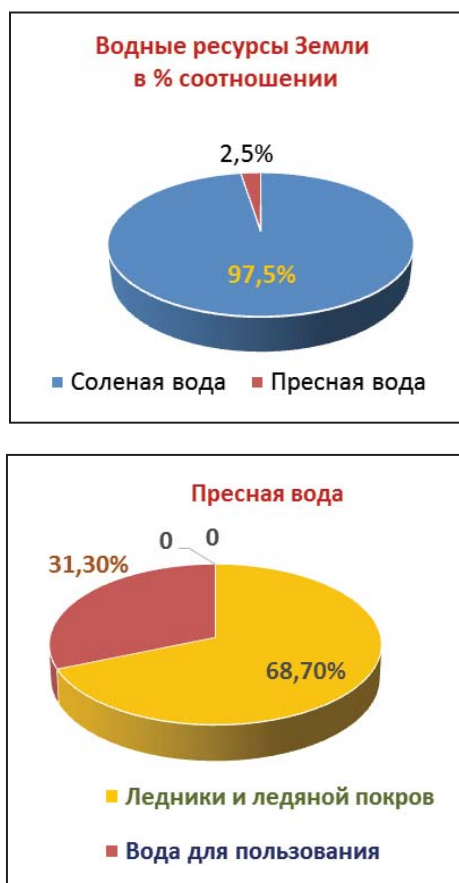


Рис. 7. Запасы воды на планете

По прогнозам, к 2025 году две трети населения мира, или примерно 5,5 миллиарда человек, будут жить в районах, испытывающих нехватку воды от умеренной до серьезной степени.

2. Другое направление – финансирование, стоимостная оценка.

Вода имеет цену. Обеспечение людей во всем мире водой и санитарией – это грандиозная задача, для решения которой нужны деньги. Разработка схем ценообразования на воду, обеспечивающих учет социальных, технических, экономических и экологических составляющих, представляет собой нелегкую задачу.

3. Право на воду. Без воды невозможна жизнь человека. Вместе с тем сегодня весь мир стоит на пороге чрезвычайной ситуации по использованию и предоставлению пресной воды. На международной арене обсуждают вопрос о признании права на питьевую воду в качестве одного из прав человека. Кроме того, право на воду, является одним из основных прав человека и необходимым для осуществления всех других общечеловеческих прав.

Координатором Десятилетия «Вода для жизни» 2005–2015 годы является Механизм «ООН – водные ресурсы», в рамках которого взаимодействуют все учреждения, департаменты и программы, занимающиеся вопросами водоснабжения. В настоящее время председателем Механизма «ООН – водные ресурсы» является Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ).

В ходе деятельности Десятилетия «Вода для жизни» были приглашены участвовать все организации и люди из всех стран мира. Каждая страна на национальном уровне разрабатывала свой индивидуальный подход к организации мероприятий в ходе Десятилетия. Большинство стран назначали координатора, которому должны направляться все запросы на национальном уровне. Рекомендовалось проводить любые мероприятия, нацеленные на расширение информированности общественности по вопросам, связанным с темой «Вода для жизни», включая конференции, семинары, выставки и другие общественные мероприятия.

Координатором Десятилетия в России является Федеральное агентство водных ресурсов (Росводресурсы).

Основными функциями Федерального агентства водных ресурсов являются:

а) обеспечение в пределах своей компетенции мероприятий по рациональному использованию, восстановлению и охране водных объектов, предупреждению и ликвидации вредного воздействия вод;

б) предоставление права пользования водными объектами, находящимися в федеральной собственности и другие.

В России Международный день воды отмечается с 1995 г под девизом «Вода – это жизнь». Всемирный День воды призван привлечь внимание общественности к состоянию водных объектов и проблемам, связанным с их восстановлением и охраной; задуматься о роли воды в жизни каждого человека на Земле; о необходимости сохранения и рационального использования водных ресурсов.

Агентство Росводресурсы проводило широкомасштабные мероприятия, посвященные этому событию, используя их для привлечения внимания органов власти всех уровней и местного самоуправления, общественных организаций и населения.

Кафедра физики ИрННТУ совместно с РАЕ в течение всего десятилетия проводила широкий фронт работ по этой проблеме.



Так, в 2006 году в Иркутске состоялась выездная сессия РАЕ, в котором приняли участие учёные Иркутска. В марте 2008 года Иркутское отделение Российской Академии Естествознания совместно с кафедрой физики Иркутского национально исследовательского технического университета провели межотраслевую региональную конференцию: «Вода – простая и непостижимая». Данное мероприятие собрало более 200 участников. Это учёные и научные сотрудники шести Иркутских образовательных учреждений системы высшего образования. Участниками конференции стали ученые Ангарского научно-исследовательского института медицины труда и экологии человека ВСНЦ СО РАМН, Иркутского военного авиационного технического училища. С докладами выступили представители крупных производственных предприятий – ИркутскЭнерго, ЗАО «Золотопродукт» и другие. Объединяющим моментом для дискуссии представителей различных отраслей и ведомств, учёных, педагогов, производственников, медиков, экологов стала острейшая тема воды. Данное мероприятие вызвало живой и огромный интерес у студенческой аудитории.

