



**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ  
ДЛЯ СТУДЕНТОВ  
ЗАОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
ФАКУЛЬТЕТА  
ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ**

**III - 5**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Факультет Водоснабжение и водоотведение

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОГО  
ОТДЕЛЕНИЯ ФАКУЛЬТЕТА  
ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ  
(III курс 5 семестр)**

Под общей редакцией  
проф. Воронова Ю.В. и доц. Ивчатова А.Л.

Допущено Ассоциацией строительных вузов в качестве  
учебного пособия для студентов заочного и очно-заочного  
отделения по специальности 290800  
«Водоснабжение и водоотведение»



Издательство Ассоциации строительных вузов  
Москва 2007

## Рецензенты

Заведующий кафедрой «Водоснабжения», профессор,  
кандидат технических наук

*Сомов М.А.*

Заведующий кафедрой «Охрана водных ресурсов», профессор,  
доктор химических наук

*Фрог Б.Н.*

Под общей редакцией  
профессора Воронова Ю.В. и доцента Ивчатова А.Л.

Учебное пособие для студентов заочного отделения факультета водоснабжения и водоотведение. Учебное пособие. –М.: Издательство АСВ, 2007, – 368 с.

ISBN 978-5-93093-300-6

Настоящий труд представляет комплекс учебно-методических пособий по дисциплинам изучаемым студентами на 3 курсе (5 семестр) заочного отделения факультета «Водоснабжение и Водоотведение» МГСУ

ISBN 978-5-93093-300-6

© Издательство АСВ, 2007 г

© Коллектив авторов, 2007 г

## СТУДЕНТАМ ФАКУЛЬТЕТА ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ МГСУ



Благосостояние и здоровье населения нашей страны во многом зависит от состояния водных ресурсов, качества потребляемой воды, а в последние года и ее количества. Добыть питьевую воду, очистить её и подать потребителю, а затем вернуть в природные условия, не причинив экологического ущерба – сложнейшая задача, которую могут решить только специалисты высокой квалификации.

Подготовка таких специалистов вот уже более 75 лет ведется в нашем университете на факультете «Водоснабжение и Водоотведение» по дневной, вечерней, а с 2003 года и по заочной форме обучения. К преподаванию на заочном отделении привлечены ведущее профессора и доценты МГСУ, имеющие большой опыт работы со студентами и прочные связи с научными, проектными, строительными и эксплуатирующими организациями (МГП «Мосводоканал», ГУП «МосводоканалНИИпроект», ФГУП «НИИ ВОДГЕО», ОАО «НИИКВОВ», ОАО «ЦНИИЭП инженерного оборудования», ГУП «Мосводосток», ГУП «Союзводоканалпроект» и многими другими. Специалисты этих организаций приглашаются для чтения лекций, руководства дипломным проектированием, участия в работе ГАК и др. В этих организациях проходят производственную практику студенты.

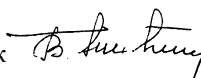
Подготовка специалистов на заочном отделении факультета «Водоснабжение и водоотведение» ведется по основной специализации 2908.01 «Системы и сооружения водоснабжения и водоотведения», также планируется открытие с 4 курса специализации 2908.05 «Модернизация систем водоснабжения, водоотведения и электроснабжения», что вызвано большой потребностью в Московском регионе специалистов данного профиля.

Настоящее учебно-методическое пособие для 5 семестра 3 курса заочного отделения является первым в МГСУ и содержит не только отдельные разделы для освоения дисциплин, но и много другой интересной информации – история факультета, аннотация специальной литературы, фотографии современных объектов водохозяйственного комплекса. В дальнейшем планируется поэтапный выпуск таких же учебно-методических пособий для всего цикла заочного обучения.

Желаю Вам успеха в освоении изучаемых дисциплин.

Ректор МГСУ

Профессор, доктор технических наук

 В.И. Теличенко

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В последние годы ощущается острый дефицит специальной технической учебно-методической и справочной литературы, позволяющей студентам самостоятельно овладеть дисциплинами, предусмотренными Государственным образовательным стандартом.

Цель настоящего комплекса учебно-методических пособий – создать надежную базу для изучения студентами-заочниками предусмотренных учебными планами дисциплин, указать основные направления, цели и задачи изучаемого предмета, его связь с другими дисциплинами, сориентировать их в поиске основной и дополнительной литературы.

Комплекс учебно-методических пособий включает краткую историю факультета и 7 разделов по отдельным дисциплинам, которые написали ведущие преподаватели МГСУ: Предисловие и Краткая история факультета проф. Воронов Ю.В.; Раздел I – Введение в специальность - проф. Пугачев Е.А.; Раздел II – Гидравлика - проф. Орлов В.А.; Раздел III – Электротехника и электроника - проф. Гайдукевич В.И., проф. Глушков Г.Н. и к.т.н. Гайдукевич Я.В.; Раздел IV – Охрана окружающей среды - доц. Ивчатов А.Л.; Раздел V – Экология - доц. Трунова Н.А.; Раздел VI – Экологическое право и аудит - доц. Джангидзе З.У.; Раздел VII – Социология - проф. Иванова З.И. и ст. преп. Никитина Д.С.

## КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ФАКУЛЬТЕТА

Проблемы водоснабжения и водоотведения актуальны для любого общества. В двадцатые годы развивающаяся индустрия России и интенсивный рост городов потребовали значительного количества специалистов в области водоснабжения и канализации. В начале двадцатых годов в Московском высшем техническом училище на строительном факультете была создана кафедра Водоснабжение и канализация. В 1921 году после образования Московского инженерно-строительного института в нем создана специальность Водоснабжение и канализация, а в 1929 году образован факультет Водоснабжения и Канализации. Необходимость этой инженерной специальности полностью подтвердилась жизнью, сохранилась в настоящее время и, безусловно, возрастет в будущем.

