Поленин В.И.

Явление единой причинности дипольной природы наблюдаемости области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта лучом лазера и сигналом РЛС

(Россия, Санкт-Петербург)

doi:10.18411/spc-12-03-2019-10

idsp: sciencepublic-12-03-2019-10

Аннотация

Описываются причинно-следственные связи, лежащие в основе явления наблюдаемости области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта, включая ее выход на морскую поверхность, при освещении области в толще воды лучом лазера и облучении поверхности моря над объектом сигналом РЛС. Луч лазера в стационарной морской среде создает сигнал обратного рассеяния постоянного уровня. В области гидродинамических возмущений от подводного движущегося объекта наблюдается сигнал обратного рассеяния переменной яркости, соответствующей структуре и уровню возмущений. На поверхности воды наблюдается аналогичное явление обратного рассеяния электромагнитного излучения РЛС, формирующего в зоне выхода гидродинамических возмущений на поверхность бликовые эффекты на экране РЛС. Показывается, что эти явления имеют единую природу, обусловленную изменением пространственной ориентации диполей молекул и жидких кристаллов-кластеров воды в области гидродинамических возмущений, сопровождающих движение подводного объекта. Установление этого свойства, в случае его подтверждения опытными данными, отвечает требованиям квалификации открытия.

Ключевые слова: диполи молекул воды, магнитное поле Земли, подводный движущийся объект, жидкие кристаллы-кластеры, луч лазера, люминесценция, излучение РЛС.

Abstract

The relationships of cause and effect which are the cornerstone of the phenomenon of observability of area of hydrophysical indignations from an underwater moving object, including its exit to a sea surface when lighting the area in the thickness of water are described by a laser beam and radiation of a surface of the sea over an object a signal of radar station. The laser beam in the stationary marine environment creates a signal of a backscattering of a fixed level. In the field of hydrodynamic indignations from an underwater moving object the signal of a backscattering of variable brightness, to the relevant structure and level of indignations is observed. On a water surface the similar phenomenon of a backscattering of the electromagnetic radiation of radar station forming in a zone of an exit of hydrodynamic indignations to a surface glare effects on the screen of radar station is observed. Is shown that these phenomena have the uniform nature caused by change of dimensional orientation of dipoles of molecules and liquid crystals clusters of water in the field of the hydrodynamic indignations accompanying driving of an underwater object. Establishment of this property, in case of its confirmation by test data, meets the requirements of qualification of opening.

Keywords: dipoles of molecules of water, magnetic field of Earth, underwater moving object, liquid crystals clusters, laser beam, luminescence, radiation of radar station.

«Что может быть сделано на основе меньшего числа предположений, не следует делать, исходя из большего» Методологический принцип «Бритва Оккама»

1. Современное понимание причинности наблюдаемости области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта лучом лазера и сигналом РЛС. Постановка задачи

Рассматривается известное явление наблюдаемости области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта при осуществлении:

- в подводной среде – лидарного зондирования путем лазерного излучения в сине-зеленой части спектра и получения сигнала обратного рассеяния приемником, включающим объектив и фотодетектор;
- в воздушной среде – лидарного зондирования подводной среды и зондирования водной поверхности лучом РЛС.

Наблюдаемость гидродинамических возмущений водной среды, вызванных движением объекта, с применением лидара подтверждается рядом публикаций:

1. «... гидрофизические возмущения могут наблюдаться с помощью лидаров благодаря тому, что под их влиянием неоднородности распределения гидрооптических характеристик трансформируются в пространстве и во времени... Проведенные эксперименты подтвердили возможность дистанционной регистрации гидрофизических процессов» [19, с. 4].

2. «Современные дистанционные лазерные методы визуализации и вычисления компонент скорости движения частиц в жидкости позволяют производить измерения... возмущений поля скорости, вызванные движением сферы в водной толще» [17].

3. «Применение разработанного в ГОИ мощного лазера на переходах атомов меди (530 нм) позволило создать систему глубоководного лазерного зондирования (ЛЗ), для получения информации о гидрооптических неоднородностях с глубин до 100 м... Такая система ЛЗ позволяет обеспечить оперативный поиск мест залегания турбулентных полей» [3].

