



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет Гидрологический

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему «Изучение режима течений Азовского моря в 2006г. с
использованием прибора нового поколения “Вектор -2”

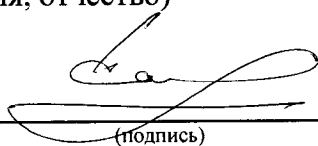
Исполнитель Бурменский Юрий Алексеевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Жукова Светлана Витальевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Декан


(подпись)

К.Г.Н. ДОЦЕНТ

(ученая степень, ученое звание)

Сакович Владимир Михайлович

(фамилия, имя, отчество)

«20» 06 2016 г.

Санкт-Петербург
2016

Содержание

Введение	4
Глава I. Физико-географическая характеристика Азовского моря	7
1.1. Географические особенности и основные черты морфологии	7
1.2. Климатические особенности	11
1.2.1. Основные климатообразующие факторы	11
1.2.2. Температура воздуха	13
1.2.3. Ветровой режим	15
1.2.4. Влажность воздуха	17
1.2.5. Атмосферные осадки	18
1.2.6. Особые метеорологические явления	19
1.3. Краткая характеристика гидрологического режима	21
1.3.1. Температура воды	21
1.3.2. Соленость и плотность	23
1.3.3. Оптические свойства(прозрачность и цвет) воды	26
1.3.4. Основные элементы водного баланса	27
1.3.5. Уровень моря	28
1.3.6. Режим течений	30
1.3.7. Ветровое волнение	33
Глава II. Материалы и методика. Конструктивные особенности прибора нового поколения "Вектор-2"	35
2.1. Способы произведения наблюдений над морскими течениями	35
2.1.1. Навигационный способ	36
2.1.2. Бутылочная почта	37
2.1.3. Наблюдение над течениями с помощью поплавков	37
2.1.4. Измерение течений с помощью ЭМИТ	40
2.1.5. Измерения течений морской вертушкой	41
2.1.6. Самописцы течений	45
2.2. Назначение и область применения измерителя направления и скорости течений "Вектор-2"	56
2.2.1. Описание прибора	57
2.2.2. Основные технические характеристики	61
Глава III. Режим течений	62
3.1. Факторы, определяющие течения	62
3.1.1. Ветер	62
3.1.2. Материковый сток	66
3.1.3. Волнение	66
3.2. Описание режима течений	70
3.2.1. Особенности режима течений открытого моря	70
3.2.2. Течения при северо-восточном ветре	72
3.2.3. Течения при юго-западном ветре	73
3.2.4. Характеристика скоростей течения	74

3.2.5. Сезонная изменчивость течений	75
3.3. Режим течений в прибрежных районах	75
3.4. Ветровые течения	86
Глава IV. Пространственно временная изменчивость скоростей и направлений течений Азовского моря в 2006 году	93
4.1. Анализ данных по вертикальному распределению направления и скорости течения Азовского моря в апреле 2006 года	93
4.2. Анализ данных по вертикальному распределению направления и скорости течения Азовского моря в августе 2006 года	100
4.3. Анализ пространственного распределения скоростей течений в апреле 2006 года	109
4.4. Анализ пространственного распределения скоростей течений в августе 2006 года	112
Заключение	116
Литература	119

ВВЕДЕНИЕ

Азовское море является одним из наиболее изученных морей Мирового океана. С организацией системы наблюдений на станциях и постах бассейнов наиболее крупных рек (Дон и Кубань), развитием сети морских гидрометеорологических станций (на побережье моря) наиболее детально изучены такие параметры гидрометеорологического режима, как материковый сток, температура воздуха и воды в прибрежных районах, направление и скорость ветра, атмосферное давление и влажность воздуха и т.д. Помимо этого, в различные годы рядом научных учреждений и организаций проведены экспедиционные исследования по изучению гидрометеорологического режима открытой части моря. Регулярный мониторинг гидрометеорологического режима осуществляется с 1960 г. Азовским научно-исследовательским институтом рыбного хозяйства (АзНИИРХ), который проводит ежегодно 3-4 экспедиции весной, летом и осенью. Несмотря на это, процессы переноса водных масс – являются наиболее слабым звеном в цепи изучения гидрологического режима моря. Сопряжено это со сложностью организации в открытой части моря специальных наблюдений по изучению течений, необходимостью специальной приборной базы и значительных временных затрат. К настоящему времени накоплен незначительный ряд отрывочных данных эпизодических наблюдений, в частности в районе Керченского пролива (Альтман, 1975), данных наблюдений на рейдовых вертикалях в прибрежной зоне.

В 2006 г. Азовским научно-исследовательским институтом рыбного хозяйства введен в эксплуатацию прибор нового поколения «Вектор-2». Автономный измеритель течений «ВЕКТОР – 2» - зондирующий прибор нового поколения (внесен в Государственный реестр средств измерений, регистрационный номер 23326-01). Прибор предназначен для измерения скорости и направления течений в морях и пресноводных водоемах на

глубинах от 1 до 2000 м в режиме реального времени.

Материал для написания дипломного проекта собран во время прохождения преддипломной и производственной практик в лаборатории гидрологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения "Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства" (ФГБНУ "АзНИИРХ").

Изучение направлений и скоростей течений Азовского моря в ФГБНУ "АзНИИРХ" проводится с 2006 г. в комплексных океанографических экспедициях весной, летом и осенью. В 2006 г., данные экспедиционных исследований которого использованы в дипломном проекте, в результате сокращения бюджета, были проведены только две комплексных экспедиции (в апреле и августе). Учитывая, что 2006 г. является переломным периодом в формировании режима солености моря (начиная с 2007 г. начался процесс осолонения Азовского моря), нами принято решение изучить режим течений именно в этот период). Измерения направлений и скоростей течений с помощью прибора «Вектор - 2» произведены на вертикалях 34-х станций, равномерно расположенных по акватории моря. Изучение скоростей течения производилось на трех горизонтах: поверхность, 5 м и придонный слой. Заданная частота импульса прибора составляла 30 секунд, а продолжительность измерения в каждой точке - 5 минут. Для анализа направлений и скоростей течений обработано более 10000 данных. Сформированный ряд генеральной совокупности данных представлен более 150 точечными измерениями направлений и скоростей течения на каждой вертикали стандартной сетки станций Азовского моря.

Главной целью настоящей работы является – изучить режим течений Азовского моря в 2006 г. с помощью измерителя направлений и скоростей течения «Вектор-2». Поэтапное изучение режима течений Азовского моря в 2006 г. предусматривало решение следующих задач.

Задачи исследования:

1. Изучить конструктивные особенности зондирующего комплекса "Вектор-2";
2. Оценить роль факторов, определяющих динамические процессы переноса водных масс Азовского моря;
3. Произвести анализ пространственного и горизонтального распределений течений в Азовском море;
4. Выявить особенности изменения режима течений Азовского моря в 2006 г.

В работе, помимо данных экспедиционных исследований, использованы литературные данные.

ГЛАВА I

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АЗОВСКОГО МОРЯ

1.1. Географическое положение и основные черты морфологии

Азовское море, одно из самых маленьких морей в мире, расположено на южной окраине Русской равнины. Оно находится между $45^{\circ}17'$ и $47^{\circ}17'$ с.ш. и $34^{\circ}49'$ и $39^{\circ}18'$ в.д., почти со всех сторон окружено сушей и лишь в южной части сообщается с Черным морем через неглубокий (минимальная глубина 5 м) Керченский пролив, имеющий минимальную ширину – 4 км и длину около 40 км. Площадь моря составляет 39 тыс. км². Наибольшая длина от косы Арабатская стрелка до устья реки Дон 360 км, а максимальная ширина между вершинами Белосарайского и Темрюкского заливов 180 км.

Средняя глубина этого мелководного моря 8,5 м, максимальная – 13 м. При средней глубине общий объем воды 290 км³. Береговая линия составляет 2686 км, из которых более половины территориально принадлежат Украине.

Рельеф дна ровный. Выравненность рельефа достигнута в результате погребения неровностей кровли континентальных верхнеплейстоценовых суглинков под толщей морских осадков (мощность 30-40 м). Только в западной части моря, в районе морских банок, и на востоке между косой Елениной и Железинской банкой равнинная поверхность дна моря нарушается небольшими локальными поднятиями, которые возвышаются относительно окружающих участков на 3- 4 м. В центральной части более половины площади занимает глубина от 10 до 13 м. Около 43% площади моря охватывает зона глубин 5-10 м. Изобата с глубиной 10 м проходит довольно близко к Керченскому полуострову, а у северного и западного побережья удалена от берега на 30-40 км (рис.1).

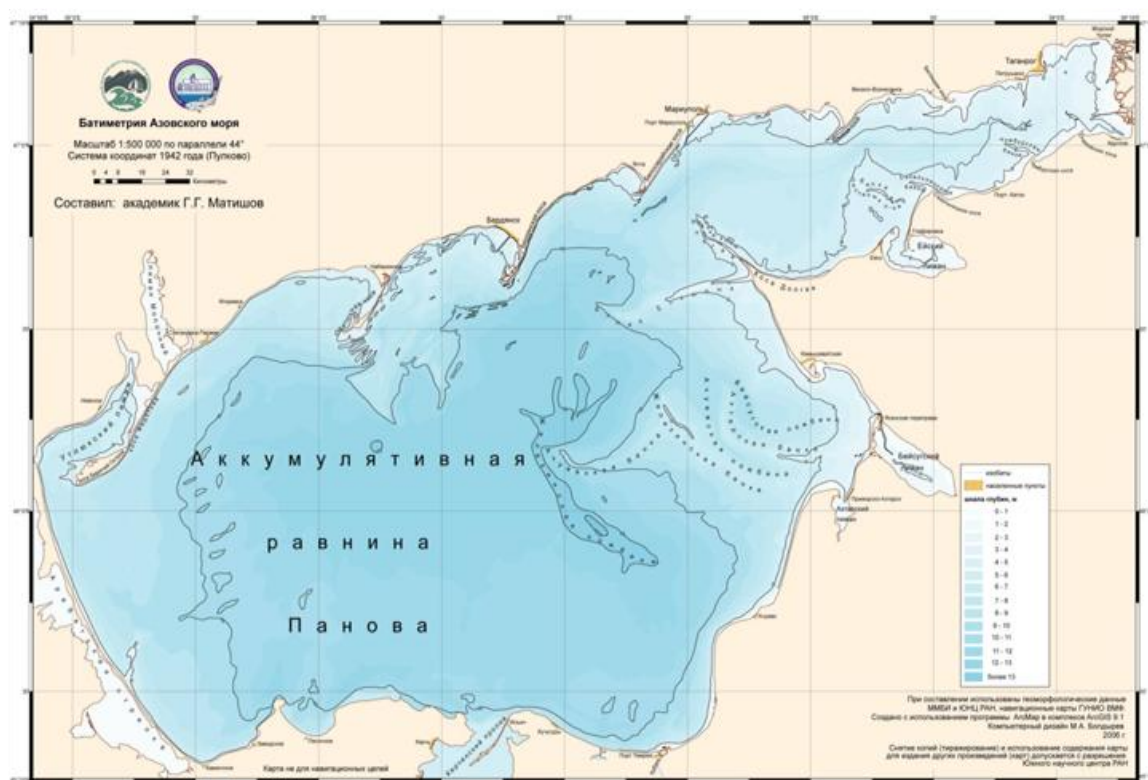


Рисунок 1 – Батиметрическая карта Азовского моря [Матишов, 2006, <http://esimo.oceanography.ru/esp1>]

Большая часть берегов моря плоская и однообразная. На севере и востоке они сложены из глинистых и песчаных отложений, поэтому интенсивно разрушаются. В результате активного размыва берегов в море ежегодно поступает около 17 млн. тонн материала [Гидрометеорологический справочник., 1962]. По многолетним наблюдениям, на северном побережье море наступает на сушу со средней скоростью 0,5-1,0 м в год, максимально - до 3,2 м/год. Только берега Керченского и Таманского полуостровов более устойчивы, так как там имеются выходы прочных известняков. Прибойная полоса в большей части представляет песчано-ракушечные пляжи. Лесов на берегах нет и только встречаются заросли кустарников и небольшие группы деревьев. Во многих местах, особенно устьев рек, имеются многочисленные лиманы, большинство из которых содержит лечебные грязи. Северный берег Азовского моря простирается от г. Геническа на восток до Таганрогского залива. Почти на всем протяжении он ровный, обрывистый и

пересечен во многих местах балками. Высота берега над уровнем моря не превышает 55 м. Характерной особенностью являются длинные песчаные косы, отходящие далеко в море к юго-западу под влиянием преобладающих восточных и северо-восточных ветров. Длина кос возрастает с востока на запад: Белосарайская коса - 14 км, Бердянская - 23, Обиточная - 30 и Федотова - 42 км. Оконечности их окаймлены многочисленными отмелями, конфигурация которых постоянно меняется. Восточные берега кос ровные, а западные извилистые. Образование кос - результат многовековой работы волн, их взаимодействия с берегом и морским дном. Преобладающие ветры восточного и северо-восточного направления вызывают круговые течения, обуславливающие перемещение отложений на юго-запад и вынос донных отложений к оконечностям постепенно нарастающих кос. Между косами расположены Белосарайский, Бердянский и Обиточный заливы. Между косой Федотова и берегом материка располагается большой и мелководный Утлюкский лиман. В заливах, между косами, идет размыв берега, поступление материала на образование самих кос. Высота берега в Утлюкском лимане, на западе Обиточного залива достигает 5-7 м, а в середине Обиточного залива, в Бердянском 30-40 м. Прибрежная полоса в виде узкого песчаного пляжа расширяется лишь в долинах впадающих рек и в районах кос. Пляжи состоят из кварцевого песка и битой ракушки, в основном створок двухстворчатых моллюсков кардиума и митиллястера. Западный берег образован ракушечно-песчаным баром (косой) - Арабатская стрелка. Она отделяет от Азовского моря обширный мелководный залив Сиваш. Коса тянется на 110 км в северо-западном направлении от Арабатского залива до г. Геническа. Здесь она почти вплотную подходит к материковому берегу, отделяясь от него узким проливом Тонкий, через который осуществляется водообмен между Сивашом и Азовским морем. Первые описания Сиваша и Арабатской стрелки принадлежат Страбону (63 г. до н.э. - 23 г. н.э.). Сиваш, по его описанию - Гнилое море или озеро Сапра является лишь западной частью Меотиды, весьма болотисто, едва судоходно

для свитых из кожи лодок, так как ветры легко обнажают мели и снова накрывают их водой. Восточный берег моря образован Прикубанской низменностью. Он простирается от косы Долгая на юг до Курчанского лимана. Южная часть берега, от устья Кубани до Ачуевской косы, представляет собой так называемые приазовские плавни. На севере эта часть берега возвышена и обрывиста. Во многих местах берег прорезан гирлами лиманов и озер. На участке от Темрюкского до Ясенского заливов в море впадает главный рукав реки Кубань - Протока. Южный берег моря, образованный Керченским и Таманским полуостровами, холмистый и обрывистый, местами от берега выступают утесистые мысы. В восточную часть южного берега вдаются Темрюкский, а в западную - Казантипский и Арабатский заливы. Только здесь, на Керченском полуострове, встречаются участки скалистого побережья, особенно в районах выступающих мысов: Казантип, Зюк, Хрони и др., сложенных в основном из мшанковых известняков, образовавшихся на рифах древнего Меотического-Сарматского бассейна. В Азовском море единственным большим проливом является Керченский пролив. Длина его около 48 км, ширина от 3 до 30 км, а глубина не превышает 7 м. На востоке моря находится самый большой залив - Таганрогский. Протяженность его 140 км, ширина возрастает с востока на запад, наибольшая 52 км, наименьшая - около 26 км. Площадь залива 5,3 тыс. км² или 13,6 % всей поверхности моря. [Гидрометеорология и гидрохимия..., 1991]. Наибольшая глубина 9 м, средняя - 4,9 м. Северный берег Таганрогского залива, от г. Мариуполя до устья реки Дон, высокий и обрывистый, пересечен оврагами и балками. От берега выступает несколько небольших песчаных кос, среди которых выделяются Кривая, Беглицкая. Южный берег аналогичен северному: высокий, обрывистый, прорезан балками. От него так же отходят несколько кос, из которых самая длинная - Долгая.