Огромную работу по созданию специальности провели профессора Н.Н. Абрамов, Н.А. Базякина, Б.О. Ботук, Н.Н. Гениев, В.И. Калицун, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, Н.Г. Малишевский, П.И. Пискунов, В.Г. Турчинович, З.Н. Шишкин и др. В разные годы факультет возглавляли: З.Н. Шишкин, М.М. Порфирьев, В.И. Павлов, М.С. Заневский, С.В. Яковлев, В.С. Кедров, А.В. Минаев, И.В. Прозоров, П.П. Пальгунов. В настоящее время декан факультета проф. Ю.В. Воронов; заместители декана доценты В.А. Нечитаева, А.Л. Ивчатов, А.В. Михайлин.

Развитие промышленности в 50-х 60-х годах, ухудшение состояния окружающей среды, и особенно гидросферы, потребовали специалистов с высоким уровнем подготовки по технологии очистки природных и сточных вод. В 1964 г. по инициативе С.В. Яковлева и Н.Н. Абрамова была создана специальность «Технология очистки природных и сточных вод», предусматривающая углубленное изучение физических, химических, биологических процессов очистки природных и сточных вод, а также вопросов проектирования и конструирования очистных сооружений. В 1988 г. на базе двух существующих образована специальность 290800 «Водоснабжение, канализация, рациональное использование и охрана водных ресурсов», которая в 1994 г. получила наименование «Водоснабжение и водоотведение». Кафедра «Канализация» также была переименована в «Водоотведение».

Высокий профессиональный уровень инженеров по специальности «Водоснабжение и водоотведение» определяется значительным творческим потенциалом коллектива преподавателей и научных сотрудников факультета. На трех кафедрах: «Водоснабжение» - зав. кафедрой проф. М.А. Сомов; «Водоотведение» - зав. кафедрой проф. Ю.В. Воронов и «Охрана водных ресурсов» — зав. кафедрой проф. Б.Н. Фрог работают 13 профессоров и 21 доцент.

Факультет «Водоснабжение и водоотведение» является головным среди строительных и политехнических вузов, ведущих подготовку студентов по специальности 290800.

В настоящее время выпуск инженеров осуществляется по трем специализациям: 290801 (Системы и сооружения водоснабжения и водоотведе-

ния); 290802 (Очистка природных и сточных вод); 290803 (Охрана гидросферы и водная экология). По поручению Правительства Москвы для кадрового резерва МГП «Мосводоканал» на вечернем отделении факультета осуществляется обучение по ускоренной форме специалистов имеющих среднее техническое или высшее образование

На кафедрах «Водоснабжение» и «Водоотведение» было подготовлено свыше 250 кандидатов и докторов технических наук; в том числе для Афганистана, Болгарии, Вьетнама, Германии, Египта, Иордании, Китая, Кубы, Монголии, Польши, Сирии и других стран.

Преподаватели факультета являются авторами основных учебников по специальным дисциплинам. Ряд учебников и учебных пособий переведены на иностранные языки. Учебник «Канализация» для строительных техникумов (авторы С.В. Яковлев, Ю.М. Ласков), выдержавший семь изданий, в 1989 г. удостоен Государственной премии.

Многие преподаватели факультета приняли участие в создании Архитектурно-строительной энциклопедии и энциклопедии «Инженерное оборудование зданий и сооружений», а также энциклопедии «Наука Москве», посвященной 850-летию столицы. В настоящее время идет работа над разделами «Водоснабжение» и «Водоотведение» Большой Российской энциклопедии.

Проводимые коллективами кафедр научные исследования, отвечают как традициям научных школ кафедр, так и современным проблемам водного хозяйства коммунального и промышленного назначения.

Результаты работы кафедр внедрены на многих коммунальных и промышленных объектах Москвы, Московской обл., С.-Петербурга, Архангельска, Белгорода, Бийска, Волгограда, Самары, Ярославля, Осташкова, Уфы, Петрозаводска и десятках других городов и населенных пунктов, в также в Белоруссии, Грузии, Казахстане, Киргизии, Латвии, Литве, Таджикистане, Туркмении, Узбекистане, Украине, Эстонии.

Результаты исследований за последние несколько лет представлены на международных конгрессах и конференциях в России, Германии, Индии, Польше, США, Франции.

Факультет поддерживает тесные творческие связи с МГП «Мосводоканал» - крупнейшим объединением России; компаниями «Вавин» (Дания); «Дегремон» (Франция); Софийским Архитектурно-строительным Университетом (Болгария); Веймарским строительным Университетом (Германия).

В настоящее время развивается учебная и лабораторная базы факультета на Ярославском шоссе, оснащается экспонатами учебно-методический кабинет и музей по специальности «Водоснабжение и Водоотведение».

В 2001 г. В МГСУ решением Института инженеров-строителей (Лондон) специальность 290800 «Водоснабжение и водоотведение» получила международную аттестацию, а в 2004 г. впервые 19 выпускникам факультета, с отличием завершивших 5-ти летний срок обучения, были вручены не

только дипломы с отличием, , но и сертификаты международно аккредитованной специальности, что безусловно повысило престиж и специальности, и факультета, и университета..

На всех кафедрах факультета ведется подготовка научных кадров через аспирантуру и докторантуру

**Кафедра Водоснабжения** была образована в 1932 г. До разделения на две самостоятельные, кафедры её возглавлял проф. З.Н. Шишкин. В дальнейшем кафедрой водоснабжение руководили проф. Н.Н. Гениев, а с 1942 по 1979 заслуженный деятель науки и техники РСФСР, проф. Н.Н. Абрамов, оказавшие большое влияние на формирование специальности. Впоследствии заведующим кафедрой был проф. И.В. Прозоров.

Специальные дисциплины в начале 30-х годов вели профессора Н.Н. Гениев, А.А. Лаговский, В.Н. Поморцев С.Н. Строганов, З.Н. Шишкин. Они же были и авторами учебных пособий по профилирующим дисциплинам.

Создание на факультете новых специальностей привело к появлению новых дисциплин, среди которых следует отметить: «Технология очистки природных вод», «Рациональное использование водных ресурсов», «Водоснабжение промышленных предприятий» и др.