Ежегодно проходили в формате живого диалога с широким участием учёных, преподавателей, студентов и школьников конференции, круглые столы, фестивали науки по темам, связанным с различными аспектами применения и использования воды, современными технологиями экономики, хранения и очистки воды, о значимости и многообразии водных ресурсов и необходимости бережного отношения к ним. Директор института архитектуры и строительства ИрНИТУ Чупин В.Р. отметил: «Важность конференций состоит в том, что они имеют естественнонаучную и ориентированную направленность, и тем самым способствуют привлечению молодых кадров к научным исследованиям».

На таких ежегодных конференциях много внимания было уделено экологическому состоянию водных объектов России, качеству и санитарно-гигиеническим характеристикам питьевой воды, проблемам опреснения, роли воды в жизнеобеспечении биологических систем, воды в живых организмах и минералах. Особое внимание уделялось проблемам сохранения чистоты Байкала. Но, к сожалению, на великом озере не всё благополучно.



Примечательно, что перед учёными выступили студенты с сообщениями на тему «Байкал – природное наследие Сибири». Они дали природную характеристику уникальному озеру Байкал – хранилищу пресной воды, которая отличается прекрасными вкусовыми качествами. Они отметили, что цена этой воды достаточна велика. Байкальская вода вышла на массовый рынок, продается в Москве и других крупных городах по цене, в два с половиной раза превышающей цену бензина АИ-95.

Одна из главных экологических проблем человечества – качество питьевой воды, которое напрямую связано с состоянием здоровья населения, экологической чистотой продуктов питания, с разрешением проблем медицинского и социального характера. Количество питьевой воды за 150 лет на одного человека уменьшилось в 4 раза. За последние 40 лет общее количество пресной воды на каждого жителя уменьшилось на 60%, а в последующие 25 лет ожидается сокращение ещё вдвое. «А мы уничтожаем наши запасы пресной питьевой воды. Озеро Байкал в опасности – заступитесь и помогите ему» – просят студенты.

К участию на таких мероприятиях привлекаются иностранные студенты и аспиранты, обучающиеся в ИрНИТУ. Они рассказывают о проблемах воды в своих странах, а также охотно занимаются темой «Экологические проблемы озера Байкал».

По материалам конференций и круглых столов были выпущены информационные плакаты, сборники статей. За истёкший период кафедрой опубликовано по этой теме 3 монографии, выпущено свыше 50 студенческих статей.

В ИрНИТУ есть много специальностей, которые связаны с водой. Сотрудники, аспиранты, студенты проводят большие исследования по данной тематике. Ниже мы приводим материалы по направлениям исследования воды в ИрНИТУ, которые представлены в работах [5,13,17-22,35,36]

Иркутская область является наиболее богатым регионом Российской Федерации и всего мира по содержанию водных ресурсов. На ее территории ежегодно формируется 175-180 км<sup>3</sup> воды, поступает из-за пределов области 135-140 км<sup>3</sup>, за пределы области стекает более 310 км<sup>3</sup>.

Несмотря на такую обеспеченность области водными ресурсами, остро стоит про-

блема обеспечения населения доброкачественной питьевой водой. Причин этой проблемы много: высокая степень износа сетей водоснабжения и водоотведения; отсутствие новых очистных сооружений с применением современных технологий очистки воды; малое количество ливневых канализаций; наличие бездействующих скважин, пробуренных ранее для целей водоснабжения; расточительность и нерациональность потребления воды.

На сегодняшний день 55,1% сетей водоснабжения изношены (390 километров из 708), из-за чего происходит до 500 аварий в год.

Сброс сточных вод в водные объекты Иркутской области осуществляют 154 предприятия-водопользователя по 218 выпускам, в том числе: в р. Ангару от 101 предприятия по 145 выпускам в объеме 1030 млн м<sup>3</sup>, из них 861 млн м<sup>3</sup> загрязненных сточных вод; в бассейн озера Байкал от 4 предприятий по 4 выпускам в объеме 36 млн м<sup>3</sup>.

Основным источником загрязнения поверхностных вод Иркутской области являлись предприятия целлюлозно-бумажной промышленности (27%), химической и нефтехимической промышленности (23%), жилищно-коммунального хозяйства (24%). Водоотведение по вышеперечисленным отраслям составляет 74% от общего.