Что касается внешнего лидарного зондирования гидрофизических возмущений поверхности моря и подводной среды, то оно подтверждается следующими публикациями:

1. В работе [19, с. 4]: «...применение лидарных систем, установленных на авиа- и спутниковых носителях, значительно повышает производительность обследования акваторий».

2. Авиационные «лидары широко применяются при изучении и исследовании Мирового океана. Они используются... для изучения характеристик морского волнения, проявлений на поверхности процессов, происходящих в глубине океана» [22].

Далее, в отношении радиолокационной наблюдаемости области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта на поверхности моря:

1. «У исследований подводного обнаружения с использованием радара долгая история. Бернуллиевый «максимум» – пример возмущения, вызванного субмариной, распространяющегося по вертикали. Поток вокруг корпуса проявляется на поверхности как след Келвина» [30].

2. «Кластеры воды на границах раздела фаз (жидкость-воздух) выстраиваются в определенном порядке, при этом все кластеры колеблются с одинаковой частотой, приобретая одну общую частоту. При таком движении кластеров, учитывая, что входящие в кластер молекулы воды являются полярными, то есть, имеют большой дипольный момент, следует ожидать появления электромагнитного излучения» [12]. При этом показывается, что частота колебаний кластеров воды и, соответственно, частота электромагнитных колебаний соответствует частотам излучений, характерных для РЛС.

3. Известны свидетельства об имевшейся практике радиолокационного поиска подводных лодок в подводном положении по образуемым ими при движении возмущениям надводной среды [21, 25].

4. В публикации [29] «Представлено моделирование следов, возбуждаемых погруженным телом, в радиолокационных изображениях с высоким разрешением радара с синтезированной апертурой (SAR)».

Итак, наблюдаемость области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта при осуществлении лидарного зондирования и зондирования водной поверхности лучом РЛС подтверждается рядом публикаций.

По поводу физики явления наблюдаемости гидрофизических возмущений в публикациях приводятся следующие утверждения:

- «характер возмущений зависит от состояния водной среды (плотность, температура, давление)» [17];
- «задача о возможной связи параметров профилей показателя ослабления и гидрологических характеристик морской воды рассматривалась во многих работах... и все же единого мнения о закономерностях такой связи до сих пор нет» [19, с. 7];
- «...Образуются турбулентные плавучие ячейки, которые поднимаются и обнаруживаются радаром... регистрируемые радиолокационные наблюдения подобны наблюдениям, обусловленным отражениями от повышенных конвективных ячеек ... Хотя снимки, полученные со спутника Seasat, подтвердили, что при определенных условиях радар с синтезированной апертурой может обнаружить модуляцию ряби на морской поверхности, механизм этого явления еще недостаточно изучен» [26];
- радиолокационные наблюдения следа подводного объекта на поверхности воды вызваны «обнаружением тороидной волновой структуры,... которая... порождается «горбом Бернулли», который является частью следа Кельвина [21, 30] (рис. 1).

Рисунок 1. Гидродинамические возмущения при проходе подводной лодки [21]

Таким образом, современные взгляды на природу наблюдаемости области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта сводятся:

а) лазерным лучом – к влиянию гидрооптических показателей рассеяния, без указания физической причины наблюдаемости области гидродинамических возмущений, но с констатацией того, что «единого мнения о закономерностях такой связи до сих пор нет»;

б) сигналом РЛС – к турбулентности, «горбу Бернулли», следу Кельвина и модуляции ряби на морской поверхности, с акцентом на профильный характер их проявления и регистрации как неровностей на поверхности воды.

Наиболее общий вывод является следующим: «В институтах Академии наук и организациях промышленности был развернут комплекс фундаментальных, прикладных и технологических исследований как по физическому обоснованию принципов построения аппаратурных комплексов обнаружения гидрофизических возмущений от движущегося подводного объекта... Наиболее сложной оказалась проблема раскрытия закономерностей образования возмущений гидрофизических полей от подводных объектов как в толще вод, так и на морской поверхности» [7].

Не отрицая правомерность этих выводов и заключений, а также с учетом заключений о том, что причины наблюдаемости области гидродинамических возмущений с применением лидаров и РЛС достоверно не установлены, в статье ставится задача обосновать утверждение о том, что одной из основных причин наблюдаемости области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта лучом лазера и сигналом РЛС является дипольная природа явления обратного рассеяния, единая для обоих средств и способов наблюдения. Это знание является новым и в научных публикациях не встречается.

