

УДК 504.4:627.02

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВОДНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ДАЙВИНГА**Сирота Е.Н., Черунова И.В.***ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», филиал, Шахты,
e-mail: i_sch@mail.ru*

Статья содержит результаты исследований физических характеристик водной среды. Эти характеристики определяют исходные данные для информационной базы процесса проектирования защитного снаряжения для дайвинга. Определены особенности влияния воды на человека на глубине. Обозначены закономерности воздействия гидростатического давления на дайвера. Определены основные типы гидростатического давления, которые формируют различные условия дайвинга. Обоснованы функции воды как теплоизолятора для системы защитного снаряжения человека. Установлено, что, благодаря высокой удельной теплоемкости воды, суточные и сезонные колебания температур небольшие по сравнению с изменениями на суше. Океанические температурные колебания составляют несколько градусов, за исключением мелководья. Представлено, что на глубине менее 100 м для дайвинга колебания температуры в западной части океана в среднем находятся в границах от 5 до 28 °С. Температура и давление воды влияют на изменение теплопроводности. Они являются важными параметрами для проектирования снаряжения для дайвинга и определения граничных тепловых условий его эксплуатации в заданной акватории. Установлено, что по мере увеличения глубины, соленость воды уменьшается. Наибольшее снижение солености наблюдается до глубины 75–80 м. Такие глубины часто характерны для дайвинга. Представлены значения плотности морской воды в мировом океане при возможных диапазонах солености и температуры воды в водоёмах. Проведены аналитические исследования зависимости теплопроводности воды и водяного пара от температуры и давления с учетом критериев подводных погружений. Установлены средние значения температуры воды солёных и пресноводных водоёмов во время сезонного дайвинга. Установлена температура поверхности океана, которая меняется в зависимости от широты. Приведена среднегодовая температура в экваториальных водах для планирования дайвинга. Разработана температурная группировка условий для проектирования защитного снаряжения дайвинга. Систематизированы и представлены цифровые данные для информационного обеспечения автоматизированного проектирования защитного подводного снаряжения.

Ключевые слова: водоём, физические свойства воды, дайвинг, подводное снаряжение, акватория**STUDY OF THE PROPERTIES OF THE WATER ENVIRONMENT FOR DIVING****Sirota E.N., Cherunova I.V.***Don State Technical University, branch, Shakhty, e-mail: i_sch@mail.ru*

The article contains the results of research on the physical characteristics of the water environment. These characteristics determine the initial data for designing protective equipment in diving. The features of the influence of water on a person in the depth of reservoirs are determined. The regularities of hydrostatic pressure influence on a person are indicated. The main types of hydrostatic pressure that form various diving conditions are determined. The functions of water for thermal insulation of human protective equipment are justified. It was found that, due to the high specific heat capacity of water, daily and seasonal changes in water temperature are small compared to changes on land. Temperature changes in the ocean are several degrees. The exception applies to shallow water. It is shown that at a depth of less than 100 meters, temperature fluctuations in the Western part of the ocean average from 5 to 28 °C. Water temperature and pressure affect the change in thermal conductivity. This is important for designing equipment and determining the boundary thermal conditions of its operation in the water area. It is established that with increasing depth of the reservoir, the salinity of the water decreases. The greatest decrease in salinity is observed up to a depth of 75-80 meters. Such depths are often typical for diving. The values of sea water density in the world ocean at different ranges of salinity and temperature of water in reservoirs are presented. Analytical studies of the dependence of the thermal conductivity of water and water vapor on temperature and pressure, taking into account the conditions of underwater dives, were carried out. The average values of the water temperature of salt and freshwater reservoirs during seasonal diving have been established. The temperature of the ocean surface is set, which varies depending on the latitude. The average annual temperature in Equatorial waters for diving planning is given. A grouping of temperature conditions for designing protective equipment in diving has been developed. digital data for information support of computer-aided design of protective underwater equipment has been Systematized and presented.

Keywords: reservoir, physical properties of water, diving, underwater equipment, water area

Проектирование типовых видов одежды в большинстве случаев опирается на приспособленность человека к жизни в воздушной среде. Необходимость пребывания человека в водной среде имеет особенности, вызванные физическими свойствами и эффектами, формируемыми водой на различной глубине. Это важно учесть при проектировании специальных видов одежды для дайвинга.

Цель исследования: установление данных информационной базы о характеристиках условий водной среды для компонентов систем автоматизированного проектирования специальных средств защиты человека под водой.

Материал и методы исследования, использованные в научном исследовании, опираются на методы систематизации, логического структурирования, критериального анализа, факторного анализа.