Немаловажную роль играют ливневые канализации – одни из главных форм благоустройства современного города. От эффективности работы ливневой канализации зависит и долговечность дорожного полотна, и комфортность городской территории, и ее санитарное состояние.

Необходимо ликвидировать бесхозные скважины, которые являются прямым источником загрязнения хозяйственно ценных подземных вод, либо переводить их на крановый режим. В квартирах необходимо устанавливать счетчики для контроля за количеством используемой воды, чтобы сократить её количество, используемой не по назначению.

По словам министра строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации Михаила Александровича Меня: «Вода единственная сфера в ЖКХ, где отсутствует возможность передачи в залог объектов инфраструктуры или акций, хотя в тепле и электричестве это разрешено».

Российская ассоциация водоснабжения и водоотведения (РАВВ) на круглом столе

газеты «Ведомости» по теме реформирования системы ЖКХ заявила: «Законодательно сегодня сфера ЖКХ может развиваться только по концессионной модели, которая предполагает активное участие частного капитала, но бизнес по-прежнему сталкивается с рядом институциональных проблем в отрасли, которые до сих пор не решены».

Несмотря на создаваемые комфортные условия для бизнеса, инвесторы, приходящие в водопроводно-канализационный комплекс, вынуждены считаться с целым комплексом системных проблем:

Вода имеет самую маленькую годовую выручку: водоснабжение и водоотведение – 348 миллиардов, тепло – 900 миллиардов, электроэнергия – более 1 триллиона.

В воде отрицательная фондоотдача: на 1 вложенный рубль доход составляет 44 копейки.

Экономически необоснованный тариф на водоснабжение и водоотведение. Вследствие изначально низкой стоимости услуг (экономически необоснованного тарифа) на водоснабжение и водоотведение, переход на долгосрочное тарифное регулирование не приведет к улучшению ситуации, а лишь продолжит дальнейшее накопление выпадающих доходов на предприятиях.

Для привлечения частных инвестиций в отрасль необходимо не только создание комфортной для бизнеса правовой базы, но, прежде всего, решение накопившихся в сфере водоснабжения и водоотведения институциональных проблем, которые требуют пристального внимания со стороны государства. Особенно это сказывается на отрасли образования в сфере подготовки кадров высшего образования.

Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации, Министерство строительства и ЖКХ Российской Федерации, Национальный совет при Президенте Российской Федерации по профессиональным квалификациям и Российская ассоциация водоснабжения и водоотведения разрабатывают профессиональные стандарты для водопроводно-канализационного комплекса.

Профессиональные стандарты описывают требования к работникам, выполняющим определенные трудовые функции, являясь основой формирования Национальной системы квалификаций. В профессиональном стандарте каждая трудовая функция описывается с точки зрения критериев

ее выполнения (требуемых знаний, умений и дополнительных требований к уровню самостоятельности и ответственности), что является основой отнесения трудовой функции к определенному уровню квалификации. Такой формат описания несет в себя целый ряд системных посылов для проектирования образовательных программ:

- описание трудовых функций через параметры трудовых действий. При этом каждое действие, по сути, является результатом обучения и элементом целостной компетенции, которая коррелируется с трудовой функцией (благодаря этому трудовые функции становятся опорными точками, или критериями, которые могут быть использованы для проектирования процедур оценки);

- описание умений в трудовых функциях также несет дополнительную содержательную и методическую информацию;

- анализ требований к знаниям позволяет уточнить предметное содержание образовательных программ и дисциплин;

- введения дополнительных параметров, принципиально важно для учета особенностей профессиональной деятельности.

Качественный прорыв в сфере инженерной инфраструктуры по водоснабжению и водоотведению возможен только при условии обеспечения производственных предприятий высококвалифицированными кадрами, обладающими соответствующими компетенциями и практическими навыками в решении сложных и динамичных задач современного строительного производства.

В Сибирском федеральном округе и Иркутской области в частности существует много строительных предприятий, составляющих основу промышленного развития региона. Одним из таких предприятий является Муниципальное унитарное предприятие «Водоканал» г. Иркутска, которое входит в число наиболее современных и динамично развивающихся предприятий г. Иркутска. Сегодня водопровод в Иркутске одно из сложнейших инженерных сооружений. Это, прежде всего Ершовский водозабор, ещё один водозабор, который находится в теле плотины Иркутской ГЭС, и более 700 километров сетей.

В настоящее время МУП «Водоканал» г. Иркутска завершило модернизацию системы телеметрического контроля над работой своих объектов. Проект позволит предприятию быстрее реагировать на внештатные ситуации и сократить время на устране-



ние нарушений. В 2013 г. запущены станции обеззараживания воды на основе мембранных биполярных электролизеров. Также в МУП «Водоканал» г. Иркутска запустили новое оборудование для диспетчерской службы. Новая система позволяет автоматически отслеживать технологические параметры и состояние оборудования на водопроводных и канализационных насосных станциях, водозаборах, распределительных узлах и регулировать их работу для оптимального водоснабжения и водоотведения.