2. Явления, сопровождающие лазерное излучение в условиях стационарной морской среды

Факт 1. Известно, что лазерный луч световых волн небольшого частотного диапазона (от инфракрасного до ультрафиолетового) создает в воде явление люминесценции [10, с. 14-22], вызванного эффектом обратного рассеяния.

Современный взгляд, связанный с дипольной природой молекул воды, объясняет это явление тем, что молекулы воды являются электрическими диполями, которые при воздействии электрического поля света лазера проявляют свойство поглощения-излучения [11, 12, 14, 15] (рис. 2).

Рисунок 2. Молекула воды – диполь

Воды океанов и морей находятся в непрерывном движении, обусловленном геофизическими океаническими и морскими, ветровыми и приливо-отливными течениями [4, 6].

Поскольку диполь молекулы воды находится в движении, обусловленном морским (океанским) течением, то под влиянием магнитного поля Земли на оба заряда диполя (H – положительный, O – отрицательный) действует сила Лоренца – сила воздействия магнитного поля на движущуюся в нем точечную заряженную частицу [5, 8, 14, 20] (рис. 3).

Рисунок 3. Пространственная ориентация диполя молекулы воды во внешнем магнитном поле Земли в условиях стационарного течения, пересекающего линии магнитного поля

Направления действия силы Лоренца на положительный и отрицательный заряды диполя, противоположны. Поэтому в каждой точке земной поверхности в магнитном поле Земли существует только одно устойчивое положение (пространственная ориентация) диполя, объясняемое действием этой силы в данной точке.

Факт 2. Современная модель воды, названная кластерно-фрактальной моделью [13], включает свободные молекулы-диполи и их ассоциаты (около 60% объема воды), а также жидкие кристаллы-кластеры (около 40% объема воды).

Свободные, не связанные в ассоциаты, молекулы воды присутствуют в воде лишь в очень небольшом количестве. В основном же вода – это совокупность беспорядочных ассоциатов и «водяных кристаллов», где количество связанных в водородные связи молекул может достигать сотен и даже тысяч единиц (рис. 4).

Рисунок 4. Модель структуры воды, представляющая собой смесь свободных молекул и ассоциат кластеров (объединены контурными линиями) [28]

В условиях стационарного морского течения векторы статических электрических полей всех свободных молекул-диполей, их ассоциат и жидких кристаллов-кластеров имеют одинаковую пространственную ориентацию [11, 16]. Еще

Фарадей предсказал наличие в океане токов, вызванных простой индукцией, при движении морской воды в течениях поперек магнитных силовых линий земного магнитного поля. При горизонтальном направлении магнитных силовых линий магнитного поля Земли (в районе экватора) векторы статических электрических полей диполей морской воды будут направлены вертикально: для восточного течения – вверх (рис. 5), для западного течения – вниз.

Рисунок 5. Одинаковая пространственная ориентация диполей молекул воды в толще водной среды и на поверхности моря в условиях стационарного морского течения восточного направления и воздействия магнитных силовых линий магнитного поля Земли горизонтальной направленности

Факт 3. Молекулы воды как люминесцирующего вещества оптически анизотропны, т. е. по разным направлениям они обладают разными оптическими свойствами, и на них по-разному действует электрический вектор возбуждающего света лазера. Направление, в котором явления поглощения-излучения молекулы проявляются в наибольшей степени, называют направлением поглощающих и излучающих осцилляторов [10, с. 332].

Поскольку под влиянием магнитного поля Земли векторы электростатической напряженности $\vec{E}_{\text{диполя}}$ всех свободных молекул-диполей, их ассоциатов и жидких кристаллов-кластеров имеют одинаковую пространственную ориентацию, то вдоль луча лазера интенсивность поглощения-излучения, т. е. люминесценции, будет неизменной [18]. В некотором произвольном направлении эта интенсивность характеризуется диаграммой направленности инициируемого поглощения-излучения (рис. 6).

Рисунок 6. Индикатрисса излучения и диаграмма направленности инициируемого поглощения-излучения диполя молекулы воды

Направление инициируемого поглощения-излучения совпадает с направлением вектора $\vec{E}_{\text{эл. поля лазера}}$ напряженности электрического поля луча лазера, лежащего в плоскости поляризации лазерного излучения (рис. 7).