Физические свойства воды существенно отличаются от свойств воздушной среды. Вода, которая относится к состоянию химически чистой, содержит весовую долю 11,19% водорода и 88,81% кислорода [1]. Такая вода при наличии нормальных условий давления кипит при +100°C. Фаза замерзания для такой воды отмечается при температуре 0°C. Наибольшая плотность относится к температуре +4°C. Далее при понижении температуры ниже +4°C объем воды увеличивается, а плотность воды уменьшается. В момент замерзания происходит резкое увеличение объема на 10% по отношению к объему жидкости [1, 2].

На различной глубине важнейшей характеристикой среды для подводных погружений является гидростатическое давление. При погружении ниже поверхности воды ощущается его давление на тело человека и вокруг него. С увеличением глубины сила подводного давления увеличивается [3]. Гидростатическим давлением называется усилие, приложенное столбом воды к поверхности равной площади [3]. Гидростатическое давление делится на абсолютное, весовое, избыточное, вакуум. Отличие заключается в разнице расположения точки отсчета. Абсолютное давление в жидкости включает в себя внешнее давление на жидкость и давление массы высоты столба жидкости [4].

Результаты исследования и их обсуждение

В целях проектирования защитного снаряжения для дайвинга необходимо учитывать, что сжимающее усилие направлено вниз. Изменение давления на 10^4 Па происходит при изменении глубины около 1 м. Таким образом, давление в океане варьируется от нуля (на поверхности) до 10^8 Па (самое глубокое).

При погружении в воду на дайвера давит сумма атмосферного и гидростатического давления. В табл. 1 представлено соотношение между глубиной водоёма и давлением воды, при использовании станции в северо-западной части Тихого океана в 41°53' с.ш., 146°18' в.д. [5].

Таблица 1
Соотношение между глубиной водоёма и давлением воды на примере северо-западной части Тихого океана

Давление, Па	Глубина, м
0	0
1000000	99
2000000	198
3000000	297
5000000	495
10000000	990
15000000	1453
20000000	1975
30000000	2956
40000000	3932
50000000	4904
60000000	5872

Однако представленные условия не характерны для большинства дайверов, так как погружения, как правило, выполняются на меньших глубинах и требуют дополнительной характеристики их физических условий.

При погружении в воду на человека (дайвера) давит сумма атмосферного и гидростатического давления. Физические характеристики водной среды на различных глубинах, типичных для распространенного дайвинга, представлены в табл. 2 [5, 6].

Наиболее важными характеристиками морской воды, совместно влияющими на ее плотность, являются температура и соленость [5, 7].

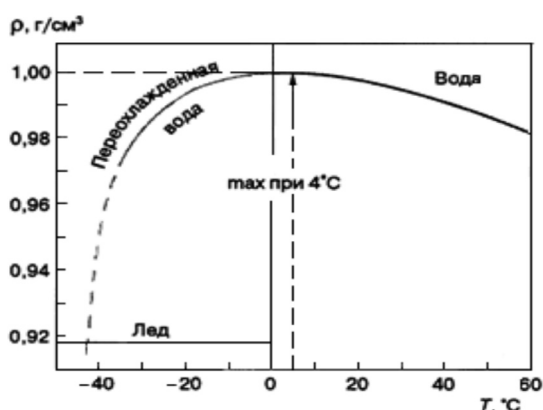
Таблица 2
Глубина океана и давление воды для типичных глубин дайвинга

Глубина, м	Атмосфера*	Гидростатическое давление, кПа	Давление окружающей среды, кПа
0	1	0,000	101,325
10	2	101,325	202,650
20	3	202,650	303,975
30	4	303,975	405,300
40	5	405,300	506,625
50	6	506,625	607,950
60	7	607,950	709,275

Примечание. *1 атмосфера = 101,325 кПа.

Температура морской воды на поверхности моря зависит от обмена теплом, полученным от солнца, и излучения земель. Поскольку нагревание планеты протекает неравномерно, температура поверхностного слоя океана меняется в зависимости от широты.

Теплоемкость воды существенно выше теплоемкости воздуха, но показатель её удельной теплоемкости меняется с изменением температуры и плотности воды. На рисунке представлено изменение плотности при повышении или понижении температуры воды в водоёме [8].



Зависимость плотности воды от температуры

Вода отличается теплопроводностью, которая делает ее неплохим теплоизолятором для условий дайвинга. За счет этого передача тепла в водной среде происходит в основном за счет смешивания слоев воды, за счет конвекции [1, 2]. Теплопроводность воды зависит от температуры. Для химически чистой воды коэффициент теплопроводности при температуре 0°C равен 0,00112 кал/см²·сек·град, при температуре 20°C равен 0,00143 кал/см²·сек·град [1].

Благодаря высокой удельной теплоемкости воды, суточные и сезонные колебания температур сравнительно невелики по сравнению с изменениями на суше, океанические температурные колебания составляют порядка нескольких градусов, за исключением мелководья.