Предприятие принимает участие в развитии материально-технической базы Университета по профилю деятельности Предприятия. Организует прохождение производственной практики студентов на Предприятии с предоставлением рабочих мест, обеспечивая условия безопасной работы, инструктаж по охране труда и расследование несчастных случаев в соответствии с законодательством РФ. Предоставляет студентам возможность пользоваться оборудованием и технической документацией предприятия, необходимых для успешного освоения программ обучения. Предоставляет дополнительное оборудование для практических и лабораторных занятий.

На фоне все возрастающих производственных задач на Предприятии остро ощущается дефицит в высококвалифицированных кадрах по строительным направлениям подготовки в сфере водоснабжения и водоотведения, в сфере теплоснабжения. Кроме того, существует постоянная потребность в повышении квалификации кадрового состава предприятия, которая должна осуществляться в образовательных учреждениях, имеющих как высокий научно-педагогический потенциал, так и значительный производственный опыт. Также большое значение имеет материально техническое оснащение учебного процесса. Создание такого образовательного подразделения возможно при объединении кадровых и материально-технических возможностей МУП «Водоканал» и ИРНИТУ. МУП «Водоканал» и ИРНИТУ имеют опыт многолетнего эффективного сотрудничества в деле подготовки высококвалифицированных кадров и при выполнении многих научно-технических и опытно-конструкторских разработок.

С целью дальнейшего плодотворного сотрудничества ИРНИТУ и Водоканала в 2014 году была создана базовая кафедра ИРНИТУ «Водоснабжения и водоотведе-

ния» на базе МУП «Водоканал» города Иркутска. Основным направлением деятельности базовой кафедры является усиление практической направленности образовательного процесса за счет привлечения к преподаванию высококвалифицированных специалистов МУП «Водоканал», использования в процессе обучения студентов современного дорогостоящего оборудования, развитие научно-исследовательской работы студентов по направлению деятельности базовой кафедры, ориентированной на решение актуальных задач МУП «Водоканал» города Иркутска. Для МУП Водоканала студенты разрабатывали следующие проекты: «Технология очистки сточных вод на Правобережных канализационных очистных сооружениях города Иркутска» и «Определение неучтенных потерь в сети канализации города Иркутска на примере Ленинского района».

В институте архитектуры и строительства, а также в институте энергетики Иркутского национального исследовательского технического университета проводятся исследования по применению, использованию и изучению самого главного вещества на планете – воды.

Данные работы осуществляются на кафедрах инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения (Толстой М.Ю.), городского строительства и хозяйства (Чупин В.Р.), физики (Шишелова Т.И.).

Исследования проводятся студентами, магистрантами, аспирантами под руководством ведущих преподавателей кафедр.

На кафедре инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения создана уникальная лаборатория «Качество воды». Лаборатория аккредитована в системе РОСАККРЕДИТАЦИЯ.

Например, некоторые темы дипломных, магистерских и аспирантских работ.

«Исследования аэрационных систем очистки сточных вод с применением вибрационных воздействий».

Темой дипломной работы является исследование аэрационных систем очистки сточных вод с применением вибрационных воздействий.

Актуальность работы. Очистка сточных вод – одна из важнейших задач, от решения которой зависит наше благополучие. От качественной работы очистных сооружений зависит экологическое благополучие окружающей среды и человека как её неотъем-



лемой части. Между тем моральный и физический износ сооружений очистки сточных вод большинства населённых пунктов заставляет искать новые пути решения интенсификации работы городских канализационных станций.

В условиях постоянного роста городов становится всё острее проблема интенсификации очистки сточных вод. Это связано с тем, что возрастание объёмов стоков влечёт за собой необходимость увеличения площадей, занимаемых очистными сооружениями, что не всегда возможно. Поэтому необходимо модернизировать то, что уже имеется в наличии, с использованием современных материалов, технологий и механизмов.

Одним из направлений, которое нуждается в улучшении, является повышение эффективности процесса аэрации сточных вод при одновременном снижении энергозатрат на его осуществление. Кроме того, необходимо стремиться к тому, чтобы надёжность смонтированной системы была высокой, поэтому аэрирующие устройства должны быть практически не засоряемы или легко очищаемы.

В процессе биологической очистки сточных вод используются колонии аэробных микроорганизмов, которые перерабатывают содержащиеся в стоках органические вещества. Эти микроорганизмы нуждаются в кислороде для поддержания своей жизнедеятельности. Однако поступление кислорода из атмосферы через поверхность жидкости ничтожно, поэтому во всём объёме очищаемой воды возникает «кислородное голодание» и микробная среда может погибнуть.