Рисунок 7. Схема пространственной ориентации вектора электростатической напряженности диполя и плоскости поляризации луча лазера

Следствие. Уровень сигнала обратного рассеяния, принимаемый фотодатчиком лазера, будет иметь по трассе луча характер малых случайных колебаний при закономерном уменьшении амплитуды по мере увеличения расстояния за счет рассеяния излучения (рис. 8).

Рисунок 8. Характер изменения уровня сигнала обратного рассеяния по дальности, принимаемого фотодатчиком лазера вдоль трассы луча при неизменности направления излучения

Что касается изменения показателя поглощения океанской воды, то его принято считать тем же, что и у чистой воды [24].

3. Явление дипольной природы наблюдаемости области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта и по его следу

Факт 4. В условиях гидродинамических возмущений, возникающих в области обтекания подводного движущегося объекта, ориентация свободных молекул-диполей, их ассоциатов и жидких кристаллов-кластеров в пространстве изменяется.

Природа обтекания подводного движущегося объекта такова, что вокруг него слои воды изменяют свое направление или ориентацию в пространстве, а вслед за объектом образуются симметрично расположенные вихри [23, 25] (рис. 9).

Векторное цветное поле скоростей воды при обтекании цилиндра
Рисунок 9. Гидродинамические явления при обтекании подводного движущегося объекта

Направления слоев жидкости и симметричные вихри при обтекании подводного движущегося объекта

По мере поочередного отрыва вихрей они располагаются сзади по следу подводного движущегося объекта и постепенно ослабевают по причине потерь из-за вязкости воды.

В указанных областях обтекания подводного движущегося объекта имеет место послойное, приблизительно повторяющее конфигурацию слоев, изменение пространственной ориентации диполей воды (рис. 10).

Рисунок 10. Пространственная ориентация диполей молекул воды в условиях стационарного морского течения и в области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта

Известно, что после снятия возмущений свободные диполи молекул воды и их ассоциаты восстанавливают нарушенную пространственную ориентацию относительно магнитного поля Земли за короткое время (релаксации) порядка 10-12 секунд. А вот диполи жидких кристаллов-кластеров после окончания возмущающего воздействия вновь ориентируются магнитным полем Земли лишь через 30-40 мин [9, 13], что характеризует устойчивость явлений гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта.

Следствия:

1) в области водной среды, прилегающей к подводному движущемуся объекту, векторы электростатической напряженности диполей молекул воды и жидких кристаллов-кластеров будут изменять направление в соответствии с

гидродинамической ориентацией слоев и вихрей, создаваемой подводным движущимся объектом;

2) вызванные внешними возмущениями изменения направлений векторов электростатической напряженности диполей жидких кристаллов-кластеров, составляющих свыше 40% общего объема воды, сохранятся в каждом сечении области гидрофизических возмущений в течение 30-40 минут с момента их образования;

3) при пересечении лучом лазера этой области непосредственно у подводного движущегося объекта и по следу объекта, будет иметь место флуктуация обратного рассеяния в соответствии с ориентацией слоев и вихрей в области гидрофизических возмущений.

Уровень сигнала, принимаемый фотодатчиком лазера, по трассе луча в пределах области гидродинамических возмущений от подводного движущегося объекта и по его следу приобретет характер случайных колебаний в соответствии с гидродинамической ориентацией слоев и вихрей (рис. 11).

Рисунок 11. Изменение характера уровня сигнала обратного рассеяния по дальности, принимаемого фотодатчиком лазера вдоль трассы луча, пересечении лучом лазера области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта

Новое знание 1: Установление явления дипольной природы наблюдаемости области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта, при освещении области в толще воды лазерным лучом, что обусловлено устойчивым во времени изменением направлений пространственной ориентации диполей жидких кристаллов-кластеров, вызванным гидрофизическими возмущениями.