В научной и учебной работе кафедры поддерживает тесные связи с ведущими вузами, научными, проектными и производственными организациями. К научным направлениям кафедры следует отнести работы по экологии, рациональному использованию водных ресурсов, а также по совершенствованию и обеспечению надежности работы систем подачи и распределения воды внешних, внутренних и противопожарных системах водоснабжения городов, поселков и промышленных предприятий; разработке технологических схем совершенствования методов кондиционирования воды до уровня все ужесточающихся требований нормативов.

Научно-технический уровень исследований отмечен более чем 40 авторскими свидетельствами, а также медалями и дипломами ВДНХ, премиями Госкомитета по народному образованию и НТО ЖКХ. По результатам исследований написано 6 монографий и большое число статей, опубликованных в отечественных и зарубежных изданиях, сборниках семинаров, конференций и симпозиумов.

**Кафедра Водоотведения** (до 1994 г.- Канализации) была образована также в 1932 году, и ее первым заведующим стал З.Н. Шишкин.

На долю З.Н. Шишкина выпало руководство кафедрой во время Великой Отечественной войны и в первые послевоенные годы. Им был написан один из первых учебников по дисциплине «Канализация».

В период интенсивного восстановления экономики нашей страны с 1947 по 1953 год кафедрой руководит видный ученый и педагог Н.Д. Доброхотов. Наряду с теоретической подготовкой студентов, на кафедре развивается научная деятельность аспирантов, многие из которых впоследствии стали известными учеными, ведущими специалистами и области водо-



отведения и очистки сточных вод. Научные работы кафедры находят отражение в проектах многих очистных сооружений, в том числе Курьяновской станции аэрации.

Большой вклад в развитие специальности, подготовки студентов и научно-преподавательских кадров страны внес проф. Я.А. Карелин, возглавлявший кафедру с 1953 по 1959 год.

После объединения в 1959 году МИСИ и МИИГС кафедру возглавляет С.В. Яковлев, ныне академик РАН. На кафедре формируется научная школа, подготовившая целую плеяду профессорско-преподавательских и научных кадров России и зарубежных стран. В этот период на кафедре складываются постоянные направления научной деятельности такие, как: системы и сооружения водоотведения проф. В.И. Калицун; ряд направлений очистки производственных сточных вод с использованием разных типов биоокислителей проф. Ю.В. Воронов, доц. Т.А. Карюхина, профессора В.Н. Журов, В.П. Саломеев и И.Н. Чурбанова; физико-химических процессов проф. Пугачев Е.А., доц. Д.Д. Жуков, проф. Е.В. Алексеев.

В 1964 году после открытия новой специальности «Технология очистки природных и сточных вод», создаются новые курсы дисциплин, в частности «Технология очистки сточных вод».

С 1989 по 1997 г кафедрой руководил проф. Ю.М. Ласков, одновременно являясь руководителем отраслевой лаборатории по очистке сточных вод предприятий легкой промышленности.

Научная база кафедры Водоотведения представлена двумя лабораториями, ведущими исследования и разработку новых процессов очистки сточных вод биологическими и физико-химическими методами, опубликовано значительное количество научных трудов, учебников и методических материалов, подготовлено свыше 150 кандидатов технических наук, получено около 100 авторских свидетельств на изобретение и патентов.

За успехи в области подготовки и воспитания инженерных кадров ряд преподавателей отмечен государственными наградами.

**Кафедра охраны водных ресурсов** основана в 1997 году. Преподавательский состав кафедры: 3 профессора, 2 доцента и 2 старших преподавателя.

Для реализации научных работ преподавателей, аспирантов и проведения студенческих лабораторных работ кафедра располагает хорошей лабораторной базой. Лаборатории «Мониторинга водной среды» и «Эксплуатации сооружений систем водоснабжения и водоотведения» оснащены современными приборами.

Отраслевая лаборатория по интенсификации процессов водоподготовки, которой руководит проф. Фрог Б.Н., участвует в проектах по реконструкции очистных сооружений крупнейших ЦБК страны (Архангельского, Котласского, Сыктывкарского, Усть-Илимского). Результаты работ неоднократно выставлялись и докладывались на международных и российских конгрессах, конференциях и выставках.

## РАЗДЕЛ I. ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ

*Вода, у тебя нет ни цвета, ни вкуса, ни запаха,  
тебя невозможно описать, тобой наслаждаются,  
не ведая, что ты такое. Нельзя сказать,  
что необходимо для жизни: ты сама жизнь.*

*Ты исполняешь нас с радостью,  
которую не объяснишь нашими чувствами.*

*С тобой возвращаются к нам силы,  
с которыми мы уже простились.*

*По твоей милости в нас вновь начинают  
бурлить высохшие родники нашего сердца.*

*(А. де Сент-Экзюпери. Планета людей)*

### **Самое важное для жизни - вода.**

Вся жизнедеятельность человека связана с использованием воды, потребность в которой все возрастает. Одной из основных задач водоснабжения является обеспечение населения водой, отвечающей определенным санитарно-гигиеническим требованиям. Система водоснабжения - это комплекс инженерных сооружений и устройств, обеспечивающих получение воды из природных источников, её кондиционирование до требований потребителя, транспортирование и подачу воды потребителям в необходимых количествах, под требуемым напором и при соблюдении требований надёжности.

В современных условиях многочисленные потребители требуют воду различного качества. Рост водопотребления привел во всем мире к её количественному и качественному дефициту. Поэтому к решению задач водоснабжения требуется комплексный подход, предусматривающий интересы различных групп потребителей воды, рациональное её использование с учетом экологических аспектов и т.д.

Вода имеет первостепенное значение при большинстве химических реакций, в частности и биохимических. Древнее положение алхимиков - «тела не действуют, пока не растворены» - в значительной степени справедливо.

Человеческий зародыш содержит воды, %: трехдневный - 97, трехмесячный - 91, восьмимесячный - 81. У взрослого человека доля воды в организме составляет 65%.

Человек и животные могут в своем организме синтезировать первичную («ювенильную») воду, образовывать ее при сгорании пищевых продуктов и самих тканей. У верблюда, например, жир содержащийся в горбу, может путем окисления дать 40 л воды.