Таким образом, основополагающим принципом биологической очистки сточных вод является насыщение их кислородом посредством генерирования в жидкости пузырьков воздуха.

Для флотационной очистки сточных вод возможно применение интенсифицирующих технологий, заключающихся в свойствах пузырьков воздуха притягивать взвешенные вещества при наличии резонансного эффекта от вибрационных воздействий в жидкости.

Дипломная работа «Исследование пневмогидравлического аэратора для очистки сточных вод».

Современные идеи в интенсификации процесса обработки на городских очистных

сооружениях. Разнообразие способов аэрации жидкости и устройств для их осуществления требует создания более совершенных устройств, необходимых для различных отраслей промышленности, таких, как обогащение полезных ископаемых, очистка сточных вод, биотехнологии, пищевая промышленность и другие.

Из всех известных способов аэрации жидкости, наиболее перспективным является газожидкостный. Он позволяет не только генерировать пузырьки воздуха, но и управлять необходимыми параметрами аэрации, а именно: размерами образующихся пузырьков, их распределением в объёме, гидродинамикой потоков в камере аппарата, расходом реагентов и т.д.

Выявление закономерностей, поддающихся теоретическому описанию, определяющих соотношение фаз газа и жидкости в газожидкостных аэраторах, понятие процесса формирования размеров газовой фазы, гидродинамический расчет факела аэрированной струи и создание на этой основе управляемой динамики флотационного аппарата являлось бы серьёзной основой в дальнейшем совершенствовании флотационной техники, так как генерация пузырьков, относительно одинаковых размеров с заданными параметрами соотношения фаз и дальнотойностью факела возможна только газожидкостными аэраторами.

Институт тесно сотрудничает с предприятиями, занимающихся проектированием водных систем – проектными институтами, исследованиями водных ресурсов – ИИЦ СО РАН, эксплуатирующие организации – водоканалы.

### **Вода в минералах**

Многие минералы предрасположены к воде. Всегда содержат связанную воду глины. Благодаря ей они приобретают пластичность, податливость, гибкость. Связанная вода влияет на прочность и устойчивость к деформациям минерала. Наличие связанной воды в кристаллической решетке минерала снижает его упругость, вызывает понижение его поверхностной энергии. Вода играет большую роль в формировании свойств различных горных пород и в развитии многих геологических процессов.

Рассмотрим воду в минералах, связанную воду, которая в меньшей степени подвержена нашему влиянию, но от которой зависят многие свойства минералов и изде-

лий из них. Вода в этих минералах находится в своём первоначальном виде. В общей сложности её не так и мало. Как же она влияет на минерал, видоизменяя его? Вода играет большую роль как связующее звено во всех процессах в окружающем нас мире. Это касается так же минералов. И чем глубже и тоньше мы изучаем мир, тем больше убеждаемся в исключительной роли воды, особенно на наноуровне. В нано-технологиях воде отводится исключительная роль, многие задачи нанотехнологии можно выполнить с помощью простой непознанной воды.

Вопрос об изучении связанной воды в минералах, несмотря на проведенные большие исследования, полностью не решен, и проведенные исследования в этом направлении актуальны. Это касается и слоистых силикатов, в частности, слюд. Большое внимание уделено изучению связанной воды в природных слюдах. Зная количество и вид различных группировок  $OH/H_2O$  в слюдах, можно заранее предсказать их физико-химические свойства [28]. Воздействуя на воду, можно видоизменять свойства минерала. Кроме того, интересен вопрос о межплоскостной воде. Под действием поля поверхности минерала вода сильно видоизменяет свои свойства.

Большое разнообразие терминов по определению воды в минералах вносит большую путаницу, и порой сложно определить, с какой водой имеем дело. Вода в минералах бывает: конституционная, кристаллизационная, вода твердых коллоидов, межплоскостная, межслоевая, гигроскопическая, физически связанная, химически связанная, цеолитная и адсорбционная. Поэтому нужна более строгая классификация воды и более современный метод ее отнесения [28].

Многие методы определения воды в минералах сложны и несовершенны, так как они преимущественно основаны на потерях массы и температуры, которые могут включать все виды разновидности воды. И температура не является конечным фактором, так как интервалы температур для различных разновидностей воды могут сильно перекрываться. Наиболее надежными методами являются метод ЯМР и метод ИК-спектроскопии, которые позволяют классифицировать ее по энергии связи с минералом [28].

Методом ИК-спектроскопии, рентгеноструктурного анализа и термографии про-

ведены исследования свойств связанной воды в слюдах, установлено наличие в структуре различных форм воды. Наиболее полно в ИК-спектрах изучены области валентных и деформационных колебаний  $OH/H_2O$ -связей. Количество полос, а также соотношение между их интенсивностями зависят от степени гидратации слюд [28].