4. Явление дипольной природы наблюдаемости области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта и по его следу на поверхности моря

Факт 5. Наиболее глубоко явление возбуждения гидродинамических возмущений на поверхности моря при обтекании подводного движущегося объекта (шара) исследовано в работе [2]. Предложено новое решение задачи, целью которого является вычисление возвышения свободной поверхности жидкости (корабельной волны), а не волнового сопротивления. Облик геометрических форм возмущений поверхности воды, характерных для реалистичных значений числа Фруда $F = V / \sqrt{gh}$, где V – скорость движения, h – глубина погружения шара, представлен на рис. 12.

Оси: x – по направлению, y – поперек движения объекта, z – вертикально вверх; a – радиус шара; ζ – глубина профиля поверхности

Рисунок 12. Профиль подводных гидрофизических возмущений и поверхностной корабельной волны в области подводного движущегося объекта и по его следу при различных значениях числа Фруда

Похожие результаты опубликованы в статье [27] (рис. 13).

Оси: x – по направлению, y – поперек направления движения объекта, z – вертикально вверх; D – радиус шара; шкала справа – компонент скорости волнового поля по направлению оси x

Рисунок 13. Профиль подводных гидрофизических возмущений и поверхностной корабельной волны в области подводного движущегося объекта и по его следу при различных значениях числа Фруда

Таким образом, при обтекании водой подводного движущегося объекта, зоны гидродинамических возмущений возникают и на поверхности моря.

Очевидно, что поверхностный слой воды в этих зонах будет содержать жидкие кристаллы-кластеры с пространственной ориентацией диполей, определяемой воздействием гидродинамических возмущений, достигающих поверхности воды.

Известно, что «кластеры воды на границах раздела фаз (жидкость-воздух) выстраиваются в определенном порядке, при этом все кластеры колеблются с одинаковой частотой, приобретая одну общую частоту, более высокую, чем характерна для отдельных диполей... Установлено, что частота колебаний кластера и, соответственно, частота электромагнитных колебаний... равна $6,79 \cdot 10^9$ Гц, то есть длина волны в свободном пространстве должна составлять $\lambda = 4,4$ мм» [12]. В [9] ошибочно указан результат расчета длины волны $\lambda = 14,18$ мм.

Известно, что эти параметры электромагнитного излучения входят в диапазоны волн, используемых в практической радиолокации, конкретно, в навигационных РЛС, в РЛС поиска воздушных и надводных целей и в РЛС управления оружием [1].

Следовательно, облучение поверхности моря поляризованным сигналом РЛС будет сопровождаться явлением обратного рассеяния, уровень которого определяется углом между вектором напряженности электрического поля луча РЛС и векторами электростатической напряженности диполей кластеров.

В зонах гидродинамических возмущений, выхода на поверхность слоёв воды и вихрей с измененной в пространстве ориентацией диполей кластеров, очевидно, должно наблюдаться явление хаотического изменения обратного отражения электромагнитного излучения РЛС. Это, в свою очередь, должно вызвать бликовые эффекты на экране РЛС, которые яркостью и симметрией должны соответствовать контурам области возмущений, т. е. полезному сигналу, что является индикатором обнаружения подводного движущегося объекта,

Новое знание 2: Установление явления дипольной природы наблюдаемости области гидрофизических возмущений, прилегающей к подводному движущемуся объекту и по его следу, при облучении поверхности моря над объектом сигналом РЛС, что обусловлено устойчивым во времени изменением направлений пространственной ориентации диполей жидких кристаллов-кластеров, вызванным гидрофизическими возмущениями от подводного движущегося объекта, достигающими поверхности воды (рис. 13),

Рисунок 13. Пространственная ориентация диполей молекул воды и жидких кристаллов-кластеров в толще водной среды и на поверхности моря в условиях стационарного морского течения и в области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта

Итоговое новое знание: В целом имеет место открытие явления единой причинности дипольной природы наблюдаемости области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта, при освещении области в толще воды лучом лазера и облучении поверхности моря над объектом сигналом РЛС.