В Азовском море мало островов, они низкие и небольшие, и обычно при нагонных ветрах большинство из них накрывается водой. До 1929 года

самым крупным островом считался остров Бирючий, расположенный у северного побережья в западной части моря. Соединившись с косой Федотова, он образовал восточный берег Утлюкского лимана. Небольшие острова расположены вдоль западных берегов кос: Бердянской, Обиточной. Какикосы, острова служат местами гнездовья многих водоплавающих птиц и поэтому объявлены природоохранными заказниками. В 7 км от г. Мариуполя имеется узкий остров Ляпина, а в 2 км южнее входа в порт Таганрог лежит искусственный остров Черепаха, насыпанный по указанию Петра I. Интересной особенностью Азовского моря является продолжающаяся вулканическая деятельность в Темрюкском заливе. Она сопровождается периодическим образованием грязевых островов, постепенно размывающихся морем.

Грунты в море в основном мягкие. У берегов, до глубины 2-3 м, располагаются песчаные грунты с примесью ракушки, а с глубиной от 4 до 8-9 м залегает илистый ракушечник. В восточной части моря он далеко простирается вглубь, образуя обширные банки - Еленинскую и Железинскую. Дно центральных районов моря (глубины более 10м) покрыты мягкими глинистыми илами. Скалистые грунты встречаются лишь у южного берега моря. В отдельных прибрежных районах, особенно в северных заливах, встречаются россыпи мелких камней и гальки. Специфической особенностью грунтов Азовского моря является обилие ракушечника и раковин двухстворчатых моллюсков.

1.2. Климатические особенности

1.2.1. Основные климатообразующие факторы

Климат Азовского моря относится к континентальному умеренных широт. В его формировании играет роль не только географическое положение и большое количество поступающей солнечной радиации, но и отражающие свойства поверхности, а также циркуляция атмосферы. Континентальные черты климата более заметно выражены в северной части

моря, для которой характерны относительно холодная зима, с оттепелями и пасмурными периодами, преимущественно сухое и жаркое лето. В южных районах моря эти сезоны более мягкие и влажные.

Годовое количество суммарной солнечной радиации изменяется от 4850 МДж/м² в вершине Таганрогского залива до 5250 МДж/м² на юго-востоке моря (Темрюкский залив). Только 25 % этой суммы составляет рассеянная радиация, остальное количество приходится на долю прямой радиации. Изолинии суммарной радиации располагаются зонально, а ее значения растут в направлении с севера на юг. Наибольшее количество поглощенной радиации (4300 МДж/м²) приходится на центральный и юго-восточный районы моря. Годовой ход как суммарной, так и поглощенной радиации имеет максимум в июле и минимум в декабре. В целом за год радиационный баланс на Азовском море выше нуля. В восточной части Таганрогского залива годовая сумма баланса минимальна и составляет 2400 МДж/м². Максимальные (2700-2750 МДж/м²) суммы баланса находятся в центральном районе моря, несколько уменьшаясь к берегам. В осенне-зимний период радиационный баланс отрицателен, однако его величина незначительна. Тепловой баланс в среднем за год больше нуля в центральной части моря и меньше его в прибрежной мелководной части моря и Таганрогском заливе. Максимальная разность между центральной и прибрежной зонами достигает 1190 МДж/м². Наибольший отрицательный тепловой баланс наблюдается в центральной части Таганрогского залива (-500 МДж/м²), а наибольший положительный - в районе Керченского пролива (около 500 МДж/м²). Характерно, что экстремальные значения годового испарения наблюдаются в тех же районах. [Гидрометеорология и гидрохимия..., 1991].

Циркуляция атмосферы, обеспечивает вынос в рассматриваемый район воздушных морских масс с Атлантики и арктических морей и континентальных масс воздуха с обширных районов Евразии. Характерной особенностью атмосферной циркуляции в районе Азовского моря является

ослабление циклонической деятельности, и усиление антициклоничной при общем уменьшении интенсивности атмосферных процессов по сравнению с центральными районами Европейской части России. Сезонные особенности погоды на Азовском море формируются под влиянием крупномасштабных синоптических процессов. В осенне-зимнее время на Азовское море воздействует отрог Сибирского антициклона, а в весенне-летнее отрог Азорского максимума.

1.2.2. Температура воздуха

Температура воздуха определяется особенностями радиационного режима, сезонной циркуляцией атмосферы и рельефа. Средняя годовая температура воздуха по всей акватории Азовского моря, включая прибрежные станции и открытую часть моря, колеблется в пределах от 8,5 до 11,5⁰ С, повышаясь с севера на юг. Самые низкие среднегодовые температуры воздуха наблюдаются в Таганрогском заливе главным образом в его северной части, самые высокие – вдоль южного побережья и в Керченском проливе.

Изотермы располагаются широтно. Наиболее они сближены в северной части моря, наиболее разрежены в центральной его части. Сезонные колебания температуры воздуха над Азовским морем довольно значительны. Самыми холодными месяцами на побережье являются январь-февраль. Средняя температура их изменяется от 0-1⁰ С на юге до -5⁰ С и ниже на севере. К июлю–августу температура постепенно увеличивается с заметным повышением ее весной, когда изменчивость от марта к маю достигает от 8⁰ С на юге до 19⁰ С на севере. Наиболее высокие среднемесячные температуры в годовом ходе на побережье наблюдаются в июле-августе (23-25⁰ С). С августа температура воздуха начинает плавно понижаться. Абсолютный минимум температуры на побережье -33,3⁰ С, абсолютный максимум 43,0⁰ С [Гидрометеорология и гидрохимия..., 1991].

Наибольшие годовые колебания температуры наблюдаются на побережье, особенно в его северо-восточной части, наименьшие - в открытой части моря. В целом над акваторией Азовского моря изменения температуры в течение года происходят синхронно. В суточном ходе температура воздуха имеет один и один минимум, в различные сезоны сроки наступления максимума и минимума несколько различаются. Ход температуры воздуха и отклонения от нормы среднемесячных значений показан на примере морской гидрометеорологической станции (МГМС) Темрюк (рис.2).

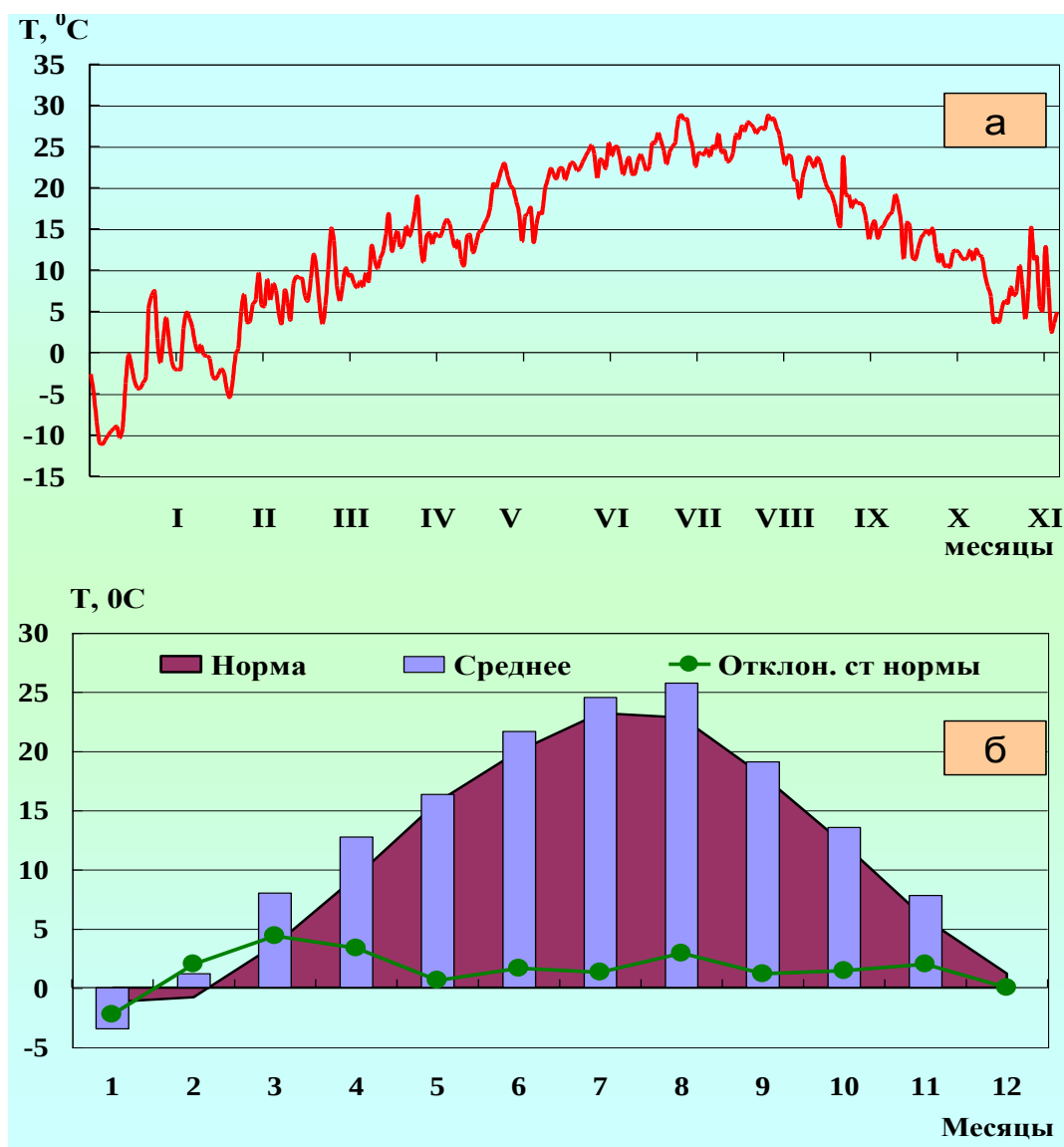


Рисунок 2 – Среднесуточные (а), среднемесячные температуры воздуха, нормы и отклонения от нормы (б), по данным МГМС Темрюк, 2008 г. [по данным сектора гидрологии ФГУП «АзНИИРХ»]

Наступление экстремальных суточных температур над открытой частью моря запаздывает по сравнению с сушей. Средний многолетний размах суточного хода температуры воздуха наибольший на северном и северо-восточном побережье моря летом ($5-10^{\circ}\text{C}$), наименьший ($1,5-2,5^{\circ}\text{C}$) наблюдается в основном зимой на южном побережье. В переходные сезоны суточный ход температуры воздуха на Азовском море колеблется в пределах $3-6^{\circ}\text{C}$.

1.2.3. Ветровой режим

Практически в течение всего года над Азовским морем преобладают ветры северо-восточных и восточных румбов. Ветры этих направлений более ярко выражены с сентября по апрель, когда общая повторяемость их составляет 30-60 %. Кроме этих ветров, с мая - июня по август увеличивается повторяемость западных и юго-западных ветров (повторяемость 50 %). Средняя месячная скорость ветра в течение года составляет 3-7 м/с, причем в холодный период года она больше, чем в теплый (рис.3).

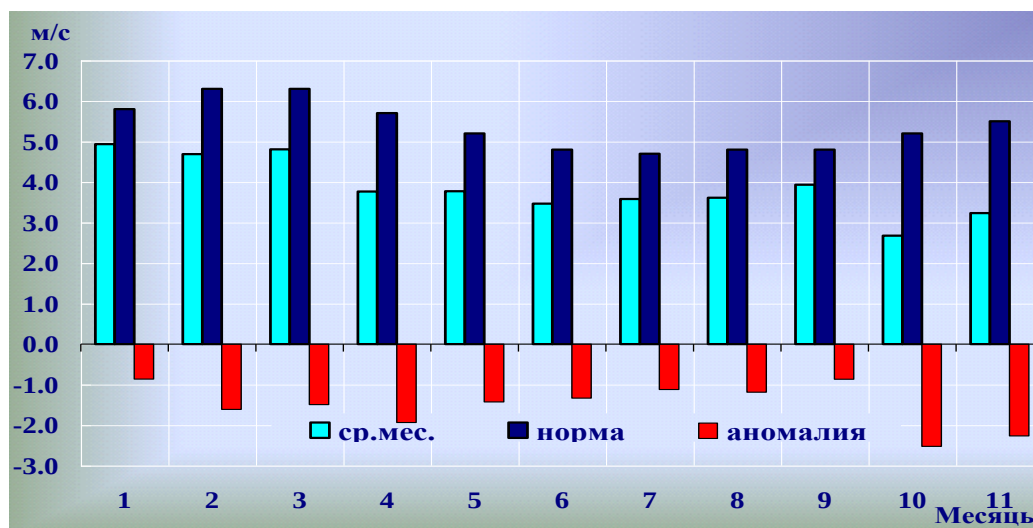


Рисунок 3 – Среднемесячные значения скорости ветра и отклонение от нормы, по данным МГМС Темрюк, 2008 г. [по данным сектора гидрологии ФГУП «АзНИИРХ»]

Повторяемость слабых ветров составляет 60-70 %, лишь в Мысовом и Должанской повторяемость ниже (45-50 %). На долю умеренных ветров приходится несколько меньше 20 % (в Мысовом до 33%), на долю сильных ветров 7-10 %. Ветер со скоростью 20-24 м/с может отмечаться в любое время года, а со скоростью больше 24 м/с только в период с октября по апрель. Режим ветра тесно связан с барическим градиентом и его сезонными изменениями. Годовой размах колебаний средней месячной скорости ветра не превышает 1,2-2,0 м/с. В отдельные годы средняя месячная скорость может значительно отличаться от нормы. В целом изменчивость скорости ветра наибольшая зимой и весной, а наименьшая летом (рис.3). Следует отметить, что наибольшие среднегодовые скорости ветра характерны для станции Мысовое (6,2 м/с), что объясняется эффектом усиления ветра на мысах. Мысовой эффект отражается в увеличении повторяемости скорости ветра 6-9 м/с и снижении повторяемости скорости ветра 2-5 м/с [Гидрометеорология и гидрохимия..., 1991]. Шторма, вызываемые сильными северо-восточными ветрами от NE, наблюдаются 20-30 раз в год преимущественно зимой, достигают большой скорости и обычно сопровождаются сильными морозами. Наибольшая продолжительность таких штормов 9 суток. Эти ветры разводят сильное волнение в вершине Таганрогского залива, а вдоль Арабатской Стрелки волны взламывают лед и нагромождают торосы. Штормы силой 9 баллов наблюдаются 2-8 раз в год. Чаще всего они бывают в феврале-марте и реже всего в августе-сентябре. Штормы силой 10 баллов наблюдаются один раз в пять лет. Штормы такой силы охватывают обычно всю акваторию моря. Средняя продолжительность штормов меняется от 12 ч в августе до 28 ч в декабре и марте. Штили редки, повторяемость их обычно не превышает 10 % (Мысовое и Должанская), и только в отдельных пунктах она увеличивается до 25 % (Мариуполь). В среднем за год повторяемость штилей на побережье Азовского моря составляет около 16 %, с незначительным увеличением зимой до 18 % и уменьшением летом до 14 % [Гидрометеорология и гидрохимия..., 1991].