Несмотря на большое количество работ, опубликованных по этой проблеме, время показывает, что всё новые и новые свойства мы открываем у этого простого только на первый взгляд вещества. Постоянно соприкасаясь с различными веществами, вода всегда представляет раствор порой очень сложного состава, так как она является универсальным растворителем и растворяет твердые, жидкие, газообразные вещества. Также происходит и с минералами, они, в свою очередь, тоже оказывают на воду своё существенное влияние. Изменяют её структуру, превращая её из жидкой фазы в твердую, образуя сплошные структуры – конгломераты. Под действием полей кристалла она преобразуется и становится связанной, иначе она «подчиняется» минералам, а он остается таковым, пока она его не покидает. Но, лишившись этой свободной воды, он перестает быть таковым и превращается в другой минерал, то есть это ещё раз подтверждает что вода – это вершина бытия. Без нее в земных условиях не живет живая и неживая материя [27].

### Заключение

Существует еще несколько важных и острых проблем. Для их решения необходима определённая стратегия. Так, по оценкам экспертов ООН проблема чистой воды является самой острой проблемой в мире. Больше 3-х миллиардов человек в мире страдают от недостатка воды. В этом плане можно сформулировать проблему сохранения водных ресурсов и бережного отношения к ним. И конечно здесь нельзя не остановить внимание на воде Байкала. Это тоже важная, острая и наболевшая проблема. Озеро Байкал содержит 23,6 тыс. куб. км пресной воды, что составляет 20% мировых запасов пресной воды. Надо отметить, что за последние 150 лет количество питьевой воды, на одного человека уменьшилось в 4 раза. За последние 40 лет общее количество пресной воды на каждого жителя уменьшилось на 60%, а в последующие 25 лет должно сократиться ещё вдвое.

Уникальное озеро Байкал – хранилище пресной воды, которая отличается прекрасными питьевыми качествами, слабо минерализована и близка к дистиллированной. Байкальская вода вышла на массовый рынок и продаётся в Москве и в других крупных городах по цене в два с половиной раза превышающей цену бензина АИ-95. Но, к сожалению, на великом озере далеко не всё благополучно. Загрязнения от Байкальского ЦБК охватило площадь 299 км<sup>2</sup> дна озера, а по отдельным каньонам оно распространилось на 50 км от берега. За 22 года деятельности БЦБК в 2 раза уменьшилась биомасса зоопланктона, снизились темпы роста и ухудшились физиологические характеристики байкальских рыб. Согласно данным природоохранных организаций ежедневно БЦБК сбрасывал в воды Байкала 120 м<sup>3</sup> сточных вод. Перечень загрязняющих веществ включал более 25-ти наименований (хлорорганических, нитратов, фосфатов, фенолов, сульфатов, производных лигнина и др.). Сейчас БЦБК остановлен.

Другая и не менее важная фундаментальная проблема воды – это проблема очистки и опреснения воды. Решение этой проблемы будет также способствовать сохранению мирового баланса потребления воды. Снабжения населения качественной питьевой водой – не менее важная проблема, так как это касается здоровья людей.

Вода – самое необычное и самое важное вещество окружающего мира. Роль воды, несомненно, велика, она влияет на все окружающие процессы, прежде всего на человека, а заменить или видоизменить её в этом плане мы не можем, так как она создатель жизни, мы должны до конца её познать, чтобы правильно её использовать, а главное сохранить и беречь её. Видоизменив её, мы тем самым нарушим баланс, и что самое главное потеряем жизнь. Надо всегда помнить, что вода и жизнь – неразделимы [27].

Ещё совсем недавно многие скептически относились к вопросам структуры воды. Сейчас уже почти все согласны с тем, что вода имеет структуру. Поэтому одной из проблем воды является проблема изучения структуры воды.

В настоящее время не существует прямых методов, позволяющих исследовать структуру воды, а известные физические методы недостаточны, чтобы расшифровать эту структуру, но всё совершенствуется, и методы тоже. Вполне возможно, в ближай-

шее время сформируется метод исследования, который поможет решить эту проблему.

Именно структурные исследования воды могут позволить раскрыть тайны воды. Да мы знаем состав воды, группировки воды, но мы мало знаем о свойствах связанной воды, так как в этом случае она всегда разная, по-разному она связывается с объектами, с которыми она соприкасается. Многообразие окружающего мира определяется разнообразием структуры воды.

По выражению А.В. Квашнина «Изучение структуры воды обеспечит новый научный прорыв в фундаментальном естествознании». Это, пожалуй, самая важная проблема и перспективное направление в науке о воде.