На основе проведенных исследований вертикальных разрезов, показывающих среднее распределение температуры в океане [7], было установлено, что на глубине до 100 м колебания изменения температуры в западной части океана в среднем находятся в границах от 5 до 28°C, что является важными параметрами для проектирования

снаряжения для дайвинга и определения граничных тепловых условий его эксплуатации в заданной акватории.

Следующим показателем, влияющим на плотность воды, является соленость [7, 9]. Соленость верхнего слоя морской воды главным образом зависит от испарения и осадков, также на нее влияет образование и таяние морского льда, впадающие реки, еще одним фактором, влияющим на соленость, является температура воды (более теплая вода испаряется быстрее). В результате, наибольшие засоления обнаруживаются в субтропических регионах, от 20 до 30°C широты Севера и Юга, где испарение интенсивное, а количество осадков минимально [7]. По мере увеличения глубины, соленость воды уменьшается, при этом наиболее заметное снижение солености наблюдается до глубины 75–80 м. Такие глубины являются значительными, но достаточными для доступа открытого дайвинга даже в снаряжении (гидрокостюм) «мокрого» типа, которое в наибольшей степени подвержено влиянию гидростатического давления в соленой среде.

Показатель плотности воды важен, поскольку она определяет глубину, равномерное распределение водного участка, когда наименее плотный слой воды будет сверху, а плотнее всегда внизу. Плотность чистой воды при атмосферном давлении, без соли, при температуре 0°C составляет 1000 кг/м³. В открытом океане плотность воды на поверхности равна около 1021 кг/м³, и около 1070 кг/м³ при давлении 10⁸ Па [5].

В табл. 3 представлены значения плотности морской воды в любой точке мирового океана при всех возможных диапазонах солености и температуры [5].

Поскольку взаимосвязь температуры и солености морской воды определяется процессами, происходящими на границе воздух – море, можно утверждать, что характеристики плотности участка морской воды зависят от состояния поверхности моря. Температура морской воды варьирует в широких пределах (от –1 до 30°C), в то время как диапазон солености невелик (35,5 ± 2,0) [6, 7].

Свойства воды, такие как температура и давление, влияют на характер изменений теплопроводности. Эти параметры являются одними из определяющих условий для решения задач теплообмена человека (дайвера) с водной средой на глубине и применения для этого специальных материалов [9].

Таблица 3

Изменение плотности ($\Delta\sigma_t$) с изменениями температуры (ΔT) и солёности (ΔS) как функции температуры и солёности

Солёность	0	20	35	40	0	20	35	40
Температура (°C)	$\Delta\sigma_t$ для $\Delta T = +1^\circ\text{C}$				$\Delta\sigma_t$ для $\Delta S = +0,5$			
30	-0,31	-0,33	-0,34	-0,35	0,38	0,37	0,37	0,38
20	-0,21	-0,24	-0,27	-0,27	0,38	0,38	0,38	0,38
10	-0,09	-0,14	-0,18	-0,18	0,39	0,39	0,39	0,39
0	+0,06	-0,01	-0,06	-0,07	0,41	0,4	0,4	0,4

Таблица 4

Средняя температура воды солёных и пресноводных водоемов во время сезонного дайвинга

Солёные водоемы	Средняя температура воды в сезон погружений, °C	
Юг Красного моря	27,0	
Галапагосские острова (Тихий океан)	23,0	
Тенериф (Атлантический океан)	22,0	
остров Каталина	19,0	
Большой барьерный риф	27,5	
Мальдивы	29,0	
Палау (Тихий океан)	20,0	
Сипадан	29,0	
Тао	28,0	
Юкаган	26,0	
Баренцево море	8,0	
Мальта (Средиземное море)	22,5	
Пресноводные водоемы	поздняя весна, лето, ранняя осень, °C	поздняя осень, зима, ранняя весна, °C
р. Верховье Волги	18,0	10,0
р. Волга (р-н Астрахани)	25,0	7,0
р. Дон	21,0	10,0
р. Ока	17,0	1,0
о. Ладожское	17,0	1,0
Мраморный карьер (Карелия)	9,0	9,0
Финский залив	10,0	4,0

В рамках настоящей работы были проведены исследования зависимости теплопроводности воды и водяного пара от температуры и давления [10] с учетом критериев подводных погружений, для которых значение имеют водоёмы всех типов, включая не только моря, но и озера и реки. В результате систематизации полученных данных параметров и свойств водной среды в мировых водоёмах различного типа [11], установлены сводные температурные характеристики ориентированных на подводные погружения водоёмов в России и за рубежом, включая сведения, характерные для сезонных (наиболее востребованных) погружений в части туристического потока [12]. Установ-

лены средние значения температуры воды солёных и пресноводных водоемов во время сезонного дайвинга (табл. 4).