В заключение необходимо отметить, что открытие этого явления подтверждается следующим заключением, сходным по содержанию: «Обнаружена люминесценция водных и биологических сред в радиодиапазоне. Люминесценция наблюдается в ДМ диапазоне при воздействии на среды ММ радиоволн, оптического излучения He-Ne лазера, магнитного и электрических полей... Источником радиоволновой люминесценции являются резонансные молекулярные колебания водосодержащих сред и негэнтропийные переходы, вызываемые синхронизацией

колебаний и пространственной анизотропией молекулярных структур под влиянием внешних воздействий... Люминесценция водных сред, вызванная статическими магнитными и электрическими полями, связана с фазовым переходом второго рода в ориентированное состояние магнитных и электрических моментов молекулярных структур. Возникшая ориентационная анизотропия приводит к пространственной анизотропии собственных резонансных излучений молекулярных водных структур и концентрации излучения в преимущественном направлении» [15].

Практическая значимость предполагаемого открытия обусловливается появлением возможности, для обеспечения наилучшей чувствительности к выявлению аномалии, регулирования уровня сигнала обратного рассеяния при освещении области в толще воды лучом лазера и облучении поверхности моря над объектом сигналом РЛС за счет управляемого изменения ориентации плоскости поляризации излучения с учетом местных условий – направления течения и угла магнитного склонения.

1. Активные и пассивные радиотехнические средства в системе наблюдения за обстановкой в интересах корабельной группы / С.Ю. Иванов, В.М. Баишев, В.А. Попов // Морская радиоэлектроника. - СПб: 2013, №1 [43] (март 2013 г.).
2. Аржанников А. В., Котельников И. А. Метод решения нестационарной задачи о возбуждении корабельных волн подводным объектом // Новосибирский государственный университет. – URL: http://www.phys.nsu.ru/vestnik/catalogue/2015/04/Vestnik_NSU_15T10V4_p43_p59.pdf. – Дата обращения 20.11.2018.
3. Гольдин И.Д., Утенков Б.И., Эмдин В.С. Гидрооптические системы контроля параметров морской среды. – СПб: «Морская радиоэлектроника», №3 [3], декабрь 2002 г.
4. Движение в Мировом океане. <http://www.activestudy.info/dvizhenie-v-mirovom-okeane> // Зооинженерный факультет МСХА. <http://www.activestudy.info/dvizhenie-v-mirovom-okeane/>. – Дата обращения 20.11.2018.
5. Долженко А. О некоторых явлениях при движении диполя в магнитном поле. – URL: http://alex-dolzhenko.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=397:o-nekotorykh-yavleniyakh-pri-dvizhenii-dipolya-v-magnitnom-pole&catid=14&Itemid=40 – Дата обращения 07.07.2018.
6. Доронин Ю. П.. Физика океана. Учебник для специальности «Океанология». – СПб.: СПбГУ, 2010. – 236 с.
7. Достижения отечественных ученых и инженеров в области создания гидрофизических средств освещения подводной обстановки / Родионов А.А., Брамсон М.А., Ермош В.К., Скопин Н.А. // Монография «Роль российской науки в создании отечественного подводного флота» // Рос. акад. наук ; под общ. ред. А.А. Саркисова. — М.: Наука, 2008. — 656 с. С. 633-644.
8. Жданов Л. С., Жданов Г. Л. Физика для средних специальных учебных заведений: Учебник.—4-е изд., испр.—М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. — 512 с. – С. 385.
9. Зенин С.В., Тяглов Б.В. Гидрофобная модель структуры ассоциатов молекул воды. Ж.Физ.химии.1994.Т.68.№4., Мосин О.В. Обладает ли вода структурой? – URL: http://www.o8ode.ru/article/energo/water_structure.htm – Дата обращения 04.07.2018.
10. Константинова-Шлезингер М.А. Люминесцентный анализ. – М.: Физматгиз, 1961. – 401 с.
11. Магнитные и электрические явления в океане. – URL: <http://www.activestudy.info/magnitnye-i-elektricheskie-yavleniya-v-okeane> / Зооинженерный факультет МСХА. – Дата обращения 05.11.2018
12. Мосин О.В. Воздействие на воду электромагнитных волн. – URL: <https://refdb.ru/look/3830547.html>. – Дата обращения 13.05.2018.
13. Мосин О.В. Обладает ли вода структурой? – URL: http://www.o8ode.ru/article/energo/water_structure.htm. – Дата обращения 04.07.2018.
14. Основы физики воды / Антонченко В.Я., Давыдов А.С., Ильин В.В.; Отв.ред. Бродин М.С.; АН УССР. Институт теоретической физики.— Киев : Наук. Думка, 1991, — 672 с.,
15. Петросян В.И. Радиоволновая люминесценция воды и биосред. – URL: radiovolnovaya-luminescenciya-vody-i-biosred.pdf. – Документ с сайта aquatone.su.
16. Показеев К.В., Чаплина Т.О., Чашечкин Ю.Д. Оптика океана: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2010. – 216 с. – СС. 19-25.
17. Полетаева М.А. Экспериментальное исследование гидрофизических возмущений поля скорости, вызванного движением подводного объекта сферической формы, методом объемных измерений // 13-я Всероссийская конференция «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» // ФГУП «Крыловский государственный научный центр». – СПб: Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (Санкт-Петербург).
18. Поляризованная люминесценция // Большая Российская энциклопедия: электронная версия// . - URL: <https://bigenc.ru/physics/text/3156836>. – Дата обращения 15.09.2018.
19. Родионов М.А. Исследование возможностей лидарной диагностики гидрофизических полей на основе гидрологических и гидрооптических измерений в северных морях России. – Автореф. дисс. канд. физмат. наук. – СПб.: 2012. – 27 с., Родионов М.А. Исследование возможностей лидарной