В ИрГТУ совместно с Российской академией естествознания ежегодно проходит региональная конференция «Вода и жизнь». В формате живого диалога на этих конференциях, с широким участием ученых, студентов, школьников обсуждаются основные свойства и парадоксы воды, современные технологии экономии, хранения и очистки воды, вопросы структуры воды, значимость и многообразие водных ресурсов Иркутского региона и необходимость бережного отношения к ним. Много внимания уделяется экологическому состоянию водных объектов России, качеству и санитарным гигиеническим характеристикам питьевой воды, проблемам опреснения, роли воды в жизнеобеспечении биологических систем, воды в живых организмах и минералах.

Изучению свойств воды посвящены тысячи работ, как теоретиков, так и экспериментаторов. Но все они разрознены, не скоординированы. Проблема воды – исключительно важная фундаментальная проблема XXI века, которая должна решаться широким кругом специалистов. «Все исследования, касающиеся воды, должны координироваться из одного центра, и такого центра на сегодня нет». «Отставание в изучении фундаментальных проблем воды тормозит развитие всех естественных наук, наука должна повернуться лицом к воде» [27].

#### Список литературы

1. Алексеев А.И. Химия воды. – СПб: СЗТУ, 2001.
2. Антонченко В.Я. Основы физики воды / В.Я. Антонченко, А.С. Давыдов, В.С. Ильин. – Киев: Наукова думка, 1991. – 669 с.
3. Бархатова А.С. Малоизвестные свойства воды (по материалам гипотез) / А.С. Бархатова, Н.Л. Корзун // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – Иркутск: Изд-во ФГБОУ ВПО НИ ИрГТУ, 2013. – Вып. 4. – С. 111-119.