Связь между водой и жизнью столь велика, что даже позволила В.И. Вернадскому «рассматривать жизнь, как особую коллоидальную водную систему как особое царство природных вод».

Количество воды, содержащейся в живых существах составляет в каждый данный момент громадную величину. Силами жизни в течение одного года перемещаются десятые доли процента всего океана, а в немногие сотни лет через живое вещество проходят массы воды, превышающие массу Мирового океана.

## 1. ВОДА

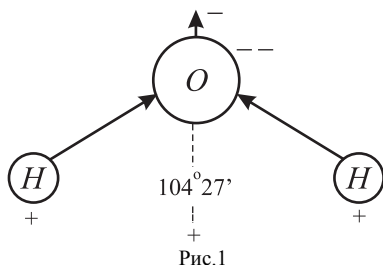
**Вода** - вещество привычное и необычное. Известный советский ученый академик И.В. Петрянов свою научно-популярную книгу о воде назвал «Самое необыкновенное вещество в мире». А доктор биологических наук Б.Ф. Сергеев начал свою книгу «Занимательная физиология» с главы о воде - «Вещество, которое создало нашу планету».

Ученые правы: нет на Земле вещества более важного для нас, чем обыкновенная вода, и в то же время не существует другого такого же вещества, в свойствах которого было бы столько противоречий и аномалий, сколько в её свойствах.

Почти  $3/4$  поверхности нашей планеты занято океанами и морями. Твёрдой водой - снегом и льдом - покрыто 20% суши. Из общего количества воды на Земле, равного 1 млрд. 386 млн. кубических километров, 1 млрд. 338 млн. кубических километров приходится на долю солёных вод Мирового океана, и только 35 млн. кубических километров приходится на долю пресных вод. Всего количества океанической воды хватило бы на то, чтобы покрыть ею земной шар слоем более 2,5 километров. На каждого жителя Земли приблизительно приходится 0,33 кубических километров морской воды и 0,008 кубических километров пресной воды. Но трудность в том, что подавляющая часть пресной воды на Земле находится в таком состоянии, которое делает её труднодоступной для человека. Почти 70% пресных вод заключено в ледниковых покровах полярных стран и в горных ледниках, 30% - в водоносных слоях под землёй, а в руслах всех рек содержатся одновременно всего лишь 0,006% пресных вод.

### Строение молекулы воды

Как известно, свойства химических соединений зависят от того, из каких элементов состоят их молекулы, и изменяются закономерно. Воду можно



рассматривать как оксид водорода или как гидрид кислорода. Атомы водорода и кислорода в молекуле воды расположены в углах равнобедренного треугольника с длиной связи О-Н 0,957 нм; валентный угол Н- О -Н  $104^{\circ}27'$  (см.рис. 1).

Но поскольку оба водородных атома расположены по одну сторону от

кислородного, электрические заряды в ней рассредоточиваются. Молекула воды полярна, что является причиной особого взаимодействия между разными её молекулами. Атомы водорода в молекуле воды, имея частичный положительный заряд, взаимодействуют с электронами атомов кислорода соседних молекул. Такая химическая связь называется водородной. Она объединяет молекулы воды в своеобразные полимеры пространственного строения. В водяном паре присутствует около 1% димеров воды.

### *Аномальные свойства воды*

Обратимся к общей характеристике свойств воды, делающих ее самым удивительным веществом на Земле. В таблице 1 представлены важнейшие аномальные свойства воды.

*Таблица 1*

*Аномальные свойства воды*

Свойства	Сравнение с другими веществами	Аномальность
Агрегатное состояние	Обычно только в твердой, жидкой и газообразной фазах	3 фазы
Теплоемкость	Для песка $8,4 \cdot 10^{-2}$ Дж/(кг*К)	$41,9 \cdot 10^{-2}$ Дж/(кг*К)
Энтальпия испарения	Наибольшая. В 8 раз больше, чем у спирта	539 кал/г
Энтальпия плавления	Наибольшая. В 27 раз больше, чем у спирта	80 кал/г
Температура замерзания - природной	Ожидаемая ниже $-80^{\circ}\text{C}$	$0^{\circ}\text{C}$
Температура замерзания - модифицированной	Ожидаемая $0^{\circ}\text{C}$	$< -50^{\circ}\text{C}$
Температура кипения	Ожидаемая ниже $-90^{\circ}\text{C}$	$100^{\circ}\text{C}$
Плотность - максимальная	Ожидаемая при температуре ниже $0^{\circ}\text{C}$	$4^{\circ}\text{C}$
- минимальная	Ожидаемая при температуре выше $0^{\circ}\text{C}$	$-0^{\circ}\text{C}$
Поверхностное натяжение	Наиболее высокое из всех жидкостей	$7,2 \cdot 10^{-2}$ Дж/м <sup>2</sup>
Теплопроводность	Наиболее высокая из всех жидкостей	0,63 Вт/(м*К)
Модуль упругости	Соизмерим с модулем упругости стали	15000 см <sup>2</sup> /кг

И первое, самое поразительное, свойство воды заключается в том, что вода принадлежит к единственному веществу на нашей планете, которое в обычных условиях температуры и давления может находиться в трех фазах, или трех агрегатных состояниях: в твердом (лед), жидком и газообразном (невидимый глазу пар).

Как хорошо известно, вода принята за образец меры - эталон для всех других веществ. Казалось бы, за эталон для физических констант следовало бы выбрать такое вещество, которое ведет себя самым нормальным, обычным образом. А получилось как раз наоборот.

Вода - самое аномальное вещество в природе.

Прежде всего, вода обладает исключительно высокой теплоемкостью по сравнению с другими жидкими и твердыми телами. Если теплоемкость воды принята за единицу, то, например, для спирта и глицерина она составит только 0,3; для песка каменной соли - 0,2; для ртути и платины - 0,03; для дерева (дуб, ель, сосна) - 0,6; для железа - 0,1 и т.д.