- диагностики гидрофизических полей на основе гидрологических и гидрооптических измерений в северных морях России. – Автореф. дисс. канд. физмат. наук. – СПб.: 2012. – 27 с.
20. Смык А.Ф. Физика. Часть 2. Электромагнетизм: Курс лекций // Моск. гос. ун-т печати. – Москва: МГУП, 2007. – 160 с.
 21. Тимохин А.С. В море им не спрятаться. О радиолокационном обнаружении подводных лодок. Сайт Око планеты. URL: <https://oko-planet.su/politik/politikarm/464541-v-more-im-ne-spryatatsya-o-radiolokacionnom-obnaruzhenii-podvodnyh-lodok.html>. – Дата обращения 20.11.2018.
 22. Фейгелс В.И. Оптимизация параметров лидаров для дистанционного лазерного зондирования океана и континентального шельфа: автореферат дис. к.ф.-м.н.: 05.27.03; 11.00.08 / Ленингр. ин-т точной механики и оптики. – Л.: 1991. – 19 с.
 23. Чижинцов С.Д. Основы гидродинамики. – Комсомольск-на-Амуре : ГОУВПО «КнАГТУ», 2007. – 106 с. – С. 87.
 24. Шифрин К.С. Введение в оптику океана. – М.: Гидрометеиздат, 1983. – 280 с. – С. 71.
 25. Шорыгин О.П. Свободные кольцевые вихри в жидкости // Ученые Записки ЦАГИ, том IV, 1973 №4.. – С. 48-56.
 26. DTIC ADB228588: A Review of NIDAR / Merrill I. Skolnik // Radar Division. – April 1975. – URL: https://archive.org/details/DTIC_ADB228588/page/n1. – Дата обращения 12.10.2018.
 27. Parameterization of the Near-Field Internal Wave Field Generated by a Submarine / James W. Rottman , Kyle A. Brucker, Douglas Dommermuth, Dave Broutman // 28th Symposium on Naval Hydrodynamics Pasadena, California, 12-17 September 2010. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/266619540>. – Дата обращения 30.12.2018.
 28. Rustum Roy, W.A. Tiller, Iris Bell, M. R. Hoover. The Structure Of Liquid Water; Novel Insights From Materials Research; Potential Relevance To Homeopathy // Materials Research Innovations, vol. 9, issue 4, December 2005, pp. 577-608. – URL: https://www.researchgate.net/publication/252170362_The_Structure_Of_Liquid_Water_Novel_Insights_From_Materials_Research_Potential_Relevance_To_Homeopathy. – Дата обращения 20.11.2018.
 29. Simulation of synthetic aperture radar imaging of dynamic wakes of submerged body / Peng Liu, Ya-Qiu Jin // Journals & Magazines: IET Radar, Sonar & Navigation. Volume: 11, Issue: 3. – P. 481 – 489. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7887099>. – Дата публикации: 24.04.2017.
 30. Tunaley J.K.E. The Bernoulli Hump Generated by a Submarine. – URL: <http://www.london-research-and-development.com/Bernoulli-Hump.pdf>. – Дата обращения 01.03.2015.
-