4. Белая М.Л. Молекулярная структура воды / М.Л. Белая, В.Г. Левадный. – М.: Знание, 1987.
5. Белоокая Н.В., Паутов М.И., Толстой М.Ю. Флотационные методы очистки сточных вод от нефтепродуктов // Природоохранная деятельность в современном обществе: материалы международной научно-практической конференции «Тункинскому национальному парку – 20 лет; природоохранная деятельность в современном обществе» (с. Кырен, Республика Бурятия, 12-14 октября 2011 г.). Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2011. – С. 190-192.
6. Бор Н. Атомная физика. – 2-е изд. – М.: Мир, 1967. – 493 с.
7. Габуда С.П. Физические свойства и структура связанной воды в фибриллярных белках коллагенового типа по данным сканирующей калометрии / С.П. Габуда, А.Л. Гайдаш, В.А. Дребуцак, С.Г. Козлова // Письма в ЖЭФ. – 2005. – Т. 82, № 9-10. – С. 693-696.
8. Зацепина Г.Л. Физические свойства и структура воды. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 185 с.
9. Зенин С.В. Структурированное состояние воды как основа управления поведением и безопасностью живых систем: дис. ... д-ра биол. наук. – М., 1999.
10. Киселев А.Б. Структура соды в высоко- и низкоинтенсивном рентгеновском излучении // Современные наукоемкие технологии. – 2008. – № 5 (приложение). – С. 9-12.
11. Колодин Р.М. Вода – золотое богатство планеты / Р.М. Колодин, А.М. Колодин, Т.И. Шишелова // Современные наукоемкие технологии. – 2008. – № 5 (приложение). – С. 23-24.
12. Летников Ф.А. Активированная вода / Ф.А. Летников, Т.В. Кашеева, А.Ш. Миндис. – Новосибирск: Наука, 1976. – 134 с.
13. Орлов А.В., Толстой М.Ю. Пневмогидравлический аэратор с плоскоструйным азирующим факелом (ПАФ). Патент на изобретение 2515644(13) С2, МПК В03Д 1/14 (2006.01). Опубликовано: 20.05.2014 Бюл. № 14.
14. Смирнов А.Н. Структура воды: гигантские гетерофазные кластеры воды / А.Н. Смирнов, В.Б. Лапшин, А.В. Балышев, И.М. Лебедев, В.В. Гончарук, А.В. Сыроешкин // Химия и технология воды. – 2005. – № 2. – С. 11-37.
15. Смирнов П.Р. Структура воды, адсорбированной пористыми материалами / П.Р. Смирнов, В.Н. Тростин, Т. Ямагучи // Вода: структура, состояние, сольватация. Достижения последних лет. – 2003. – С. 347-377.
16. Стебновский С.В. О сдвиговой прочности структурированной воды // Журнал технической физики. – 2004. – Т. 74, № 1. – С. 21-23.
17. Толстой М.Ю. Теория и практика пневмогидравлической аэрации // Ресурсоэнергосберегающие технологии в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительстве VI международная научно-практическая конференция, сентябрь 2015 г. – Иркутск: ИРНИТУ, 2015.
18. Толстой М.Ю. Аналитическое исследование распространения аэрированной струи пневмогидравлического аэратора в спутном потоке жидкости // Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение: производственно-технический и научно-практический журнал. – 2012. – № 12. – С. 12-16.
19. Толстой М.Ю., Орлов А.В., Паутов М.И. Применение пневмогидравлических аэраторов при очистке сточных вод // Материалы 9-го Международного конгресса ЭКВАТЭК-2010, конференция международной водной ассоциации IWA «Водоподготовка и очистка сточных вод населенных мест в XXI веке: Технологии, Проектные решения, Эксплуатация станций» [электронный ресурс]. – М.: ЗАО «Фирма СИБИКО Интернэшнл», 2010. «Очистка сточных вод». 5 с.
20. Толстой М.Ю., Васильевич Э.Э., Лапковский А.А., Васильева А.А. Очистка сточных вод катализаторами «КАТАН» при разной степени аэрации различной массовой концентрации активного ила // Вестник ИРГТУ. – 2011. – № 8 (55). – С. 66-70.
21. Толстой М.Ю., Стом Д.И., Васильева А.А. Методология исследований биоценоза активного ила сточных вод в сооружениях при работе аэрационных систем городов и поселков Иркутской области // Материалы 9-го Международного конгресса ЭКВАТЭК-2010, конференция международной водной ассоциации IWA «Водоподготовка и очистка сточных вод населенных мест в XXI веке: Технологии, Проектные решения, Эксплуатация станций» [электронный ресурс]. – М.: ЗАО «Фирма СИБИКО Интернэшнл», 2010, «Очистка сточных вод». 8 с.
22. Толстой М.Ю., Шишелова Т.И., Толстой В.М. Интенсификация процесса флотации // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость: научный журнал. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2015. – № 1 (12). – С. 120-127.
23. Шишелова Т.И. Связанная вода в минералах // Современные наукоемкие технологии. – 2010. – № 7. – С. 60-61.
24. Шишелова Т.И. Водные ресурсы Иркутской области / Т.И. Шишелова, А.С. Кривошеев, В.И. Левина, А.В. Маленьких, А.В. Савинов // Успехи современного естествознания. – 2010. – № 10. – С. 62-63.
25. Шишелова Т.И. Вода Байкала / Т.И. Шишелова, Н.Е. Степанова, М.В. Климов, Е.А. Скуратов // Успехи современного естествознания. – 2009 (приложение). – № 8. – С. 18-19.
26. Шишелова Т.И. Влияние БЦБК на Байкал / Т.И. Шишелова, А.А. Щербakov, А.С. Янулович // Успехи современного естествознания. – 2010. – № 10. – С. 63-64.
27. Шишелова Т.И. Современное состояние науки о воде. Проблемы и перспективы ее развития // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 2. – С. 121-123.
28. Шишелова Т.И. Вода в минералах. – Иркутск: Изд-во ИРГТУ, 2012. – 110 с.
29. Эмото М. Энергия воды для самопознания и исцеления. – София, 2006.
30. Juutilainen I. Development effects of electromagnetic fields // Bioelectromagnetics. – 2005. – Suppl. 7. – P. 107-115.
31. Arkhipov V.I. Hierarchy of dielectric relaxation times in water // J. Non-Cryst. Solids. – 2002. – V. 305, № 1-3. – P. 127-135.
32. Lussetti E. A fully polarizable and dissociable potential for water / E. Lussetti, G. Pastore, E. Smargiassi // Chem. Phys. Lett. – 2003. – V. 381, № 3-4. – P. 287-291.
33. Chipens G. Water structure as a potential factor determining the code of amino acid interactions / G. Chipens, N. Levenu // Latv. Ķīmž. – 2005. – № 1. – P. 3-13.
34. Syroeshkin A.V. Laser diffraction for standardization of hetero-eneous pharmaceutical preparations / A.V. Syroeshkin, P.I. Popov, T.V. Grebennikova, V.A. Frolov, T.V. Pleteneva // J. Pharm. Biomed. Anal. – 2005. – V. 37, № 5. – P. 927-930.
35. Konovalova E.Yu., Stom D.I., Balayan A.E., Protasov E.S., Tolstoy M.Yu., Tyutyunin V.V. Using microbial fuel cells for utilization of industrial wastewater / 2014 International Conference on Industrial, Mechanical and Manufacturing Science (ICIMMS 2014) will be held in Tianjin, China during June 12-13, 2014.
36. Konovalova E.Y., Stom D.I., Balayan A.E., Protasov E.S., Tolstoy M.Y., Tyutyunin V.V. Using microbial fuel cells for utilization of industrial wastewater. Industrial, Mechanical and Manufacturing Science – Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial, Mechanical and Manufacturing Science, ICIMMS 2014, 2015. – P. 71-74.