Другая аномалия воды - это необычайно высокая скрытая теплота испарения и скрытая теплота плавления, т. е. то количество тепла, которое необходимо, чтобы превратить жидкость в пар и лед в жидкость (иными словами, количество поглощаемой или высвобождаемой теплоты). Например, чтобы превратить 1 г льда в жидкость, необходимо затратить около 80 кал, в то время как само вещество лед - вода ни на долю градуса не повысит свою температуру. Как известно, температура тающего льда неизменно одинакова и равна 0° С. В то же время вода тающего льда из окружающей среды должна поглощать относительно громадное количество тепла (80 кал/г).

Такой же скачок мы наблюдаем при переходе воды в пар. Без повышения температуры кипящей воды, которая неизменно (при давлении 1 атм.) будет равна 100° С, сама вода должна поглотить из окружающей среды почти в 7 раз больше тепла, чем при таянии льда, а именно: 539 кал.

Если пар превращается в воду или вода переходит в лед, то такое же количество тепла в калориях (539 и 80) должно выделяться из воды и согревать среду, окружающую воду. У воды эти величины необыкновенно высоки. Например, скрытая теплота испарения у воды почти в 8 раз больше, а скрытая теплота плавления в 27 раз больше, чем у спирта.

Удивительной и совершенно неожиданной аномальной особенностью воды являются ее температуры замерзания и кипения. Если рассмотреть ряд соединений водорода с другими элементами, например с серой, селеном, теллуrom, то можно заметить, что существует закономерность между их молекулярными весами и температурами замерзания и кипения: чем выше молекулярные массы, тем выше температурные значения (табл. 2).

*Таблица 2*  
**Зависимость температуры замерзания и кипения некоторых соединений водорода от молекулярного веса**

Соединения водорода	Молекулярный вес	Температура, ° С	
		замерзания	кипения
H <sub>2</sub> Te	130	-51	-4
H <sub>2</sub> Se	81	-64	-42
H <sub>2</sub> S	34	-82	-61
H <sub>2</sub> O	18	0!	+100!

Еще более удивительное и не менее неожиданное свойство воды - это изменение ее плотности в зависимости от изменения температуры. Все вещества (кроме висмута) по мере повышения температуры увеличивают свой объем и уменьшают плотность. На интервале от  $+4^{\circ}\text{C}$  и выше вода увеличивает свой объем и уменьшает плотность, как и другие вещества, но начиная с  $+4^{\circ}\text{C}$  и ниже, вплоть до точки замерзания воды, плотность ее вновь начинает падать, а объем расширяться, и в момент замерзания происходит скачок, объем воды расширяется на  $1/11$  от объема жидкой воды.

Исключительное значение такой аномалии всем достаточно понятно. Если бы этой аномалии не было, лед не смог бы плавать, водоемы промерзли бы зимой до дна, что было бы катастрофой для всего живущего в воде. Впрочем, это свойство воды не всегда приятно для человека - замерзание воды в водопроводных трубах приводит к их разрыву.

Существует много других аномалий воды, например, температурный коэффициент расширения воды на интервале от  $0$  до  $45^{\circ}\text{C}$  увеличивается с ростом давления, а у других тел обычно наоборот. Аномальны также теплопроводность, зависимость диэлектрической проницаемости от давления, коэффициент самодиффузии и многие другие свойства.

Возникает вопрос, чем же объяснить эти аномалии?

Путь к объяснению, возможно, лежит в выявлении особенностей структур, образуемых молекулами воды при различных агрегатных (фазовых) состояниях, связанных с температурами, давлениями и другими условиями, в которых находится вода. К сожалению, единство во взглядах на этот вопрос отсутствует. Большая часть современных исследователей придерживается мнения о двухструктурной модели воды, согласно которой вода представляет собой смесь:

- 1) рыхлой льдоподобной и
- 2) плотно упакованной структур.

Кристаллы льда относятся к гексагональной сингонии, т. е. они имеют форму шестигранных призм (гексагонов). В структуре льда каждая молекула воды окружена четырьмя ближайшими к ней молекулами, находящимися от нее на одинаковом расстоянии. Таким образом, каждая молекула воды обладает координационным числом.

Молекулы воды располагаются так, что они соприкасаются разноименными полюсами (заряженными положительно и отрицательно). В структуре льда типа тридимита расстояние между молекулами  $4,5 \text{ \AA}$ , а в структуре типа кварца -  $4,2 \text{ \AA}$ . В первом случае это вода тающего льда с температурой около  $0^{\circ}\text{C}$ . Во втором случае более плотная упаковка молекул воды предполагается при температуре около  $+4^{\circ}\text{C}$ .

Таинственное расширение воды примерно на  $10\%$  при замерзании объясняется быстрой сменой плотно упакованной структуры на ажурную, рыхлую. В структуре льда из-за низкого координационного числа много пустот, которые даже больше самих молекул воды. Каждая пустота ограничена 6-ю

молекулами воды, и в то же время вокруг каждой молекулы воды в структуре льда имеется 6 центров пустот.

При температуре около  $+4^{\circ}\text{C}$  эти пустоты заполняются «свободными» молекулами воды и плотность ее становится максимальной. При дальнейшем повышении температуры вновь постепенно возникает все более и более рыхлая ажурная структура. В результате возрастающего теплового движения молекул (с повышением температуры) структура льда постепенно «размывается», происходит ослабление водородных связей и «размывание» структуры типа тридимита усиливается, плотность воды уменьшается, а объем ее увеличивается.

Необходимо еще раз подчеркнуть, что внутреннее строение жидкостей вообще, а воды в особенности, значительно сложнее, чем у твердых тел и газов. Природа воды чрезвычайно сложнее пока еще далеко не разгадана.

В 1962 г. в Костроме доцентом Н.Н. Федякиным была открыта новая разновидность химически чистой воды (помимо ее изотопических разновидностей). Это так называемая аномальная («модифицированная») вода, образующаяся из обычной в кварцевых капиллярах или на кварцевых пластинках. В капиллярах появляются самостоятельные дочерние столбики новой аномальной воды высокой вязкости, с уменьшенным давлением паров, с вязкостью и коэффициентом теплового расширения, в несколько раз большими, и с плотностью, на 40% больше, чем у обычной воды.