В теплое время года на побережье Азовского моря наблюдаются бризы. Морской бриз устанавливается к полудню и достигает максимального развития к 16 ч. К 19 ч он ослабевает и после захода солнца прекращается. Береговой бриз начинает дуть с полуночи и продолжается примерно до 8-10 ч. Средняя скорость морского бриза 3-4 м/с, берегового 1-3 м/с. Наибольшая скорость бризов достигает 8 м/с. Действие морского бриза распространяется на 11-14 миль в глубь суши, берегового - на 16-19 миль в море.

1.2.4. Влажность воздуха

Распределение многолетних средних значений абсолютной влажности над Азовским морем близко к распределению температуры воздуха, (возрастает в направлении с севера на юг). Максимум наблюдается в июле-августе (20 мб), минимум - в январе-феврале (5 мб). В зимние месяцы абсолютная влажность увеличивается с севера на юг, изменяясь в небольших пределах (на 1-2 мб). Летом наибольшей абсолютной влажностью характеризуются южные и юго-восточные районы моря. Горизонтальные градиенты абсолютной влажности достигают в это время года наибольших значений: на севере моря влажность бывает порядка 16-19 мб, а в центральных и юго-восточных районах моря порядка 22-24 мб. Изменения абсолютной влажности от месяца к месяцу в холодное время года небольшие (порядка 0,0-1,5 мб), летом несколько больше (до 2,5 мб). Изменения средних месячных и годовых значений абсолютной влажности от года к году весьма невелики. Отклонения от многолетней нормы средней годовой влажности не превышают 1 мб, отклонения средних месячных значений как летом, так и зимой не превышают 3-5 мб.

Относительная влажность воздуха в течение всего года в среднем несколько выше над центральными районами моря, чем на побережье. В зимние месяцы эта разница минимальна (до 5 %) и поле влажности наиболее однородно. Весной и осенью, когда увеличиваются контрасты температуры между побережьем и открытым морем, а также между температурой воды и

воздуха, различия в средних месячных значениях относительной влажности в море и на берегу возрастают. Летом по мере прогрева моря различия в значениях относительной влажности уменьшаются, но все же остаются большими, чем зимой, достигая 5-10 % [Гидрометеорологический справочник..., 1963]. Наибольшей относительной влажностью воздуха характеризуются зимние месяцы. Максимум приходится на февраль 85-89 % на побережье, 90-95 % в центральных районах моря. Минимум наблюдается летом - в июле, августе - 62-65 % на побережье и 65-75 % в центральных районах моря. Уменьшение относительной влажности от зимы к лету и ее возрастание от лета к зиме происходит плавно и постепенно, примерно на 5 % от месяца к месяцу. В переходные сезоны на побережье влажность изменяется более резко - на 5-10 % в месяц. Относительная влажность очень изменчива во времени и испытывает резкие непериодические колебания как от года к году, так и ото дня ко дню.

1.2.5. Атмосферные осадки

За год на поверхность Азовского моря выпадает 363 мм осадков. Наибольшее их количество выпадает на востоке района и в Таганрогском заливе (около 500 мм в год), а наименьшее (около 300 мм в год) на западе моря [Спичак и др. 1967 г.]. Число дней с осадками за год составляет от 100 на западном побережье моря до 120-125 на востоке моря и в Таганрогском заливе. Наиболее часто осадки выпадают с ноября по апрель, когда среднее число дней с ними 10-13 за месяц; с апреля по октябрь оно составляет 5-8 дней за месяц. Годовые суммы осадков изменяются в пределах - от 50 до 175 % средней многолетней нормы. Наибольшее среднее месячное количество осадков (до 60 мм) выпадает летом, в остальные сезоны года среднее месячное количество осадков составляет 20-40 мм. Во время ливней максимальное суточное количество осадков может достигать 200 мм (порт Темрюк, август). На всем побережье отчетливо преобладают осадки теплого времени года: суммы осадков за апрель-октябрь в полтора – два раза больше

сумм осадков ноябрь – март. Максимум осадков на подавляющем большинстве станций Азовского побережья приходится на май-июль, минимум чаще всего наблюдается в феврале-марте. Некоторое увеличение сумм осадков отмечается также в конце осени – начале зимы. Несмотря на преобладание летних осадков, число дней с осадками зимой больше, чем летом, т.е. годовой ход повторяемости осадков противоположен годовому ходу их количества. Зимой преобладают осадки обложного характера и преимущественно в твердом виде, но часто в периоды оттепелей наблюдаются дожди. Снег выпадает обычно с ноября по март - апрель. Число дней со снегом в этот период в среднем 19-22 в южной части моря, 21-27 в северной, а в Таганрогском заливе оно достигает 36. Снежный покров обычно неустойчив число дней со снежным покровом колеблется от 20 на юге до 60 на севере моря и во время оттепелей исчезает. Летом преобладают осадки ливневого характера. Ливни – явление сравнительно редкое. В среднем на каждые 6-7 дней с дождем летом приходится 1-2 дня с ливнем, т.е. ливневый характер носит примерно 25% всех дождей. Наиболее часто они бывают в июле и августе.

1.2.6. Особые метеорологические явления

Грозы наблюдаются преимущественно в теплый период года. Наиболее часты они в июне - августе, когда среднее месячное число дней с ними составляет 4-10. Наибольшее число гроз приходится на июль, когда в отдельные годы за месяц наблюдается с ними 12-16 дней. Грозы обычно бывают после полудня, но могут быть в любое время суток и, как правило, длятся менее 1 ч (но иногда продолжаются и более 3-5 ч). Грозы часто сопровождаются шквалистыми ветрами, ливнями и понижением температуры воздуха. Град на побережье Азовского моря выпадает очень редко. За год бывает в среднем 1-2 дня с градом. Гололёд и изморозь наблюдаются сравнительно редко и только в холодный период, когда отмечается 4-8 дней с гололедом и 2-5 дней с изморозью. В основном гололед и изморозь бывают в декабре - феврале. В ноябре и марте они

наблюдаются не каждый год, а в апреле отмечаются лишь в исключительных случаях. Метели наблюдаются с ноября-декабря по март, наиболее часты они в январе и феврале, когда число дней с ними в основном 2-4 за месяц. Метели обычно непродолжительны - менее 5 ч, и только изредка они длятся более суток. Смерчи наиболее вероятны (в южной и юго-восточной частях моря) в теплое время года днем, но поскольку их образование связано с особо сильной неустойчивостью атмосферы, то их появление не исключено в любое время года. Смерчи обычно непродолжительны, но сильны.

Рефракция в Азовском море наблюдается часто (Таганрогский залив), особенно весной и осенью. Во время рефракции предметы кажутся приподнятыми над водой и вытянутыми по вертикали. Искажение очертаний предметов по горизонтали отмечается довольно редко. Видимость в районе Азовского моря в основном хорошая. С апреля по октябрь преобладает видимость более 10 миль, а с ноября по март - менее 10 миль. Повторяемость видимости менее 1 мили с апреля по октябрь не превышает 4 %, а с ноября по март 12 %; исключение Таганрогский залив 2-11 % и 25-30 % соответственно. Туманы, охватывающие все море или его значительную часть, чаще всего наблюдаются в холодный период года. Держатся они обычно 9—12 ч, а иногда и несколько суток. В теплый период в большинстве случаев туманы возникают ночью и утром при тихой ясной погоде. Годовое число дней с туманами колеблется от 30 до 55. В открытом море наибольшая повторяемость туманов отмечается с октября по апрель 5-15, а на побережье в среднем ежемесячно наблюдается 4-10 дней. Летом туманы бывают не повсеместно и не каждый год [http://www.katamaran.ru/maps/azov/].

1.3. Краткая характеристика гидрологического режима

1.3.1. Температура воды

Температурный режим Азовского моря обусловлен его географическим положением, мелководностью (создает условия для

быстрого выравнивания температуры воды от поверхности до дна), атмосферными процессами, протекающими над ним, сравнительно низкой соленостью и т. д. Находясь в умеренных широтах, Азовское море получает много солнечной радиации, что обуславливает довольно высокую среднюю годовую температуру воды ($11,5^{\circ}\text{C}$). Преобладающая роль радиационных факторов в формировании термического режима моря отчетливо прослеживается в зональном распределении среднегодовых многолетних значений температуры воды по данным береговых станций, которые постепенно увеличиваются с $11,2^{\circ}\text{C}$ в северной части моря до $12,2-12,4^{\circ}\text{C}$ в южной, т. е. примерно на $0,5^{\circ}\text{C}$ на 1° широты. Теплый период, когда на поверхности моря не наблюдается отрицательной температуры, занимает большую часть года и длится около 8 месяцев.

Пространственное распределение температуры воды по акватории Азовского моря вследствие его небольших размеров и малых глубин характеризуется слабой контрастностью (рис.4).

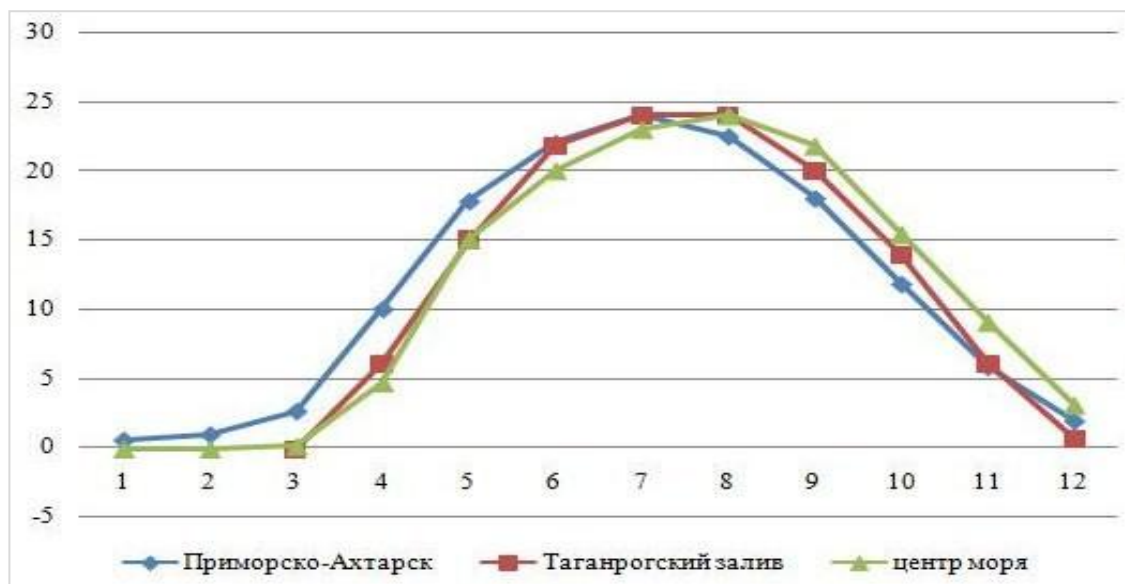


Рисунок 4 – Годовой ход температуры воды на поверхности, в прибрежной зоне и в открытом море [по данным МГМС и рейсовым наблюдениям ФГУП «АзНИИРХ», 2008 г.]

По данным береговых станций, в период наибольшего охлаждения (февраль) средняя температура воды в поверхностном слое моря изменяется от $0-0,2^{\circ}\text{C}$ в северной части моря до $1,0-1,2^{\circ}\text{C}$ в южной. Данных для открытых районов моря зимой очень мало, но поскольку теплозапас вод здесь больше, чем в прибрежных районах, следует ожидать, что и температура воды должна быть несколько выше указанных пределов. Также малой контрастностью отличается поле температуры в период наибольшего прогрева вод (июль-август). Средние значения температуры воды в поверхностном слое, как в прибрежных районах, так и в открытом море изменяются в пределах $24-25^{\circ}\text{C}$. В периоды прогрева и охлаждения контрасты температуры увеличиваются. Так, в апреле вода у берегов прогревается до $8-11^{\circ}\text{C}$, а в открытых районах моря она ниже 7°C (в центральной части моря не превышает $5,5^{\circ}\text{C}$). В октябре температура воды почти всей открытой акватории выше 14°C , а в прибрежных районах, за исключением самых южных, - ниже 14°C . В открытом море почти все тепловые процессы протекают медленнее. Нет очень резких колебаний температуры воды, хотя они иногда достигают значительных размеров, повышение температуры наступает позже, чем в прибрежной зоне, более длительное время длится охлаждение. Изменения средних месячных температур воды от месяца к месяцу в течение года происходят очень неравномерно.

Суточный ход температуры воды поверхностного слоя моря определяется солнечной радиацией и конвективным теплообменом моря с атмосферой. Существенные изменения в суточный ход вносят ветер, волнение и облачность. Во время безветрия, спокойного состояния моря и безоблачного неба температура воды имеет правильный суточный ход с одним максимумом в 15-17 час и одним минимумом в 3-6 час. Однако даже небольшие изменения погодных условий, могут нарушить не только обычное время наступления максимума и минимума температуры, но и значительно уменьшить амплитуду колебаний температуры воды.

Водообмен с Черным морем, а также сток Дона и Кубани оказывают незначительное влияние на термический режим моря. В среднем за год воды Дона охлаждают море, а черноморские и кубанские - отепляют его. Количественная оценка теплового влияния вышеуказанных факторов, отнесенная ко всей акватории моря, показала, что за год охлаждающее влияние Дона составляет около $0,8 \text{ МДж/м}^2$, а отепляющее влияние Кубани и черноморских вод 2,1 и $7,5 \text{ МДж/м}^2$ соответственно [Гидрометеорология и гидрохимия...,1991].

1.3.2. Солёность и плотность

Солёность Азовского моря зависит, главным образом, от стока рек, объем которого определяется количеством атмосферных осадков, выпавших в их бассейнах за холодное время года и водообменом с Чёрным морем. По режиму солёности принято выделять два периода: условно-естественный до ввода в строй Цимлянского гидроузла (до 1952 г.) и зарегулированный (с 1953 г.). По данным сектора гидрологии ФГУП АзНИИРХ [Жукова и др., 2008], приток речных вод в Азовское море в первый период составлял в среднем около $40,6 \text{ км}^3$ в год и обуславливал пониженную солёность Азовского моря. В среднем она составляла 10,6 ‰, при межгодовых колебаниях от 11,9 ‰ (1951 г.) до 9,1 ‰ (1932 г.).

После строительства Цимлянского гидроузла и осуществления других водохозяйственных мероприятий безвозвратные изъятия речного стока в бассейнах рек Дона и Кубани постепенно возрастали. В 1952-2001 гг. суммарный сток р.Дон и р.Кубань сократился до $33,4 \text{ км}^3/\text{год}$, а средняя солёность Азовского моря увеличилась до 11,6-11,7 ‰ и достигла максимального значения 13,8 ‰ в 1976 г. В зарегулированных условиях в многолетних колебаниях солёности Азовского моря по направленности ее изменений выделяются период осолонения с 1952 по 1976 гг. включительно и период распреснения с 1977 г. по настоящее время, а также несколько характерных периодов меньшей продолжительности (рис.5).