Таким образом, средние значения температуры воды для солёных водоемов в сезон погружений колеблются в интервале от 8 до 29 °C, пресных водоемов в зависимости от сезона погружений колеблются, в интервале от 9 до 25 °C в период весна-осень, в зимний – с 1 по 10 °C.

Водная среда отличается подвижностью. В зависимости от типа водного ресурса, перемещение воды в них происходит проточностью в реках, за счет воздействия температуры и ветра в озерах, а в морях и океанах на перемещение воды влияют приливы и отливы, также сильные течения

и штормы [1, 13]. В целом можно отметить, что температура поверхности океана меняется в зависимости от широты в диапазоне от -2 до 29°C , при этом среднегодовая температура $26-28^{\circ}\text{C}$ в экваториальных водах, около 0°C [1, 13]. Исходя из этих данных, температурные условия погружений с учетом сезонов можно разделить на несколько температурных групп: 1 – группа – от 0 до 10°C , 2 – группа – от 10 до 20°C , 3 – группа – от 20 до 30°C .

В результате проведенных исследований для проектирования специального снаряжения для дайвинга установлены основные параметры и свойства акваторий с учетом их географического, сезонного, глубинного факторов.

Установлены средние значения характеристик водной среды для дайвинга: средние значения гидростатического давления в зависимости от глубины погружения составляют от 0 до 1000000 Па. Температура воды в зависимости от глубины погружений составляет от 0°C до 29°C . Плотность воды зависит от температуры, давления и от солености. При этом параметры плотности водяного слоя могут колебаться от 1000 кг/м³ до 1070 кг/м³.

Заключение

Анализируя полученную информацию, можно сделать вывод, что условия подводных погружений относятся к категории высокой сложности, что требует особого внимания к способам и средствам обеспечения безопасности человека при выполнении различных задач под водой.

Установленные в результате проведенных исследований данные формируют информационную базу для компонентов систем автоматизированного проектирования специальных средств защиты человека под водой.

Список литературы / References

1. Уразметов И.А. Гидрология рек. Казань: Изд. ТГГПУ, 2007. 95 с.
2. Копылова-Валова В.Д., Веницианов Е.В. Вода в природе, значение и свойства // Сорбционные и хроматографические процессы. 2012. Т. 12. № 5. С. 828–838.
3. Александров Д.В., Зубарев А.Ю., Исакова Л.Ю. Прикладная гидродинамика: учебное пособие для вузов М.: Изд. Юрайт, 2018. 109 с.
4. Доманский И.В., Некрасов В.А. Механика жидкости и газа. М.: Изд. Лань, 2018. 140 с.
5. Talley L.D., Pickard G.L., Emery W.J., Swift J.H. Descriptive Physical Oceanography (Sixth Edition). Chapter 3: Physical Properties of Seawater. 2011. P. 29–65. DOI:10.1016/B978-0-7506-4552-2.10003-4.
6. Energy in the ocean. Chapter 18: Temperature and Pressure. 2017. P.441–465. [Electronic resource]. URL: <https://docplayer.net/34393749-Unit-energy-in-the-ocean.html> (date of access: 20.12.2019).
7. Ocean Biogeochemistry. Lab. Lecture 3: Temperature, Salinity, Density and Ocean Circulation. 2018. [Electronic resource]. URL: http://ocean.stanford.edu/courses/bomc/chem/lecture_03.pdf (date of access: 20.12.2019).
8. Шведов И.М. Сборник задач и упражнений по гидромеханике для практических занятий и самостоятельной работы. Часть I. Физические свойства жидкостей, гидростатическое давление при относительном равновесии. М.: МГГУ, 2008. 135 с.
9. Коринтели А.М., Лесникова Т.Ю., Сирота Е.Н. Физико-технические характеристики материалов для защитной спецодежды от водной среды // IV Национальная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная весна-2019: Технические науки». Шахты, 2019. С. 78–82.
10. Safarov J., Talibov M., Shahverdiyev A., Sirota E., Cherunova I., Zorer S., Hassel E. Thermophysical properties of thermal water resources. Chemie-Ingenieur-Technik. 2012. Vol. 84. № 8. P. 1415. DOI: 10.1002/cite.201250516.
11. Талыбов М.А., Сафаров Д.Т., Черунова И.В., Сирота Е.Н., Колесник С.А. Экспериментальные исследования для развития информационной базы минеральных вод // Инженерный вестник Дона. 2014. № 3 (30). [Электронный ресурс]. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2536 (дата обращения: 20.12.2019).
12. 10 лучших мест для дайвинга [Электронный ресурс]. URL: http://www.turizm.ru/advice/best/best_diving.htm (дата обращения: 20.12.2019).
13. Степановских А.С. Основные среды жизни. Экология. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 703 с.
14. Stepanovskih A.S. The basic medium of life. Ecology. M.: YUNITI-DANA, 2001. 703 p. (in Russian).