Пока аномальную воду можно получить из обыкновенной воды при конденсации паров только на кварце. Чистая аномальная вода представляет собой аморфно-стекловидную некристаллизующуюся массу с консистенцией вазелина.

Эта модифицированная вода имеет высокую устойчивость и вне капилляров ведет себя так же, как и в них. Она не замерзает, оставаясь жидкой даже при  $-50^{\circ}\text{C}$ .

Новый вид воды не смешивается с обычной, а образует с ней эмульсию. Модифицированная вода не кристаллизуется, она, подобно стеклу, представляет собой аморфную массу. Загадка ее происхождения пока не раскрыта, и ученые во всем мире ведут усиленные исследования. Во всяком случае, объяснить происхождение аномальной воды структурными особенностями нельзя. За рубежом ее называли «сверхводой».

Ф. А. Летниковым и Т. В. Кашевой была открыта у воды «память», или, «закалка». Бралась очень тщательно очищенная перегонками вода и подвергалась нагреванию до 200, 300, 400 и  $500^{\circ}\text{C}$  при давлении 1, 88, 390 и 800 атм. Температура и давление изменяют свойства воды, это было известно давно. Но вот что удивительно - некоторые новые свойства сохраняются у воды и после снятия высоких температур и давлений. Например, у воды в 4 раза повышалась способность к растворению некоторых солей.

Уже давно замечено изменение ряда свойств воды при воздействии на нее магнитного поля. Чем сильнее последнее, тем большие изменения про-

исходят с водой. Так, при изменениях напряженности достаточно сильного магнитного поля концентрация водородных ионов (H<sup>+</sup>) увеличивается в два раза, а поверхностное натяжение воды - в три раза.

Магнитное поле влияет также на скорость и характер кристаллизации солей, находящихся в воде в растворенном состоянии. Магнитная обработка воды приводит к уменьшению накипи в котлах, понижает смачиваемость водой поверхностей твердых тел, изменяет температуру кипения, степень вязкости, повышает скорости сгущения суспензий, фильтрации, затвердевания цемента, изменяет магнитную восприимчивость. Магнитное поле существенно меняет в концентрированных растворах теплоту гидратации (до 5%), что очень важно для глубоких рассолов.

Однако магнитное поле не оказывает влияния на чистую воду, т.е. воду, в растворе которой отсутствуют электролиты.

Магнитная вода, как и свежетакая, также обладает «памятью». Ее новые свойства имеют «полураспад» примерно в течение суток. Талой воде, как это установлено многочисленными наблюдениями, присуща повышенная биологическая активность, которая сохраняется некоторое время после таяния. По данным казанских биоников новые свойства как магнитной, так и талой воды объясняются изменениями, происходящими с ядрами водорода.

В настоящее время во многих странах организовано промышленное изготовление омагниченной воды в больших количествах.

Точкой перехода жидкой фазы воды в твердую при давлении в 1 атм. является температура 0° С. С повышением давления точка перехода воды в лед понижается при 600 атм. до - 5° С, при 2200 атм. до - 22° С. Но затем вода начинает вести себя совершенно удивительно: при 3530 атм. она переходит в лед только при -17° С, при 6380 атм. - при +0,16° С, а при 20 670 атм. лед имеет температуру +76° С - горячий лед, который мог бы дать ожог.

Немецкий ученый Г. Тамман и американский П. В. Бриджмен выявили шесть разновидностей льда:

I - обычный лед, существующий при давлении до 2200 атм., при дальнейшем увеличении давления переходит в II;

II - лед с уменьшением объема на 18%, тонет в воде, очень неустойчив и легко переходит в III;

III - также тяжелее воды и может непосредственно быть получен из льда I;

IV - легче воды, существует при небольших давлениях и температуре немного ниже 0° С, неустойчив и легко переходит в лед I;

V - может существовать при давлениях от 3600 до 6300 атм., он плотнее льда III, при повышении давления с треском мгновенно превращается в лед VI;

VI - плотнее льда V, при давлении около 21 000 атм. имеет температуру +76° С; может быть получен непосредственно воды при температуре +60° С и давлении 16 500 атм.



Приведенные выше давления могут существовать в геосферах до глубины 80 км. По мнению В. И. Вернадского, разности горячего льда существуют в литосфере в области физически связанных вод. Так, например, прочно связанная вода имеет плотность твердого тела (и это при обычном давлении) 2 г/см<sup>3</sup>. Такая вода замерзает лишь при - 78° С.

В 1969 г. в астрофизическом центре при университете в Толедо (штата Огайо, США) американские ученые А. Делсемм и А. Венджер открыли новую сверхплотную модификацию льда при температуре -173° С и давлении около 0,007 мм рт. ст. Этот лед имел плотность 2,32 г/см<sup>3</sup>, т. е. был близок по плотности к некоторым разновидностям гнейса (2,4 г/см<sup>3</sup>); он аморфен (не имеет кристаллического строения) и играет большую роль в физике планет и комет.

Свойства воды меняются также под воздействием электрического поля разной частоты. При этом интенсивность света в воде ослабевает, это связано с поглощением его лучей и, примерно на 15% изменяется скорость испарения воды.

В последнее время все большее число исследователей на основании полевых и лабораторных наблюдений приходит к выводу о значительной роли разности естественных электрических потенциалов для физических и химических особенностей природных вод.

Всякая вода в природе, включая снег, лед и дождь, является раствором различных веществ в форме ионов нейтральных молекул, мелких и крупных взвесей, живых существ (от бактерий до крупных животных) и продуктов их жизнедеятельности. Если говорить о находящихся в воде веществах, то, например, акад. В.И. Вернадский, рассматривавший воду как минерал, выделил 485 видов минералов группы воды (гидридов), сделав при этом оговорку, что им описана только меньшая часть видов воды и что общее их количество, вероятно, превысит 1500. Разумеется, такая классификация неприемлема, для практических целей, о ней упоминается только для иллюстрации многообразия химического состава природных вод, рассматривая воду как растворитель и минерал.

По целевому назначению воды могут быть подразделены на минеральные (лечебные), питьевые, хозяйственно-технические, термальные (для энергетических, лечебных и обогревательных целей).