Рис.5 – Изменение среднегодовой солености (С) вод Азовского моря за период с 1930 по 2008 гг. [по данным сектора гидрологии ФГУП «АзНИИРХ»]

Особенностью современного периода в целом является относительно незначительные различия в распределении солености по акватории собственно Азовского моря в среднем составляющие 1,1-1,2 ‰, при минимуме (10,2 ‰) у кубанского побережья в районе устья Протоки и максимумах (12,4 ‰), расположенных в центральной части моря и вблизи Керченского пролива. В пространственном отношении соленость возрастает в западном, южном и юго-западном направлениях от устьевых областей рек Дон и Кубань к Арабатской Стрелке, южным берегам и Керченскому проливу. Вблизи последнего она в отдельные периоды может достигать (у дна) величин солености прилегающей части Черного моря. В среднем же в условно естественный период большую часть собственно моря занимали воды с соленостью 10-11 ‰, а в зарегулированных условиях соленость возрастала от 11,0-11,5 до 12-12,5 ‰, а затем понижалась до 9,4 ‰ [Куропаткин, 2001]. В последние три года, по данным сектора гидрологии ФГУП «АзНИИРХ», соленость воды повышается до 10-11 ‰, что обусловлено снижением материкового стока.

Средняя плотность вод Азовского моря невелика и изменяется от 1,001 г/см³ в распресненных районах до 1,012 г/см³ в зоне наибольшего влияния

черноморских вод. Пространственное распределение плотности находится в прямой зависимости от температуры воды, интенсивности адвекции речных вод в устьевых районах Дона и Кубани и черноморских вод в районе Керченского пролива, а также от гидрометеорологических условий над акваторией моря. Вертикальные изменения плотности для среднемесячных значений незначительны и не превышают 1,0 ед. условной плотности от поверхности до дна. Наибольших значений вертикальные градиенты плотности достигают в наиболее активных районах - Таганрогском заливе, устьевом взморье Кубани и районе, прилегающем к Керченскому проливу. В весенний период наибольшие вертикальные градиенты плотности наблюдаются в Таганрогском заливе и западной части моря (1,0 ед. условной плотности), что связано с опресняющим поверхностные воды влиянием стока Дона и процессов ледотаяния. Летом высокие градиенты сохраняются в Таганрогском заливе и предустьевом взморье Кубани и связаны с опресняющим влиянием повышенного речного стока. Осень характеризуется мало градиентным полем с относительно высокими (порядка 0,5 ед.) значениями градиентов условной плотности в районе, прилегающем к Керченскому проливу, за счет влияния высокосоленых черноморских вод, распространяющихся в придонном слое.

1.3.3. Оптические свойства (прозрачность и цвет) воды

Для Азовского моря характерна низкая прозрачность, что связано с поступлением мутных речных вод, малой глубиной, волнением (мелководность моря приводит к тому, что даже при небольшом волнении прозрачность моря резко уменьшается из-за взмучивания донного ила), наличием планктона. Прозрачность вод неодинакова в разных районах моря и в различное время года и колеблется в пределах от 0,5 до 8 м.

Зимой данные о прозрачности имеются только для центрального района (прибрежные районы покрыты льдом), и где прозрачность находится в пределах 1,5-2,5 м, увеличиваясь к Керченскому проливу до 7-8 м.

Весной из-за бурного развития планктона и усиленного стока рек прозрачность в Таганрогском заливе уменьшается до 0,3 м, а в южной части моря она достигает 6 м.. В восточном районе общая прозрачность составляет около 1,5 м (с уменьшением на севере до 0,8 м и увеличением на юге до 2,6 м). В западном районе прозрачность колеблется от 1,1 до 2,4 м. Цвет моря изменяется от желто-коричневого (устье Дона) до голубовато-зеленого (Керченский пролив). В северо-восточной части моря преобладает зелено-бурый цвет, в южной - зеленый.

Летом более спокойная погода и распределение прозрачности более однородное. В Таганрогском заливе в результате сильного развития планктона преобладают воды зеленого цвета (явление «цветения» моря), а в открытой части - желто-бурого со средней прозрачностью 0,7 м. В восточном районе прозрачность изменяется от 0,7 м в его северной части до 2,4 м в южной. В западной части моря прозрачность изменяется от 0,7 м до 2 м ближе к центр. Цвет изменяется от желто-зеленого до зеленого. Прозрачнее всего вода в центральном районе Азовского моря вследствие больших глубин и влияния черноморских вод. Здесь зеленовато-голубое море имеет прозрачность 1,5-2,5 м (иногда до 8 м.).

Осенью область повышенной прозрачности смещается к северо-востоку. Шторма восточных румбов определяют прозрачность воды менее 2,0 м и ее желто-зеленый цвет. В Таганрогском заливе прозрачность воды изменяется от 0,4 до 0,8 м, а ее цвет - от желто-коричневого (в вершине залива) до мутно-желтого (на выходе в море). В восточном районе прозрачность воды относительно высока: от 0,7 м в его северной части до 3,0 м в центральной (с преобладанием 1,5 м), и она имеет коричнево-желтый цвет. В западном районе прозрачность практически однородна - 0,5 м (максимум 1,9 м). Цвет моря мутно-желтый, а в Арабатском заливе - коричнево-желтый. В центральном районе моря преобладает прозрачность 1,5 м (максимум 3,6 м в его восточной части).

Наиболее характерная для всего моря прозрачность составляет 1,5 м. Годовой ход прозрачности в море характеризуют средние для центрального района значения по сезонам: зимой - 1,7 м, весной - 2,7 м, летом - 2,3 м, осенью - 2,0 м. Пример пространственного распределения прозрачности воды Азовского моря представлен на рисунке 6.

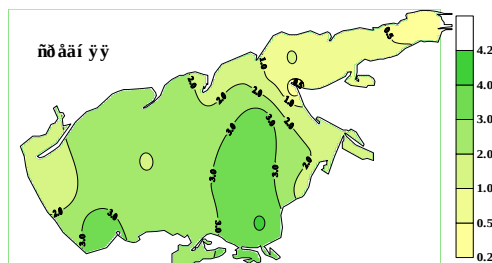


Рис. 6- Среднегодовое распределение прозрачности воды Азовского моря в 2008 г. [по данным сектора гидрологии ФГУП «АзНИИРХ»]

1.3.4. Основные элементы водного баланса

Уравнение водного баланса Азовского моря выглядит следующим образом: $V_p + V_{oc} + V_{ч} + V_c - V_{ис} - V_A - V'_A = \Delta B$, где V_p - сток рек (46 %), V_{oc} - осадки (16 %), выпадающие на поверхность моря, $V_{ч}$ - приток воды из Черного моря (37 %), V_c - приток воды из залива Сиваш (1 %), $V_{ис}$ - испарение с поверхности моря (42 %), V_A - сток азовской воды в Черное море (56 %), V'_A - сток азовской воды в Сиваш (2 %), ΔB - разность между приходной и расходной частями баланса. Подземный сток, составляющий в среднем [по данным Ростовского государственного университета], 0,059 км³/год, вследствие незначительности в уравнение не включен.

Одним из основных факторов водного режима Азовского моря является речной сток. Бассейн Азовского моря включая в себя бассейны двух крупных рек - Дона и Кубани и 20 малых речек и составляет 589,3 тыс. км². Значительная его часть находится в зоне недостаточного увлажнения. На долю стока рек Дон и Кубань, наблюдаемого соответственно в створах станция Раздорская и г.Краснодар приходится 95 % (36,3 км³/год) его среднегодового объема (37,1 км³). Остальная часть пресных вод поступает в

море со стоком малых рек Северного и Восточного Приазовья [Бронфман, Хлебников, 1985].

1.3.5. Уровень моря

Средний многолетний уровень Азовского моря на 30 см ниже нуля Кронштадтского футштока. Колебания уровня в Азовском море обусловлены стоком речных вод, атмосферными осадками, испарением, ветром (сгонно-нагонные колебания) и водообменом с Черным морем. На сезонный ход уровня моря влияют речной сток, осадки и испарение; в теплый период года уровень обычно выше, чем в холодный. Наиболее высокий уровень наблюдается в июне, а минимальный - в ноябре.. **Максимальное значение сезонных колебаний среднего уровня равно 33 см, а минимальное - 7 см [Гидрометеорология и гидрохимия..., 1991].** Из всех видов изменений уровня Азовского моря наиболее значимы сгонно-нагонные. Сгонно-нагонные колебания уровня чаще всего наблюдаются осенью и зимой и несколько реже весной, что объясняется активной циклонической деятельностью. Сильные восточные и северо-восточные ветры приводят в движение всю массу морской воды, что вызывает иногда продолжительные и подчас опасные подъемы и спады уровня соответственно на наветренном и подветренном берегах моря (табл.1).

Табл.1 – экстремальные значения уровня Азовского моря в разные годы [Гидрометеорология и гидрохимия..., 1991].

Пункт	Колебания уровня моря, см			Величина колебаний уровня
	Средний уровень	Максимальный уровень (год наблюдений)	Минимальный уровень (год наблюдений)	
1	2	3	4	5
Бердянск, порт	461	551 (1941)	352 (1928)	199
Геническ, портовый пункт	471	698 (1969)	287 (1969)	411
Ейск, порт	462	615 (1960)	177 (1969)	438
Мариуполь, порт	462	584 (1969)	342 (1949)	242
Керчь, порт	472	534 (1970)	329 (1969)	205
Приморско-Ахтарск, портовый пункт	467	719 (1923)	276 (1921)	443
Таганрог, порт	458	710 (1970)	101 (1960)	609
Темрюк, порт	472	793 (1969)	371 (1956)	422

Наиболее значительные сгоны и нагоны воды наблюдаются в Таганрогском заливе и в западной части моря. Максимальная величина сгонно-нагонных колебаний уровня в районе порта Таганрог 6 м, портового пункта Геническ 4 м, портов Бердянск и Керчь 4 м. Период времени, в течение которого при нагонах уровень удерживается выше опасной отметки, в большинстве случаев не превышает 12 ч, только в портовом пункте Геническ он длится более 2 суток. Уровень Азовского моря и Керченского пролива из-за их мелководности быстро изменяется при усилении ветра: в среднем на 6-10 см/ч при нагоне и на 4-8 см/ч при сгоне. Обычно наибольшее значение его отмечается через 3-5 ч после достижения ветром максимальной скорости. В теплое время года при спокойной погоде в Азовском море наблюдаются своеобразные колебания уровня моря с довольно отчетливым суточным ходом - с одним максимумом и одним минимумом - сейши (стоячие волны), зависящие не от ветра, а от изменения атмосферного давления над разными участками моря. Амплитуды сейшевых колебаний составляют для большинства мест моря от 5 до 20 см. Наибольшей величины (около 55 см) они достигают в Таганрогском заливе, но могут достигать почти 1 м. Средний период сейшевых колебаний уровня изменяется от нескольких минут до нескольких часов. Приливные колебания уровня в описываемом районе вследствие его малой площади и отсутствия непосредственной связи с океаном незначительны: величина их не превышает нескольких сантиметров. Они полностью затушевываются сгонно-нагонными и сейшевыми колебаниями. [Гидрометеорологический справочник..., 1962]

1.3.6. Режим течений

В Азовском море формирование течений, в основном, обусловлено тремя факторами: ветровым режимом, стоком впадающих рек и водообменом с Черным морем, происходящим через Керченский пролив. Большая изменчивость течений является следствием неустойчивости ветрового режима, мелководности моря и его сравнительно небольшой площади. В

открытых районах моря под действием ветра, как правило, происходит поступательное движение водной среды, охватывающее всю толщу от поверхности до придонных горизонтов. При значительной работе ветра могут формироваться двухслойные течения (прямые и обратные – компенсационные) и, в частности, при водообмене между Таганрогским заливом и собственно морем, а также в Керченском проливе. При слабых и переменных ветрах циркуляция вод нарушается и течения становятся хаотическими. Преобладающими ветрами в холодный период года являются северо-восточные и восточные, а в теплый — северо-западные и западные. В начальный период действия умеренного северо-восточного ветра направление течений совпадает с направлением ветра на всей акватории моря. Затем, если северо-восточный ветер продолжается долго и у косы Арабатская Стрелка отмечается нагон воды, то на акватории моря формируются две различные схемы течений:

1. Если над всем морем скорость северо-восточного ветра одинакова или в северной части моря она больше, чем в южной, то в западной части моря наблюдается циркуляция вод против часовой стрелки (рис.7а).

2. Если скорость северо-восточного ветра в южной части Азовского моря больше, чем в северной, то в северной части моря отмечается циркуляция вод по часовой стрелке (рис.7б).

При умеренном северо-восточном ветре, дующем с одинаковой скоростью над всем морем, в Таганрогском заливе наблюдается нагон воды. В северной части моря, в это время, из-за большой разности в уровнях между Таганрогским заливом и западной частью моря происходит ослабление ветрового течения и изменение его направления на противоположное. В центральной части моря отмечается циркуляция вод против часовой стрелки (рис.8а). Если скорость ветра от SW в северной части моря больше, чем в южной, то в центральной части моря происходит циркуляция вод по часовой стрелке (рис.8б).

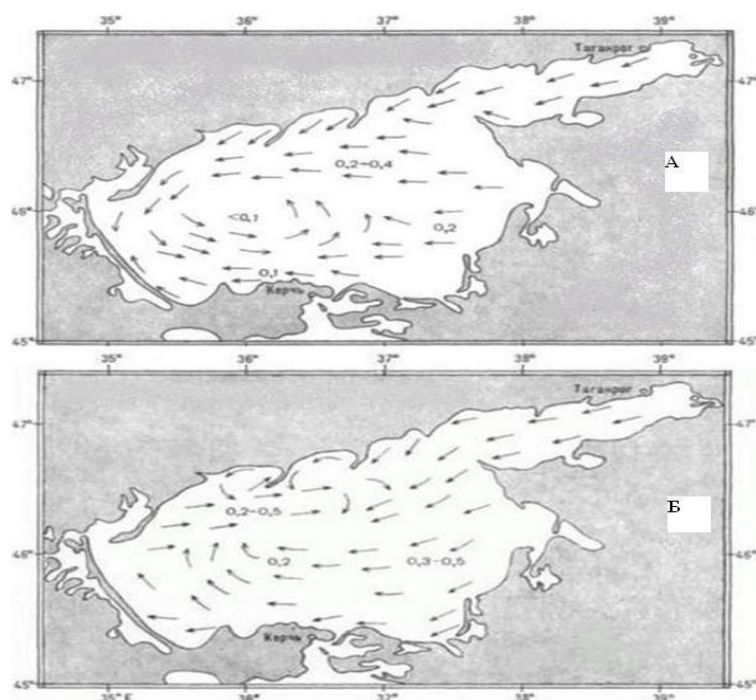


Рис.7– Схема течений при NE и E ветрах одинаковой скорости над всем морем или большей на севере(а) и схема течений при NE и E ветрах со скоростью, большей на юге (б) [Гидрометеорологический справочник..., 1962]

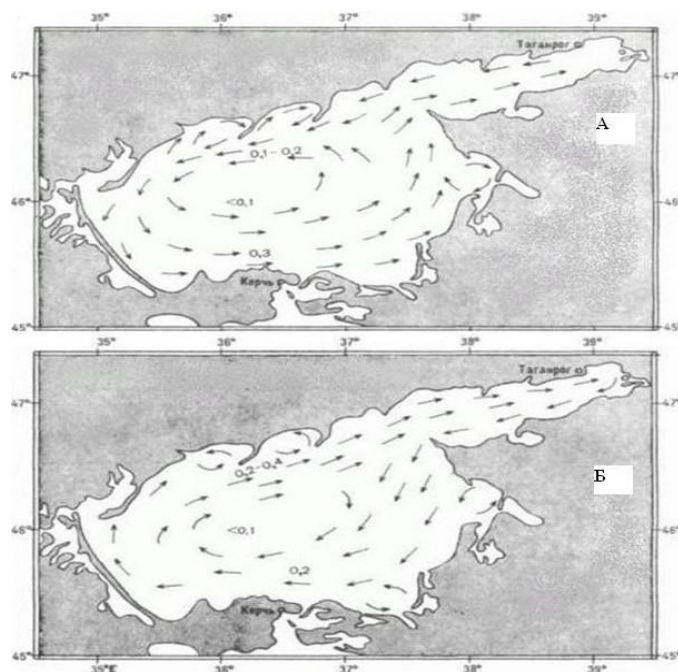


Рис.8– Схема течений при NW и W ветрах одинаковой скорости над всем морем (а) и при NW и W ветрах со скоростью, большей над северной частью моря (б) [Гидрометеорологический справочник..., 1962]

В Керченском проливе течение обычно направлено из Азовского моря в Черное и реже - наоборот. Повторяемость течений составляет в среднем: Азовского 62 %, Черноморского 38 %. В Таганрогском и Темрюкском заливах на устьевых взморьях кроме ветровых течений отчетливо прослеживаются стоковые течения (табл. 2).