Все перечисленные воды могут использоваться для добычи минеральных веществ (например, йод-бромные, калийные и т. д.), в качестве путей сообщения (водоемы, водотоки), для получения электроэнергии для поливов (ирригации), для лечебных (душей, пресных ванн, купания в природных условиях) и многих других целей.

### *Серебряная и талая вода*

Серебряная вода применялась в глубокой древности. Во всяком случае еще 2,5 тыс. лет назад персидский царь Кир во время походов пользовался

водой, сохраняемой в серебряных сосудах. В Индии обезвреживали воду, погружая в нее раскаленное серебро. Действительно, опыт тысячелетий показал, что вода, в течение некоторого времени находившаяся в серебряном сосуде, перелитая затем в бутылку и хранившаяся в течение года, не портилась.

Научные исследования серебряной воды были впервые поставлены в Швейцарии ботаником Негели в конце XIX в. В XX в. во многих странах, было проведено много работ по изучению эффективных способов получения и применения серебряной воды для самых разнообразных целей. В настоящее время в разных странах изготавливаются фабричные ионаторы для получения больших количеств серебряной воды различных концентраций.

Ионы серебра обладают антимикробным действием. Серебряная вода с успехом применялась для обеззараживания питьевых вод. При полете космонавта В. Быковского использовалась для питья серебряная вода. Электролитический раствор серебра может применяться для консервирования молока, сливочного масла, меланжа, маргарина, для повышения стойкости некоторых микстур, для ускорения процессов старения вин и улучшения их вкусовых качеств. Серебряная вода служит эффективным лечебным средством при воспалительных и гнойных процессах, вызванных бактериальным заражением, а также при лечении желудочно-кишечных заболеваний, язвенной болезни, воспалительных процессов носоглотки, глаз, ожогов и т. д. Серебряная вода применяется также в ветеринарии для профилактических и лечебных целей.

Не менее любопытно влияние на живой организм талой воды. Ее активное биологическое воздействие впервые было обнаружено в Арктике, когда при таянии льда было замечено интенсивное развитие планктона. Вода талого льда (и конечно снега) увеличивает в 1,5-2 раза урожайность сельскохозяйственных культур, прирост молодняка, оказывает омолаживающее действие на организм как животных, так и человека.

В талой воде сохраняются очаги ледяных структур. Это своего рода «память» воды, о которой уже было рассказано выше. Дело в том, что ледяная структура воды более рыхлая и в пустоты ледяной решетки идеально укладываются биомолекулы без их повреждения, с сохранением потенциальных жизненных функций.

Предполагается, что процесс старения организма сводится в значительной степени к нарастающему дефициту «ледяной» структуры биомолекул, разрушающейся влиянием менее структурированной воды.

При употреблении свежей талой воды очаги льдоподобной структуры размером 20А свободно проходят через стенки пищеварительного тракта и могут поступать в различные органы человека, производя оздоравливающее и омолаживающее воздействие на весь организм. В то же время установлено, что если растопить снег и вскипят полученную из него талую воду, то она теряет стимулирующее действие.

## ***Изотопические свойства воды***

В 1932 году американцы Г. Юри и Э. Осборн обнаружили, что даже в самой чистой воде, которую только можно получить в лабораторных условиях, содержится незначительное количество какого-то вещества, выражающегося, по-видимому, той же химической формулой  $H_2O$ , но обладающего молекулярным весом 20 вместо веса 18, присущего обычной воде. Юри назвал это вещество тяжёлой водой. Большой вес тяжёлой воды объясняется тем, что её молекулы состоят из атомов водорода с удвоенным атомным весом по сравнению с атомами обычного водорода. Двойной вес этих атомов в свою очередь обуславливается тем, что их ядра содержат, кроме единственного протона, составляющего ядро обычного водорода, ещё один нейтрон. Тяжёлый изотоп водорода получил название дейтерия (D или  $^2H$ ), а обычный водород стали называть протием. Тяжёлая вода, окись дейтерия, выражается формулой  $D_2O$ .

Вскоре был открыт третий, сверхтяжёлый изотоп водорода с одним протоном и двумя нейтронами в ядре, который был назван тритием (T или  $^3H$ ). В соединении с кислородом тритий образует сверхтяжёлую воду  $T_2O$  с молекулярным весом 22.

В природных водах содержится в среднем около 0,016% тяжёлой воды. Тяжёлая вода внешне похожа на обычную воду, но по многим физическим свойствам отличается от неё. Точка кипения тяжёлой воды  $101,4^\circ C$ , точка замерзания  $+3,8^\circ C$ . Тяжёлая вода на 11% тяжелее обычной. Удельный вес тяжёлой воды при температуре  $25^\circ C$  равен 1,1. Она хуже (на 5 - 15%) растворяет различные соли. В тяжёлой воде скорость протекания некоторых химических реакций иная, чем в обычной воде.

И в физиологическом отношении тяжёлая вода воздействует на живое вещество иначе: в отличие от обычной воды, обладающей живительной силой, тяжёлая вода совершенно инертна. Семена растений, если их поливать тяжёлой водой, не прорастают; головастики, микробы, черви, рыбы в тяжёлой воде не могут существовать; если животных поить одной тяжёлой водой, они погибнут от жажды. Тяжёлая вода - это мёртвая вода.

Существуют девять устойчивых изотопных разновидностей воды. Содержание их в пресной воде в среднем следующее:  $^1H_2^{16}O$  - 99,73%,  $^1H_2^{18}O$  - 0,2%,  $^1H_2^{17}O$  - 0,04%,  $^1H_2H^{16}O$  - 0,03%. Остальные пять изотопных разновидностей присутствуют в воде в ничтожно малых количествах.

## ***Химические свойства воды***

*Из химических* свойств воды особенно важны способность её молекул диссоциировать (распадаться) на ионы и способность воды растворять вещества разной химической природы.