Табл.2 – Скорость поверхностных течений Азовского моря при различных направлениях ветра.

Колебания уровня моря, см				
Пункт	Средний уровень	Максимальный уровень (год наблюдений)	Минимальный уровень (год наблюдений)	Величина колебаний уровня
1	2	3	4	5
Бердянск, порт	461	551 (1941)	352 (1928)	199
Геничск, портовый пункт	471	698 (1969)	287 (1969)	411
Ейск, порт	462	615 (1960)	177 (1969)	438
Мариуполь, порт	462	584 (1969)	342 (1949)	242
Керчь, порт	472	534 (1970)	329 (1969)	205
Приморско-Ахтарск, портовый пункт	467	719 (1923)	276 (1921)	443
Таганрог, порт	458	710 (1970)	101 (1960)	609
Темрюк, порт	472	793 (1969)	371 (1956)	422

Преобладающая скорость течений в Азовском море составляет 0,2-0,4 уз., или 10-20 см/с, а максимальная 180-100 см/с. В период действия сильных и продолжительных ветров скорость течений достигает 2,5 уз. В Керченском проливе на участке Еникальское колено при штормовых нагонных ветрах скорость течений может возрасть до 145 см/с [Гидрометеорология и гидрохимия..., 1991].

1.3.7. Ветровое волнение

Небольшая площадь, малые глубины и значительная изрезанность берегов Азовского моря оказывают влияние и на режим волнения. В течение года в Азовском море преобладает волнение от северо-восточного и восточного ветра, реже от северо-западного и западного. Северо-восточные, восточные и северо-западные ветры обычно бывают здесь самыми сильными,

поэтому и волнение от этих направлений самое сильное.

Ветровое волнение в описываемом районе развивается быстро. Уже через 4-6 ч после усиления ветра оно достигает наибольшего развития в зависимости от скорости ветра: при скорости ветра 5-10 м/с степень волнения равна II-III баллам, при скорости ветра 10-15 и 15-20 м/с она составляет соответственно III-IV и IV-V баллов, а при скорости ветра 20-25 м/с и более 25 м/с она равна соответственно V и VI баллам. Длина волн в основном 15-25 м, редко 80 м. Период волны обычно менее 5 секунд, крайне редко 7-8 секунд. В Азовском море преобладают высоты волн менее 1м их повторяемость достигает 75%, волны высотой 1-2 м - 20-45 %, а волны высотой больше 2 м повторяются не более 13%. В центральной части моря высоты волн не превышают 3,5 м, и только в очень редких случаях они достигают 4 м. В наиболее штормовые месяцы (декабрь - март) развитие волнения в данном районе ограничивается наличием льда. Повторяемость высоты волн в разные периоды года приведена в таблице 3.

Табл. 3 - Повторяемость высоты волн в Азовском море
[<http://esimo.oceanography.ru>]

Высоты волн, м	Декабрь – февраль	Март – май	Июнь – август	Сентябрь – ноябрь
<1	36	45	75	47
1-2	46	41	21	39
2-3	13	11	3	10
>3	5	3	1	4

ГЛАВА II.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА.КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИБОРА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ "ВЕКТОР-2"

2.1.Способы производства наблюдений над морскими течениями

Течения в море могут быть измерены непосредственно или определены путем расчета. Качественная картина течений иногда может быть получена по косвенным признакам.

Существует много способ измерений течений. Их можно разделить на две группы:

1) способы, при использовании которых течения определяют, наблюдая за движением плавающих предметов, увлекаемых потоком. Их называют поплавочными, или кинематическими. Эти способы дают возможность получить пространственную картину течений в виде линий тока (траекторий поплавков);

2) способы, использующие неподвижно установленные приборы, регистрирующие давление частиц движущейся воды. По величине этого давления судят о скорости течения. Эти способы можно назвать гидродинамическими. Иногда их называют вертушечными, так как чаще всего давления движущейся воды измеряется по скорости вращения лопастных винтов - вертушек.

Кинематических, или поплавочных, способов наблюдений над течениями существует несколько:

- 1) навигационный,
- 2) бутылочная почта,
- 3) способы свободных и привязанных поплавков,
- 4) аэрофотосъемка течений,

5) геоэлектромагнитный (ЭМИТ).

Гидродинамических, или вертушечных, способов можно назвать три, различающихся главным образом системой применяющихся приборов:

1) измерения течений с помощью приборов однократного действия, например морских вертушек,

2) измерения течений с помощью корабельных самопишущих приборов, которые подразделяются на два типа: а) регистрирующие, т.е. записывающие результаты измерений внутри корпуса прибора, и б) дистанционные, передающие результаты измерений на борт судна по кабелю или акустическому каналу связи,

3) наблюдения с помощью самопишущих приборов, автономно работающих в море. Они могут быть двух типов: регистрирующими и телеметрическими (передающими результаты измерений по радио).

Косвенные способы определения течений дают лишь самую общую картину течений. В качестве косвенных признаков используются температура, соленость и цвет воды. В некоторых случаях о движении вод судят по распределению хлорно-щелочного коэффициента и по характеру донных отложений.

2.1.1. Навигационный способ

Ни один из способов наблюдений над течениями не дал столько сведений о течениях океанов и морей, как навигационный. Данный способ обладает очень важными достоинствами. Прежде всего этот метод не требует никаких специальных затрат и дает возможность измерить течение в слое, соответствующем осадке судна, т.е. именно такое течение, которое в первую очередь интересует мореплавателей.

Суть навигационного способа состоит в сравнении обсервованных и счислимых мест судна. Ведя последовательную прокладку курсов судна и

откладывая по этим курсам пройденные расстояния, можно получить счислимое место судна. Для этого же момента определяют обсервованное место судна (посредством астрономических обсерваций или радионавигационными средствами), которое в пределах точности обсервации дает истинное местоположение судна относительно берегов и дна. Счислимое место получается с учетом действия течения. Если совпадения счислимого и обсервованного мест судна не получилось, то можно считать, что судно было снесено течением, действовавшим от предыдущей обсервации до данной.

Направление течения получается, если соединить счислимое место с обсервованным (в направлении от счислимого места к обсервованному), а скорость - если разделить расстояние между этими двумя местами на промежуток времени между обсервациями.

Если за прошедшие сутки наблюдался ветер, то определялось не течение, а снос корабля, происшедший под влиянием и течения, и ветра. Поэтому навигационный способ применяется только при тихой погоде.

2.1.2. Бутылочная почта

Бутылочная почта дает хорошие результаты только в случае широкого ее применения, т.е. при одновременном разбрасывании большого числа бутылок в разных районах моря с большого числа судов.

В заранее намеченных местах выбрасываются бутылки в море достаточно большими партиями (по 10 - 30 бутылок в каждой точке моря). При выбросе бутылок в журнал бутылочной почты записываются номера каждой из бутылок, время (часы, число, месяц, год) и координаты места выброса бутылок. Кроме того, записывают название судна.

Выброшенные в море бутылки перемещаются морскими течениями и в последствии могут быть прибиты к берегу и найдены местными жителями.

Зная время и место выброса бутылок, и имея сведения о времени и месте нахождения бутылок, определяют приблизительно путь, пройденный ими, а также получают приближенное представление о средней скорости течения по принятому генеральному направлению. Составляются карты-схемы траектории дрейфа бутылок, вычисляются средние скорости течения по принятым траекториям и составляется отчет о результатах бутылочной почты.

2.1.3. Наблюдения над течениями с помощью поплавков

Для наблюдений над течениями с помощью свободно плавающих поплавков чаще всего используются:

- а) поплавки, плавающие на поверхности моря в прибрежной зоне, положение которых определяется по береговым ориентирам,
- б) глубинные поплавки-парашюты,
- в) глубинные поплавки нейтральной плавучести,
- г) радиобуи,
- д) авиаметоды.

Наблюдения с помощью поплавков в прибрежной зоне. Могут производиться двумя способами.

В первом из них положение поплавков определяется при помощи секстана со шлюпки или катера, идущих вслед за поплавками. Во втором — при помощи засечек положения поплавков тремя угломерными приборами с берега.

В обоих случаях работы ведутся в непосредственной близости от берега. Наблюдения над течениями с помощью свободно плавающих поплавков имеют широкое распространение при изучении режима течений в устьевых участках рек, узких морских проливах, в небольших заливах и бухтах.

Производство наблюдений осуществляется следующим образом: катер подходит к поплавку и наблюдатель замечает время и определяет свое место по измерениям углов между двумя-тремя парами береговых ориентиров. Углы, избираемые для измерений, не должны быть меньше 20° и больше 160° .

Второй способ, при котором положение поплавков определяется с берега, в море употребляется редко.

Широкое распространение в океанографической практике получил способ наблюдений над течениями с судна с помощью привязных поплавков. Этот способ употребляется для изучения режима суммарных течений как вблизи берегов, так и в открытом море.

Этим методом можно измерять не только поверхностное течение, но и течение на глубине до 20 - 25 м. Для этого выпускаются одновременно две пары поплавков с разносом ведер первой пары на 1 м и второй - на принятую глубину. Первая пара дает поверхностное течение, а вторая - геометрическую полусумму поверхностного и глубинного течений. С помощью геометрического вычитания находят глубинное течение.

Поплавки-парашюты. Поплавки-парашюты применяются для измерений течений на больших глубинах (до 1000 м). Принцип действия парашютного устройства состоит в том, что система вследствие большой разницы в размерах поплавок-парашюта и поддерживающего буя перемещается под влиянием глубинного течения, а поддерживающий поплавок как бы буксируется поплавком-парашютом. Следовательно, направление и

скорость течения на глубине погружения поплавка-парашюта можно определить по надводному поддерживающему бую. Способ определения течений с помощью поплавков-парашютов является приближенным.

Поплавки нейтральной плавучести. Небольшие ошибки в определении течений, связанные с влиянием поддерживающего бую и несущего троса, возникающие при использовании поплавков-парашютов, полностью исключаются в случае употребления поплавков нейтральной плавучести.

Для обнаружения глубинного поплавка вместо поддерживающего бую -составной части парашютного устройства - применяются звуковые сигналы, испускаемые глубинным поплавком и принимаемые судном, постоянно следующим за поплавком.

Плавучесть поплавков рассчитывается предварительно с учетом плотности воды, наблюдающейся на заданной глубине, на которой определяются течения.

За поплавком следит судно, принимающее двумя гидрофонами (с носа и с кормы) звуковые сигналы от поплавка. Направление и скорость глубинных течений определяются так же, как и при способе поплавков-парашютов.

Наблюдения над течениями с помощью радиобуев. Этот способ применяется для изучения непериодических течений в открытой части моря.

При наблюдениях с помощью радиобуев достигается возможность построить более достоверную схему траекторий поплавков путем засечек их радиосигналов с берега.

Сущность этого способа заключается в том, что в море выбрасываются поплавки, в которые вмонтированы радиопередатчики, время от времени подающие в эфир радиосигналы. Эти сигналы засекаются из нескольких мест с берега при помощи радиопеленгаторов.

Авиаметоды наблюдений над течениями. Наиболее эффективным методом получения детальной картины распределения течений по значительным акваториям площадью в десятки и сотни квадратных километров является метод наблюдений над течениями с самолета. Важно, что авиаметоды позволяют получить почти синхронную картину и, таким образом, выявить структуру потока.

Измерения течений с самолета выполняются путем прослеживания перемещений предмета (поплавка), увлекаемого потоком.

Для определения координат поплавков с самолета используют два метода: аэрофотосъемку с фотограмметрической привязкой места поплавка и аэрофотосъемку с привязкой места поплавка средствами радиометрии.

2.1.4. Измерение течений с помощью ЭМИТ

В основе геоэлектромагнитного измерителя течений (ЭМИТ) лежит закон Фарадея. Закон Фарадея для горизонтально вытянутого проводника, движущегося в магнитном поле Земли, записывается следующим образом:

$$E = SV_{\text{ТХ}} H_Z \cdot 10^{-3},$$

где E - эдс в проводнике в мв, S - длина проводника в метрах, $V_{\text{ТХ}}$ - скорость движения проводника в направлении, перпендикулярном S , в см/сек, H_Z - вертикальная составляющая напряженности магнитного поля Земли в эрстедах, 10^{-3} - постоянный множитель, зависящий от принятых единиц измерения.

С движущегося судна, буксирующего за собой горизонтально вытянутый проводник с электродами, можно измерить эдс, возникшую в этом проводнике, и по формуле рассчитать составляющую течения. Очевидно, что для измерения второй составляющей вектора течения

судно должно изменить курс на 90° . Полный вектор течения определится как алгебраическая сумма обеих составляющих.

Результаты измерений течений с помощью ЭМИТ будут точными только в том случае, когда течение сосредоточено в верхнем слое воды, в котором буксируется проводник, а вся остальная вода электропроводна и неподвижна. В действительности таких идеальных условий не бывает и измеренная эдс в подавляющем большинстве случаев будет меньше фактической. Эта ошибка учитывается при обработке результатов наблюдений введением коэффициента k , на который следует умножить измеренное значение скорости течения.

Ошибки методического характера при работах с ЭМИТ в условиях достаточно надежного знания коэффициента k составляют 10 - 15%.

2.1.5. Измерения течений морской вертушкой

Как в прибрежных районах, так и в открытом океане можно применять способ непосредственного измерения течений приборами, называемыми морскими вертушками. Этот способ употребляется как с постановкой корабля на якорь, так и без постановки на якорь; в последнем случае он называется способом Макарова-Нансена. Если корабль становится на якорь, то для определения течения на заданной глубине необходим только один прибор, если корабль находится в дрейфе, необходимы два прибора (способ Макарова-Нансена): один - для измерения течения на заданной глубине, а другой - для спуска на глубину (500 - 1000 м), где предполагается, что течения нет.