Роль воды как главного и универсального растворителя определяется прежде всего полярностью её молекул и, как следствие, её чрезвычайно высокой диэлектрической проницаемостью. Разноимённые электрические за-

ряды, и в частности ионы, притягиваются друг к другу в воде в 80 раз слабее, чем притягивались бы в воздухе. Силы взаимного притяжения между молекулами или атомами погружённого в воду тела также слабее, чем в воздухе. Тепловому движению в этом случае легче разбить молекулы. Оттого и происходит растворение, в том числе многих труднорастворимых веществ.

Лишь незначительная доля молекул (одна из 500 000 000) подвергается электролитической диссоциации по схеме:



Однако, приведённое уравнение условное: не может существовать в водной среде лишённый электронной оболочки протон  $\text{H}^+$ . Он сразу соединяется с молекулой воды, образуя ион гидроксония  $\text{H}_3\text{O}^+$ , который в свою очередь объединяется с одной, двумя или тремя молекулами воды в  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{H}_5\text{O}_2^+$ ,  $\text{H}_7\text{O}_3^+$ .

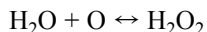
Электролитическая диссоциация воды - причина гидролиза солей слабых кислот и (или) оснований. Степень электролитической диссоциации заметно возрастает при повышении температуры.

Под действием ультрафиолетового излучения происходит фотодиссоциация воды на ионы  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ .

Ионизирующее излучение вызывает радиолиз воды с образованием  $\text{H}_2$ ;  $\text{H}_2\text{O}_2$  и свободных радикалов:  $\text{H}^*$ ;  $\text{OH}^*$ ;  $\text{O}^*$ .

Вода - реакционно-способное соединение.

Вода окисляется атомарным кислородом:

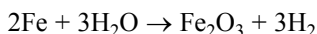


При взаимодействии с  $\text{F}_2$  образуется  $\text{HF}$ , а также  $\text{O}_2$ ;  $\text{O}_3$ ;  $\text{H}_2\text{O}_2$ ;  $\text{F}_2\text{O}$  и другие соединения.

С остальными галогенами при низких температурах вода реагирует с образованием смеси кислот.

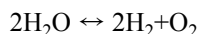
При обычных условиях с водой взаимодействует до половины растворённого в ней  $\text{Cl}_2$  и значительно меньшие количества  $\text{Br}_2$  и  $\text{I}_2$ .

Вода взаимодействует со многими металлами с образованием  $\text{H}_2$  и соответствующего гидроксида. Со щелочными и щелочноземельными металлами (кроме  $\text{Mg}$ ) эта реакция протекает уже при комнатной температуре. Менее активные металлы разлагают воду при повышенной температуре, например,  $\text{Mg}$  и  $\text{Zn}$  - выше  $100^\circ \text{C}$ ;  $\text{Fe}$  - выше  $600^\circ \text{C}$  :



При взаимодействии с водой многих оксидов образуются кислоты или основания.

Молекулы воды отличаются большой устойчивостью к нагреванию. Однако при температурах выше  $1000^\circ \text{C}$  водяной пар начинает разлагаться на водород и кислород:



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	4
<b>Краткая история факультета</b> .....	5
<b>Раздел I. Введение в специальность</b> .....	9
1. Вода .....	10
2. Водоснабжение .....	20
3. Водоотведение .....	37
<b>Раздел II. Гидравлика</b> .....	50
1. Основные физические свойства жидкости .....	51
2. Гидростатика .....	53
3. Гидродинамика .....	60
4. Гидравлические сопротивления .....	66
5. Истечение жидкости из отверстий, через насадки и водосливы .....	69
6. Гидравлический расчет напорных трубопроводов .....	73
7. Равномерное движение жидкости в открытых руслах .....	76
8. Движение грунтовых вод .....	79
9. Контрольные вопросы (задания) .....	81
<b>Раздел III. Электротехника и электроника</b> .....	84
1. Указания по изучению тем программы .....	84
2. Основы электроснабжения .....	104
3. Электрическое освещение .....	118
4. Электрооборудование, электротехнология .....	127
5. Электросварочные установки .....	133
6. Энергоэффективность .....	135
7. Основы электроники .....	138
8. Указания к выполнению контрольных работ .....	152
<b>Раздел IV. Охрана окружающей среды</b> .....	178
1. Основные факторы воздействия на биосферу .....	178
2. Основные загрязнители окружающей среды .....	179
3. Охрана атмосферы .....	181
4. Охрана гидросферы .....	188
5. Охрана литосферы .....	188
6. Основные факторы выбора места для создания СП .....	201
7. Экономическая эффективность природоохранных мероприятий .....	210
<b>Раздел V. Экология</b> .....	215
1. Понятие биосферы .....	216
2. Круговорот веществ в биосфере .....	219

3. Литосфера. Почва и почвенная экосистема .....	223
4. Вода. круговорот воды и водное хозяйство .....	226
5. Строение и состав атмосферы .....	228
6. Экология водопотребления и водоотведения .....	232
7. Контрольные вопросы .....	236
<b>Раздел VI. Экологическое право и аудит .....</b>	<b>242</b>
1. Экологическое право и экологическое законодательство .....	242
2. Экологический аудит .....	267
<b>Раздел VII. Социология .....</b>	<b>301</b>
1. Социология, как наука .....	301
2. Общество. Социальные изменения .....	309
3. Культура .....	314
4. Социальная структура .....	319
5. Социальные институты .....	324
6. Социальные группы .....	328
7. Личность и общество .....	333
8. Контрольные тесты к пройденному материалу .....	341
9. Практическая часть .....	353

Учебное издание

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОГО  
ОТДЕЛЕНИЯ ФАКУЛЬТЕТА  
ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ  
(III курс 5 семестр)**

Под общей редакцией  
проф. Воронова Ю.В. и доц. Ивчатова А.Л.

Компьютерная графика и верстка Д.А. Матвеев

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98 Сдано в набор 19.06.2004

Подписано к печати 03.11.2004 Формат 60×90/16.

Бумага газ. Гарнитура таймс. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 23. Заказ №                      II завод 1000 экз.

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)

129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, оф. 511

**тел/факс:** 183-5683

**http://**[www.iasv.ru](http://www.iasv.ru)

**e-mail:** [iasv@mgsu.ru](mailto:iasv@mgsu.ru)