Существует очень много типов приборов для измерений течений. Одни из них позволяют определять только направление течения, другие - только скорость (все речные вертушки), третьи - и направление, и скорость. В морских условиях наибольшее распространение получила так

называемая морская вертушка ВМ-48 (рис. 9), которая позволяет определять как направление, так и скорость течения.

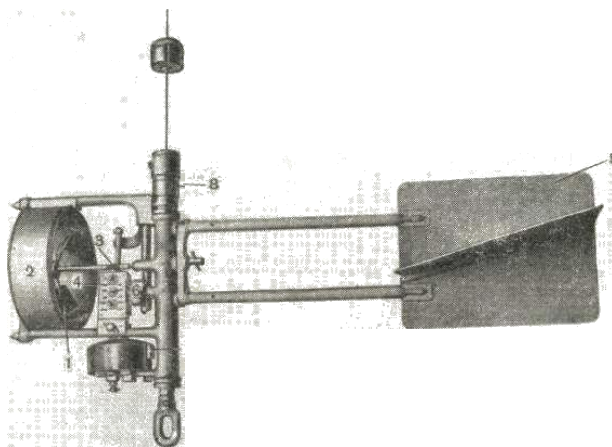


Рисунок 9 - Морская вертушка ВМ – 48. (Ю.В. Истошин «Морская гидрометрия», 1967).

Устройство морской вертушки вкратце таково: течение действует на четырехлопастный винт (1), защищенный с боков от ударов массивным кольцом (2). Ось винта имеет винтовую нарезку (3), при помощи которой может соединяться с ведущей шестеренкой счетного механизма (4). Когда прибор опускается в воду, счетчик оборотов не регистрирует вращение лопастного винта, так как он отключается от оси винта посредством пускового механизма (6). Когда прибор опущен на заданную глубину, пускают по тросу посыльный груз (7), который, дойдя до прибора, ударом о муфту (8) включает счетчик оборотов. С этого момента вращение лопастного винта начинает регистрироваться счетчиком. Через несколько минут, в зависимости от скорости течений, посылают второй груз, который отключает счетчик оборотов. По числу оборотов лопастного винта и отмеченному времени действия прибора вычисляется скорость течения.

Вертушка становится против течения при помощи руля (5), поэтому вместе с определением скорости течения прибор отмечает и направление,

по которому был расположен руль вертушки, перпендикулярный плоскости лопастного винта. В морской вертушке под счетчиком к прибору прикреплен котелок компаса, так называемая компасная коробка. Внутри коробки на дне сделаны невысокие вертикальные перегородки, расходящиеся от центра по радиусам и разделяющие котелок на 36 частей - секторов - по 10° каждая. Выше перегородок на шпильке установлена широкая компасная стрелка особой формы с желобком на северном (а иногда и южном, что оговаривается) конце стрелки. В счетчике оборотов имеется специальное устройство, пропускающее через каждые $33\frac{1}{3}$ оборота лопастного винта бронзовые шарики, падающие через отверстие в раме прибора и в крышке компасной коробки на магнитную стрелку и сбегаящие по желобку в определенный сектор компасной коробки. Стрелка всегда ориентирована по магнитному меридиану, и северный конец ее (с желобком) оказывается над тем или иным сектором компасной коробки в зависимости от положения руля, а в конечном счете в зависимости от направления течения. Планка, удерживающая пропеллер, сделана откидной, что позволяет снимать его при перевозках вертушки, предохраняя от повреждения. Лопастные винты вертушки выполнены в двух вариантах: один металлический, для работы на больших скоростях, а другой пластмассовый (облегченный), для работы на малых скоростях течений. Если начальная скорость вертушки с обычным пропеллером свыше 4.5 см/сек, то начальная скорость вертушки с облегченным пропеллером не превышает 2 см/сек.

Серийная морская вертушка ВМС. Серийная морская вертушка отличается от обычных концевых вертушек (ВМ-48 и ВММ) двумя особенностями:

1) наличием специального устройства для последовательного сбрасывания двух посыльных грузиков, служащих для включения и выключения расположенной ниже вертушки. Это позволяет произвести

разовое измерение течений за некоторый промежуток времени на различных горизонтах;

2) вынесением компасной коробки (4) вертушки на большее расстояние от вертикальной оси по сравнению с ВМ-48 и ВММ с целью уменьшить влияние стального троса на магнитную стрелку.

Сериальная вертушка (рис.10) крепится к тросу следующим образом: на вертикальной оси, вокруг которой вращается вертушка, имеется продольный паз, а на трубчатой раме, надетой на ось, - прорез (1). Трос заводится через прорез в паз, рама поворачивается так, чтобы паз с тросом был закрыт, а затем зажимается зажимами (2) и (3).

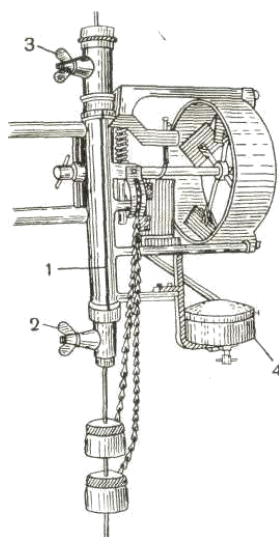


Рисунок 10 - Сериальная морская вертушка ВМС. (Ю.В. Истошин «Морская гидрометрия», 1967).

Сбрасывание грузиков производится с помощью двух штифтов, укрепленных на пусковом барабане вертушки. При ударе первого посыльного грузика по вертушке пусковой барабан срабатывает, включает вертушку и одновременно сбрасывает цепочку одного из подвешенных внизу вертушки (рис. 8) посыльных грузиков. Последний бежит по тросу вниз и включает нижерасположенную вертушку. Второй посыльный грузик выключает верхнюю вертушку и освобождает второй грузик для выключения нижней вертушки.

2.1.6. Самописцы течений

Самописцами течений называют приборы, автоматически регистрирующие скорость и направление течений. Они могут быть разделены на два основных вида: а) автономные приборы, устанавливаемые для работы в море на специальных буйах, и б) корабельные приборы, применяемые с судов.

Автономные самописцы (регистрирующие).

Типичным примером собственно автономного самописца течений является «автономный фоторегистрирующий самописец течений» (АФС). Он предназначен для непрерывной и длительной регистрации скорости и направления течений в открытом море на небольших глубинах. АФС рассчитан для работы на глубинах от поверхности до 100 м. Глубина моря в месте постановки может достигать 300 - 400 м, если при постановке используется 10-миллиметровый трос, и 600 - 800 м при использовании 6-миллиметрового троса. АФС можно использовать и на больших глубинах со ступенчатым тросом. Отличительной особенностью самописцев этого типа является то, что буй, придающий прибору ту или иную плавучесть, составляет его неотъемлемую часть и одновременно служит «приемником» направления течения. Это существенно облегчает и упрощает постановку в море такого рода приборов. АФС имеет положительную плавучесть и,

следовательно, удерживается на заданной глубине тросом и якорем в притопленном положении.

Описываемый прибор регистрирует скорость и направление течения через каждые 5 мин. в течение месяца. Регистрация производится фотографированием на позитивную узкую киноплёнку.

Прибор состоит из трех основных частей: обтекаемой формы буя, лопастного колеса и фоторегистрирующего механизма, заключенного в лопастном колесе. Лопастное колесо приводится во вращение течением. Вращается оно в шариковых подшипниках на полуосях (10), вставленных в обтекаемый корпус. Скорость вращения колеса пропорциональна скорости течения. Регистратор фиксирует через 5-минутные интервалы число оборотов. Прибор устанавливается по течению благодаря оперению на его хвостовой части. Направление регистрируется компасным устройством.

Регистратор (рис. 11) работает следующим образом. Внутри лопастного колеса, герметично закрытого крышкой (7), на оси (12) свободно подвешен на шариковых подшипниках фотозаписывающий механизм. Вращение колеса посредством конической шестерни (6) передается шестерне (5), на оси которой посажен червячный валик, вращающий оцифрованный стеклянный диск (1), являющийся счетчиком оборотов. Часовой механизм (14) каждые 5 мин включает в цепь лампочки (15) сухую батарею (13). Свет вспышки лампочки (15), отраженный зеркалами (8) и (9), пройдет через оцифрованный стеклянный диск счетчика оборотов (1) и запечатлится на киноплёнке (3), протягиваемой часовым механизмом (14) через окно (4). Плёнка протягивается с кассеты (11) на кассету (2).

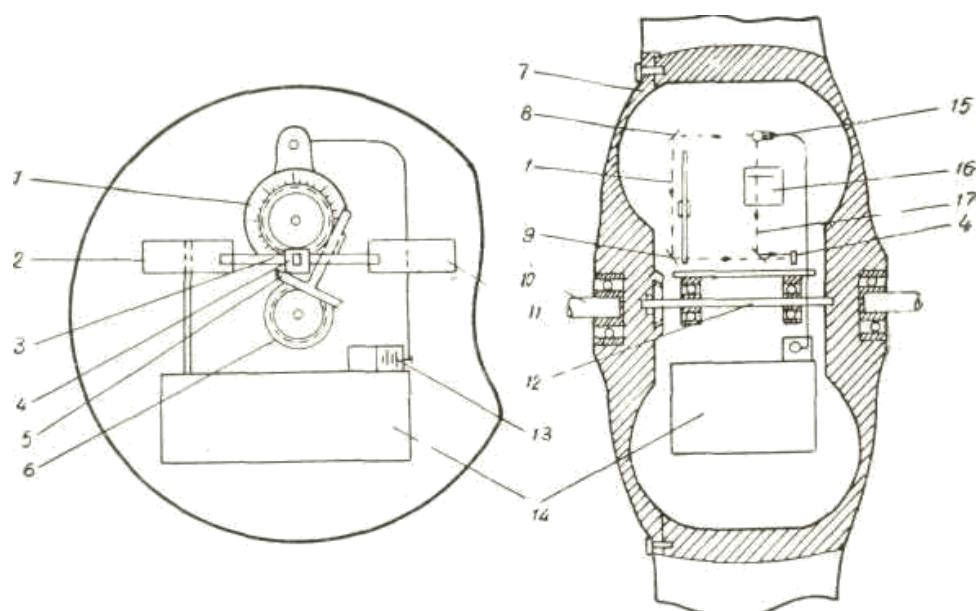


Рисунок 11 - Схема устройства регистрирующей части АФС. (Ю.В. Истошин «Морская гидрометрия», 1967).

Направление фиксируется той же вспышкой лампочки (15), луч света которой проходит через прозрачную оцифрованную картушку компаса (16). Этот луч (17), отраженный зеркалом, попадает в окно (4). Таким образом, на каждом кадре пленки одновременно регистрируется число оборотов лопастного колеса и направление течения.

Важным достоинством прибора является то, что показания фактически не требуют обработки. Скорость течения получается в сантиметрах в секунду путем вычитания предшествующего отсчета счетчика из последующего. Только к показанию направления придается поправка на магнитное склонение.

Самописец течений «Океан» (буйковый вариант). Так же как и АФС, обладает положительной плавучестью и удерживается на заданной глубине тросом и якорем в притопленном положении.

Самописец течений «Океан» может работать без надзора ровно столько суток, сколько минут принято за интервал наблюдений, т. е. при 5-

минутном интервале - 5 суток, при 10-минутном - 10, при 15-минутном - 15, при 30-минутном - 30 и, наконец, при 60-минутном - 60 суток. Начальная скорость самописца 5 - 6 см/сек.

Буквопечатающая вертушка (БПВ-2 и БПВ-2р), разработанная Ю.К. Алексеевым в Арктическом и Антарктическом научно-исследовательском институте, используется как автономный прибор, но ею можно работать также с судна и со льда. Таким образом, БПВ является примером корабельно-автономного (регистрирующего) самописца течений.

Для измерения скорости течения служит вращающаяся на вертикальной оси крыльчатка, а для определения направления используется магнитный компас. Прибор устанавливается по направлению потока при помощи рулевых пластин. Скорость и направление течения записываются на бумажной ленте в виде двух рядов цифр, скорость записывается в сантиметрах в секунду, направление - в градусах. Запись позволяет считывать с ленты значения скорости с точностью до 1 см/сек и направления - с точностью 1°. Прибор устроен так, что его показания не требуют дальнейшей обработки, т. е. введения инструментальных поправок, обработки по тарировочным данным и введения поправок на магнитное склонение.

Существуют две модели прибора: модель БПВ-2 (рис. 12), предназначенная для работ на глубинах до 1500 м, и модель БПВ-2р, рассчитанная для глубин до 250 м.

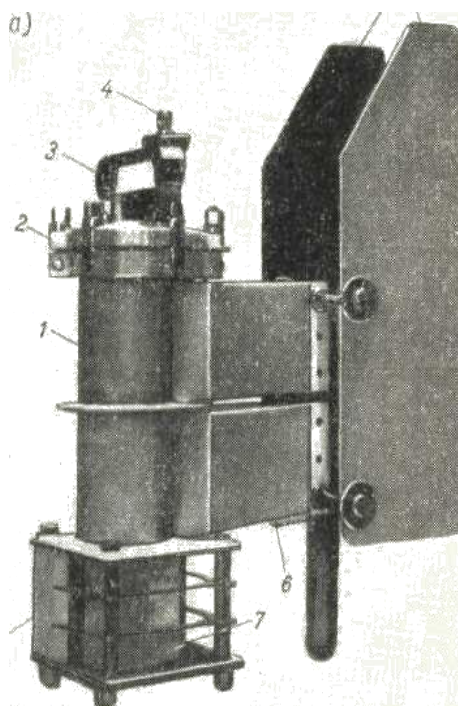


Рисунок 12 - Буквопечатающая вертушка Ю.К. Алексеева. БПВ-2. (Ю.В. Истошин «Морская гидрометрия», 1967).

Принцип работы самописца сводится к следующему. Лопастный винт прибора непрерывно вращается течением и его вращение посредством магнитной муфты передается в регистрирующую часть. Через заданные промежутки времени автоматически включается сцепление, передающее вращение лопастного винта диску скорости, который начинает поворачиваться. Чем больше скорость течения, тем на больший угол успевает повернуться диск за время, пока включено его сцепление с лопастным винтом. Включение и выключение диска скорости осуществляются часовым механизмом. Время, в течение которого диск скорости связан с лопастным винтом, называется временем экспозиции. Одновременно с началом экспозиции, т. е. с включением диска скорости, часовой механизм освобождает стопорное приспособление (арретир) магнитной катушки и она за время экспозиции устанавливается в плоскости магнитного меридиана. По окончании экспозиции

автоматически срабатывает печатающий механизм. На диске скорости и на магнитной катушке наклеены резиновые цифровые шкалы. Печатающий механизм наносит краску на эти шкалы и прижимает к ним ленту, на которой отпечатываются цифры с диска скорости и с магнитной катушки. После того как отпечаток сделан, диск скорости возвращается в исходное положение.

Самописец течений БПВ-3. На базе буквопечатающей вертушки БПВ-2 в Институте океанологии АН СССР разработан самописец БПВ-3 для измерения течений на глубинах, превышающих 2000 м.

Увеличение глубины погружения прибора достигнуто увеличением прочности корпуса путем:

1) запрессовки внутрь корпуса бронзовых колец с толщиной стенок 7 мм, что потребовало уменьшения диаметра регистрирующей части (на 14 мм) и некоторого изменения расположения деталей. Этот вариант прибора рассчитан для глубин до 2500 м;

2) утолщения стенок до 40 мм и крышки до 50 мм, при уменьшении диаметра регистратора на 14 мм. Прибор пригоден для работы на глубинах до 6000 м;

3) утолщения стенок корпуса до 22 мм (крышки до 30 мм). Диаметр регистратора оставлен таким же, как и у БПВ-2. Глубина применения прибора увеличена до 3000 м.

Конструкция БПВ-3 аналогична конструкции БПВ-2. Для обеспечения лучшей установки прибора по течению несколько увеличены рулевые пластины.

Автономные телеметрические самописцы течений.

Примером автономных телеметрических измерителей течений может служить «радиоизмеритель течений ГМ-33. Он применяется для измерения течений в поверхностных слоях (до горизонта 250 м) над глубинами до

1500 -2000 м. Над этими глубинами ГМ-33 может быть установлен на своем штатном бую. Для постановки над большими глубинами используют какой-либо стоящий на якоре буй, к которому, как к швартовой бочке, крепится буй ГМ-33.

Радиоизмеритель течений состоит из передающей и приемной частей, связанных по радио. Передающая часть - буй, на котором имеется УКВ передатчик, - устанавливается в море на якоре. Электроконтактная гидрологическая вертушка, подвешенная к бую, при каждом срабатывании контакта включает передатчик. В эфир передается серия сигналов, количество которых и последовательность во времени определяют скорость и направление течения. Приемная аппаратура воспроизводит эти сигналы на ленте самописца. Дальность действия аппаратуры (18 миль) обеспечивается при высотах передающей антенны 5 - 7 м и приемной 13 - 16 м.

Общий вид и разрез электроконтактной вертушки показаны на рисунке (рис. 13а и 13б). Вертушка состоит из герметического корпуса (1), внутри которого смонтировано устройство, преобразующее число оборотов вертушки и направление ее относительно магнитного меридиана в электрические импульсы, крыльчатки (2), защищенной кольцом (7), вертикального руля (3), противовеса (4) и гидродинамического стабилизатора (5).

Лопasti крыльчатки (6) изготовлены из органического стекла. Передача вращения крыльчатки в механизм вертушки осуществляется магнитной муфтой, состоящей из ведущей части (8), посаженной на ось крыльчатки, и внутреннего магнита (9). Ось внутреннего магнита, вращаясь в двух подшипниках (10), с помощью конической шестерни (11) и промежуточной шестерни (12) приводит во вращение шестерню (13), совершающую один оборот за каждые пять оборотов крыльчатки. Под этой шестерней установлен компас (14) на кардановом подвесе. Ось магнита несет на себе контактный рычажок (15). Валиком (16) шестерни-сателлита через

рычаг (15) замыкается контакт (17) при каждом пятом обороте крыльчатки. Таким образом фиксируется скорость течения. Верхняя часть этого же валика рычагом (18), укрепленном на корпусе вертушки, замыкает тот же контакт через 10 оборотов крыльчатки. Положение рычага (18) относительно рычага (15), связанного с магнитом, зависит от положения корпуса вертушки, т. е. направления течения относительно магнитного меридиана. Следовательно, время между импульсами скорости и направления будет определять направление течения. Электрические импульсы вертушки передаются по двухжильному кабелю-тросу (типа ПСМШ) в радиопередатчик.

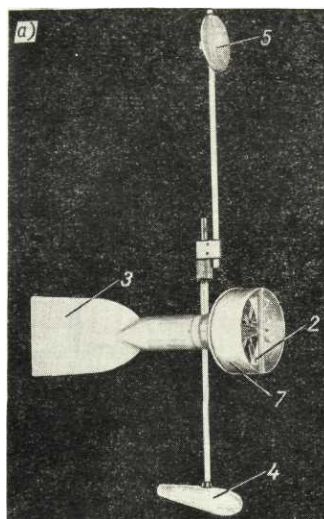


Рисунок 13а - Общий вид вертушки ГМ - 33. (Ю.В. Истошин «Морская гидрометрия», 1967).

Внешнее давление уравнивается тем, что корпус вертушки заполнен маслом. Для компенсации температурного расширения масла установлен сильфон-компенсатор (19). Компенсация осуществляется автоматически.

Корпус вертушки закрыт обтекателем (20), на котором укреплено вертикальное оперение. Горизонтальное оперение не поставлено, так как его заменяет гидродинамический стабилизатор (5) и противовес (4). При

скоростях течения до двух узлов можно вообще обходиться без стабилизатора и противовеса.

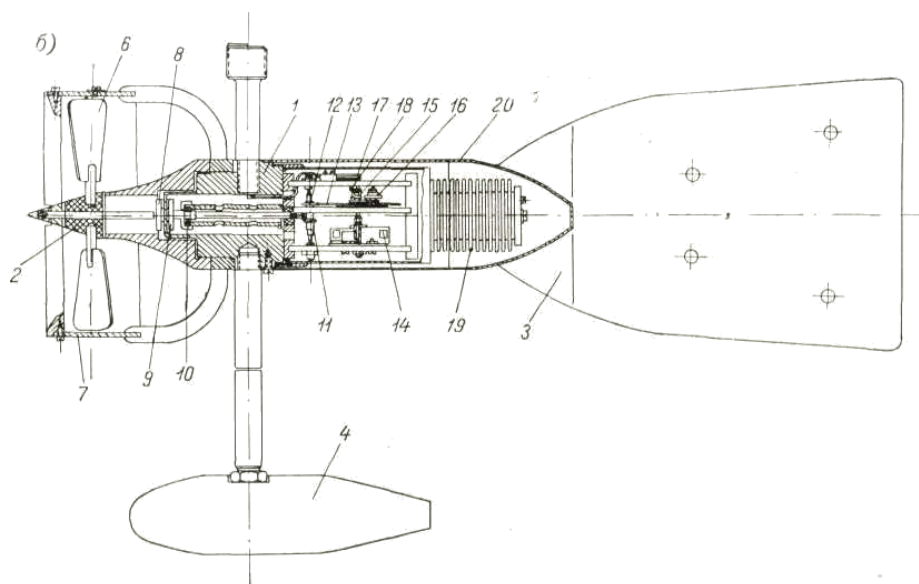


Рисунок 13б - Конструктивная схема вертушки ГМ – 33. (Ю.В. Истошин «Морская гидрометрия», 1967).

от корпуса судна. Кронштейн, укрепляемый к фальшборту судна, имеет на свободном конце подвес (2) на подшипнике и сельсин-датчик (3).

Датчик представляет собой электроконтактную вертушку. Через определенное число оборотов происходит замыкание контактов вертушки. Электрический импульс передается по кабелю на регистратор, перо которого делает на ленте отметку.

Вертушка крепится неподвижно относительно бифиляра. Бифилярная система состоит из двух рам: верхней (4) и нижней (5), соединенных между собой тросами (6). Длина тросов регулируется лебедкой (7). Нижняя рама снабжена оперением (8), обеспечивающим установку системы по течению.

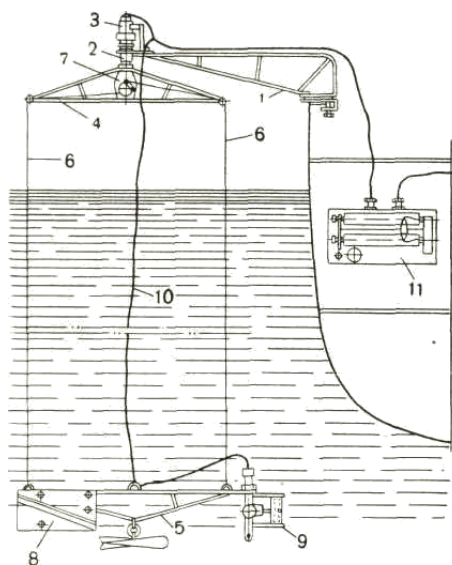


Рисунок 14 - Самописец течений «Витязь - 56». (Ю.В. Истошин «Морская гидрометрия», 1967).

Бифилярные самописцы течений предназначены для измерения и регистрации течений в поверхностном слое моря (обычно до 30 м, максимум до 100 м).

Судовой дистанционный самописец морских течений ГМ-27 является типичным примером корабельного измерителя течений. Он предназначен

для регистрации течений в верхних слоях моря с борта судна, стоящего на якоре.

Диапазон измеряемых скоростей 3 - 400 см/с. Начальная скорость 2 см/с. Точность по скорости $\pm(2 \text{ см/с} + 3\% \text{ измеряемой скорости})$. Точность измерения направления 10° .

На рисунке (рис. 15) представлена схема приемной части прибора. Число оборотов вертушки (1), приводимой во вращение течением, и положение флюгарки (8) относительно магнитной стрелки передается в виде электрических импульсов в регистрирующее устройство, с которым вертушка связана пятижильным кабелем. ГМ-27 измеряет среднюю за 3 мин скорость течения и 11 дискретных отсчетов направления течения за это же время. Вращение вертушки (1) магнитной муфтой (2) передается в корпус приемной части. Количество оборотов вертушки преобразуется в электрические импульсы фотосопротивлением (5), на которое свет лампочки (3) попадает через отверстие в диске (4). Диск (4) вращается магнитной муфтой. Таким образом, количество импульсов, возбуждаемых фотосопротивлением (5), пропорционально скорости течения.

Направление течения передается в корпус приемника флюгаркой (8) с помощью магнитной муфты (6), закрепленной на флюгарке и на железном сердечнике (7), жестко связанном с осью (9), которая несет спиральный кулачок (10) с уступом. Положение этого кулачка всегда совпадает с положением флюгарки. Направление течения определяется по угловому расстоянию между уступом кулачка (10) и северным концом магнитного компаса (11). Этот угол измеряется шаговыми искателями, расположенными в корпусе вертушки и в регистраторе.

Луч света проходит через отверстие в компасной коробке, совпадающее с северным концом магнитного компаса, попадает на фотосопротивление (12), импульс которого заставляет боек-отметчик направления течения сделать очередную отметку в виде черточки. За 3 мин. делается 11 таких черточек. Одновременно отмечается направление флюгарки. Расстояние между отметками на ленте регистратора будет, таким образом, соответствовать углу между направлением флюгарки (направлением течения) и направлением на магнитный север. Соответствующим образом разграфленная лента даст возможность отсчитать направление течения относительно магнитного меридиана. Чтобы получить истинное направление течения, при обработке требуется вносить поправку на магнитное склонение.

Для длительных наблюдений за изменениями течений во времени прибор ГМ-27 неудобен из-за необходимости часто менять ленту и производить ряд других операций вручную при каждом замере течения.

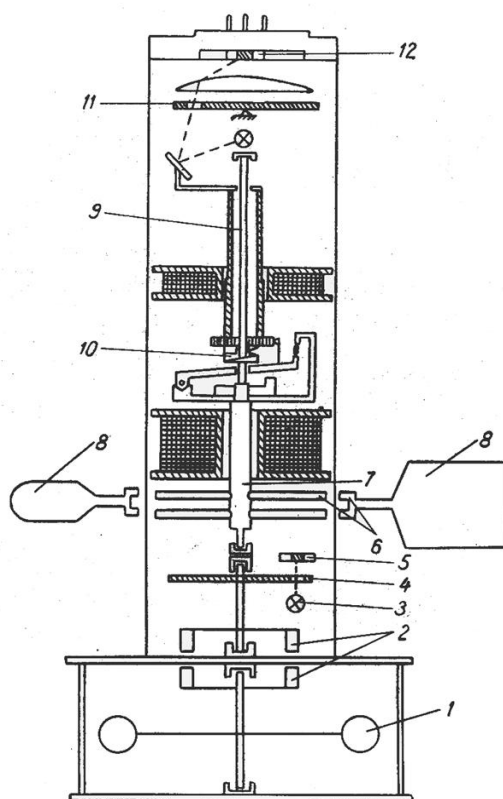


Рисунок 15 - Схема приемной части ГМ – 27. (Ю.В. Истошин «Морская гидрометрия», 1967).

2.2. Назначение и область применения измерителя направления и скорости течений «Вектор - 2»

Измерительные преобразователи скорости и направления течений "Вектор-2" (далее – преобразователь) предназначены для измерений вектора скорости и направления течений в океанах, морях, водохранилищах, устьях рек в условиях воздействия волнения. Результаты измерения течения и вспомогательных параметров, необходимых для учета поправок на функцию влияния, записываются во внутреннюю полупроводниковую память в цифровой форме. После извлечения преобразователя на поверхность данные считываются через соединительный кабель в персональный компьютер.

Область применения преобразователей – производство гидрологических исследований и инженерных изысканий при строительстве гидротехнических сооружений.

2.2.1. Описание прибора

Принцип действия преобразователя основан на векторном осреднении скорости вращения ротора Савониуса путем регистрации каждой четверти оборота ротора в виде электрического импульса, отмечающего некоторый элементарный отрезок пути водного потока, равный соответственно четверти шага ротора. Фиксируемые отрезки пути водного потока раскладываются на ортогональные составляющие - географические меридиану и параллель - путем умножения на синус и косинус суммарного угла, измеренного флюгером и магнитным компасом. Мгновенные значения синусов и косинусов суммируются с учетом знака в двух накопительных счетчиках в течение заданного интервала времени осреднения. Каждый счетчик представляет проекцию пути водного потока в масштабе, определяемом

градуировкой ротора. Искомая проекция скорости течения получается в результате деления полученного отрезка пути на время осреднения. Модуль вектора скорости определяется векторной суммой его проекции, а направление течения рассчитывается как арктангенс отношения ортогональных составляющих скорости с учетом их знаков.

В качестве чувствительного элемента фиксирующего обороты ротора, используется безмоментный индуктивный преобразователь на базе резонансного контура с ферритовым сердечником. На каждый оборот ротора ферритовый сердечник, установленный в ступице, четыре раза взаимодействует с контуром и выдает четыре электрических импульса, что пропорционально повышает разрешающую способность при измерении течения.

Направление течения измеряется малогабаритным флюгером, вписанным в диаметр корпуса преобразователя. Малогабаритный флюгер, вращающийся в кернах, имеет малую инерцию и высокую чувствительность к направлению водного потока. Инерционность ротора и флюгера взаимосогласованы, что позволяет при обработке результатов измерений осуществлять корректное векторное осреднение течения. Векторное осреднение существенно снижает погрешности измерения течения при наличии знакопеременной волновой составляющей. Механические приборы традиционного типа с развитым хвостовым оперением, разворачивающим по течению весь корпус прибора, таким свойством не обладают.

Преобразователь угла поворота флюгера в пропорциональный цифровой код также выполнен на основе безмоментного устройства, состоящего из шести резонансных контуров, расположенных равномерно по окружности, и взаимодействующего с ними одного подвижного ферритового сердечника. Резонансная частота контуров изменяется при сближении с ферритовым сердечником, что является мерой угла в пределах 60-градусного интервала между контурами. Микропроцессор измеряет частоты всех шести

контуров на каждый оборот ротора и рассчитывает угол ориентации флюгера относительно корпуса преобразователя.

Ориентация самого корпуса относительно стран света измеряется магнитным компасом типовой конструкции в виде котелка, заполненного маслом, с подвижной катушкой внутри. Катушка подвешена на агатовом подпятнике, опирающемся на острие иглы. Вторичный преобразователь угла поворота магнитной катушки представляет собой емкостной гониометр типа угол - фаза, обеспечивающий линейность характеристики, высокую точность и малое энергопотребление.

Электронная схема преобразователя выполнена на базе микропроцессора PIC 14000 фирмы Microchip, отличающегося достаточно высокой производительностью, развитостью периферийных портов и очень малым энергопотреблением. Микропроцессор осуществляет измерение частот вторичных преобразователей, организует заданную цикличность измерений, управляет записью данных в память и формирует код в формате RS-232 для передачи данных в компьютер.

Преобразователь имеет четыре режима цикличности измерений: 30с, 5, 10, 30 минут. Срок автономной работы, ограниченный емкостью батарейного блока питания и объемом памяти, составляет 1 год в режиме цикличности 30 мин. При других режимах цикличности срок автономности пропорционально сокращается.

С целью учета поправок от влияния искажающих факторов, помимо собственно скорости и направления течения преобразователь измеряет вспомогательные параметры: гидростатическое давление, температуру воды, угол отклонения корпуса от вертикали.

Гидростатическое давление измеряется датчиком Д-2.5 типа "Сапфир-22" класса 0.5. Гидростатическое давление используется для расчета глубины погружения преобразователя

Температура воды измеряется медным термометром сопротивления $R_0 = 100$ Ом. Температура используется для введения поправок к датчику давления.

Угол наклона корпуса от вертикали измеряется миниатюрным акселерометром типа ADXL-105 фирмы Analog Devices. Величина измеренного угла используется для учета поправок к измеренной скорости течения в соответствии с угловой функцией влияния ротора Савониуса.

Все вспомогательные датчики имеют аналоговый выход по напряжению, которое измеряется многоканальным 16-разрядным АЦП, входящим в состав микропроцессора.

Выходные данные считываются в компьютер после извлечения преобразователя из воды в условном двоичном коде. Каждый параметр занимает два байта информации. В компьютере условные коды преобразуются в физические величины, используя градуировочные коэффициенты датчиков, которые внесены в формуляр. Файл коэффициентов имеется и в программном обеспечении, прилагаемом к преобразователю.

Часть градуировочных коэффициентов, используемых при реализации алгоритма векторного осреднения внутри прибора записывается в память микропроцессора. Эти коэффициенты относятся к характеристике вторичного преобразователя флюгера и магнитного компаса. Прилагаемая к преобразователю программа обработки данных работает в среде Microsoft Office 97 и предусматривает выдачу данных в виде таблицы, позволяющей построение графиков и архивацию данных для последующего анализа.

По конструкции преобразователь представляет собой малогабаритный цилиндр диаметром 90 мм, высотой 420 мм. В нижней части расположен ротор Савониуса и флюгер в защитном ограждении. На нижней крышке закреплены датчик гидростатического давления и медный термометр сопротивления в защитной гильзе из нержавеющей стали.

В верхней части расположен рым - заглушка, который служит для подвески прибора на кронштейне, а также является крепежным элементом, удерживающим внутренний каркас преобразователя внутри защитного корпуса.

Внутри герметичного корпуса из немагнитной нержавеющей стали расположены электронная схема на двух печатных платах и батарейный блок питания. Для питания используются щелочные сухие элементы (alkaline) типоразмера АА.

Общий вид преобразователя “Вектор -2” представлен на рисунке (рис.16).

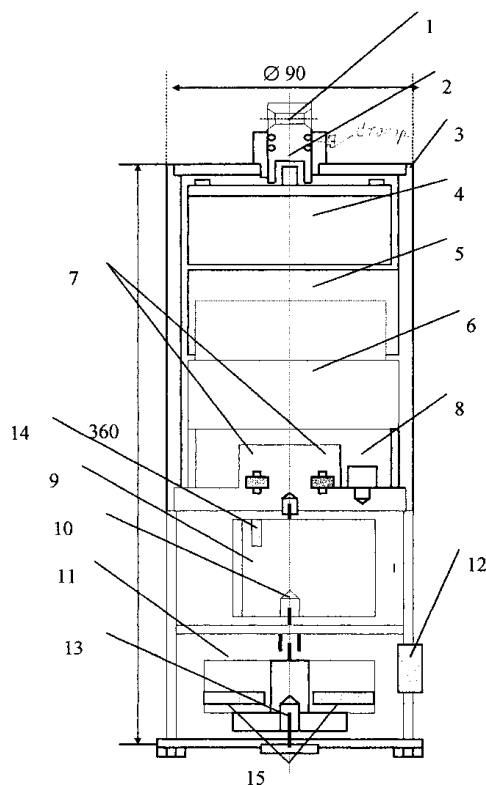


Рисунок 16 – Автономный измеритель течения «Вектор - 2». 1. Рым подвески, 2. Герморазъем, 3. Корпус, 4. Компас, 5. Электронный блок, 6. Блок батарей, 7. Катушки индуктивного преобразователя флюгера, 8. Датчик давления "Сапфир-22", 9. Флюгер, 10. Опорная игла флюгера, 11. Ротор Савониуса, 12. Индуктивный преобразователь ротора, 13. Опорная игла ротора, 14. Феррит флюгера, 15. Ферриты ротора.

2.2.2. Основные технические характеристики

1. Диапазон измерения скорости течения, см/с	от 1 до 150
2. Предел допускаемой погрешности измерения, см/с	$1.5 + 5\% V_{\text{изм}}$
3. Диапазон измерения направления течения, град.	от 0 до 360
4. Предел допускаемой погрешности измерения, град.	$\pm 5^\circ$
5. Диапазон измерения гидростатического давления, кПа	от 0 до 2500
6. Предел допускаемой погрешности измерения, % от P_{max}	0,5
7. Диапазон измерения температуры воды, $^\circ\text{C}$	от минус 2 до 25
8. Предел допускаемой погрешности измерения, $^\circ\text{C}$	0,05
9. Диапазон измерения угла отклонения корпуса от вертикали, град.	от 0 до 30
10. Предел допускаемой погрешности измерения, град.	3
11. Цикличность измерений, мин.	0,5, 10, 30.
12. Диапазон рабочих температур, $^\circ\text{C}$	от минус 2 до 25
13. Срок автономной работы при цикличности 60 мин.	1 год
14. Скорость передачи данных в компьютер по интерфейсу RS-232, бит/с	9600
15.10. Длина кабеля считывания данных, м	2
11. Габариты преобразователя, мм:	
диаметр	90
высота	420
12. Масса преобразователя, кг, не более	4.5
13. Средний срок службы, лет	10

ГЛАВА III.

РЕЖИМ ТЕЧЕНИЙ

3.1. Факторы, определяющие течения

Формирование течений в мелководном Азовском море, в основном, обусловлено тремя факторами: ветровым режимом, стоком впадающих рек и водообменом с Черным морем, происходящим через Керченский пролив.

3.1.1. Ветер

В зимний период в целом на всем море и побережье преобладают северо-восточные и восточные ветра (рис. 17). Повторяемость преобладающих ветров сравнительно невелика и колеблется в пределах от 30 до 50%. На фоне общего преобладания северо-восточных и восточных ветров при детальном анализе выявляются некоторые особенности отдельных районов. Так, например, на восточном побережье. Преобладающими являются восточные ветры, а на южном побережье – северо-восточные и южные ветры.

В весенний период преобладающие зимой направления ветров в общем сохраняются, но при этом резко увеличивается и повторяемость ветров западных румбов. В этот период чаще повторяется ветер не одного-двух румбов, а двух-трех или четырех различных румбов.

На северном побережье и над северной частью моря преобладающими являются северо-восточные и восточные ветры. Однако довольно часто здесь повторяются также юго-западные ветры - до 14% общего числа наблюдений. В Таганроге восточные ветры преобладают над северо-восточными, заметно увеличивается повторяемость западных и юго-западных ветров.

Над Таганрогским заливом и восточной частью моря второе место по повторяемости после восточных занимают западные ветры.

Над южной частью моря и Керченским проливом преобладают ветры северной и южной четвертей. В районе Темрюка преобладают восточные и южные ветры, а в Приморско-Ахтарске ветры восточного и западного направлений (рис.18).

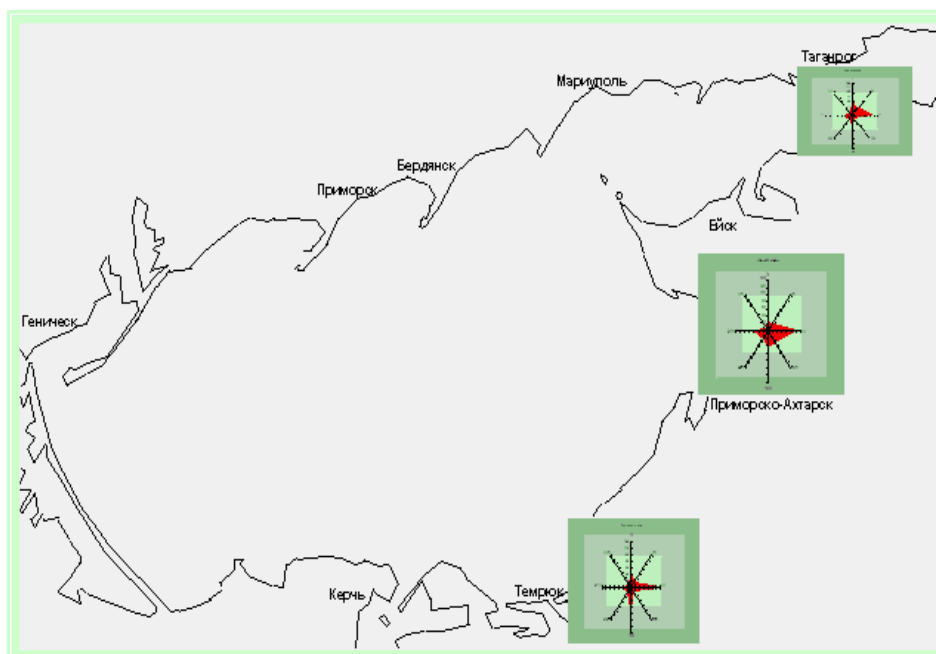


Рисунок 17 - Повторяемость ветров различных направлений в зимний период по станциям (Таганрог, Приморско-Ахтарск, Темрюк) (данные СЦГМС ЧАМ).



Рисунок 18 - Повторяемость ветров различных направлений в весенний период по станциям (Таганрог, Приморско-Ахтарск, Темрюк) (данные СЦГМС ЧАМ).

Над северо-западной частью моря на побережье преобладают ветры восточной четверти, в открытом море – ветры восточной и южной четвертей.

Центральные районы моря в весенний период находятся в основном под воздействием юго-западных и северо-восточных ветров.

В летний сезон розы ветров в открытой части моря показывают преобладание северо-восточных ветров и ветров западной четверти (рис 19).

На северном побережье и над северной частью моря преобладают ветры, характерные для сезона в целом.

В Таганрогском заливе и на северном его побережье преобладают северо-восточные и юго-западные ветры, но большая повторяемость западных ветров. На восточном берегу преобладают восточные и западные ветры. В восточной части моря и на его восточном побережье почти одинаково часто повторяются северо-восточные ветры и ветры западной четверти.

В районе Керченского пролива в это время года возникает своя система циркуляции. У входа в пролив со стороны Черного моря преобладают ветры северо-восточных и южных румбов при значительной повторяемости ветров северных румбов. В то же время у выхода из Керченского пролива в Азовское море преобладают ветры северных, северо-восточных и юго-западных направлений.

На северо-западе моря в открытой части велика повторяемость южных ветров и мала повторяемость северных.

В центральных районах Азовского моря летом преобладают северо-восточные ветры и ветры западной четверти. Суммарная повторяемость ветров преобладающих направлений составляет всего 33 - 38%.

Осенью на всем побережье Азовского моря, преобладают северо-восточные и восточные ветры (рис. 20). Суммарная повторяемость ветров этих румбов составляет около 35 - 50%. В открытом море в это время года преобладают ветры северо-восточных румбов – около 30%, а также велика повторяемость ветров северо-западных и восточных направлений. В районе Керченского пролива преобладающими являются северо-восточные, северо-западные и северные ветры.

Средняя годовая скорость ветра над Азовским морем составляет 4 - 6 м/сек. Зимой скорости ветра заметно больше, чем летом. Изменения средних скоростей ветра от месяца к месяцу составляют зимой 0.3 - 0.4 м/с, летом 0.3 – 0.2 м/с. Наибольшая средняя месячная скорость ветра 7.2 м/с наблюдается в Мысовом в декабре, наименьшая 3.0 м/с в Азове в июле. Средняя максимальная скорость составляет 14 м/с. Под влиянием сильного восточного ветра происходит сгон воды на востоке моря, а западные ветра создают сильный нагон. (Гидрометеорологический справочник Азовского моря, 1962).



Рисунок 19 - Повторяемость ветров различных направлений в летний период по станциям (Таганрог, Приморско-Ахтарск, Темрюк) (данные СЦГМС ЧАМ).



Рисунок 20 - Повторяемость ветров различных направлений в осенний период по станциям (Таганрог, Приморско-Ахтарск, Темрюк) (данные СЦГМС ЧАМ).

3.1.2. Материковый сток

Водосборная площадь Азовского моря составляет около 569.3 тыс. км². В Азовское море впадает 20 рек, которые в среднем за год вносят в водоем около 40 км³ пресной воды. Основное значение в материковом стоке имеют р. Дон и р. Кубань, на долю которых приходится 85% всей водосборной площади. Остальные реки представляют собой небольшие маловодные водотоки.

Площадь бассейна Дона 422.3 тыс. км², годовой ход водности Дона подвержен значительным изменениям. Более $\frac{3}{4}$ годового стока приходится на период с марта по июнь включительно. Значение весеннего половодья в годовом стоке увеличивается с возрастанием водности реки. В многоводные годы на долю весеннего стока приходится 80%, в маловодные – 64%. Максимальный годовой сток р. Дон наблюдается обычно в мае, минимальный – в октябре. Средний годовой сток р. Дон в условно естественный период (1911-1951 г.) составлял 24.1 км³, максимальный 52.46 км³ (1942 г.) (данные сектора гидрологии АзНИИРХ).

Второй по величине стока рекой бассейна Азовского моря является р. Кубань с площадью водосбора 57.9 тыс.км², длиной 906 км (Лурье и др. 2005). Среднегодовой сток Кубани для периода (1911-2005 гг.) составил 12.5 км³. Максимальное значение стока р. Кубань в 1915 г. составило 17.7 км³ (данные сектора гидрологии АзНИИРХ). Внутригодовое распределение стока р. Кубани характеризуется сравнительно небольшим увеличением водности реки в конце весны и летом.

3.1.3. Волнение

Развитие волн в Азовском море определяется двумя основными факторами: ветром над морем и большими глубинами, которые ограничивают рост волн. Следует отметить, что ограничение развития волн вследствие мелководности помимо прочего накладывает отпечаток на характер динамического и теплового взаимодействия между верхним слоем

моря и приводным слоем атмосферы. В холодное время года (декабрь – март) развитию волнения препятствуют льды.

Для построения карт полей волн используются значения средних высот ($\bar{h}$) и периодов волн ($\bar{\lambda}$).

Средняя длина волны рассчитывается по формуле:

$$\bar{\lambda} = 1.56 \bar{\tau}^2,$$

где $\bar{\tau}$ - средний период.

В результате анализа полей средних высот периодов волн, построенных для ветров восьми основных румбов со скоростями свыше 10 м/с, можно сделать следующие выводы.

При северном, северо-восточном и северо-западном ветрах поля высот и периодов волн очень близки между собой. Область наибольших высот и периодов волн располагается над центральной частью моря с некоторым смещением к югу (рис. 21). При восточных ветрах той же скорости параметры высот и периодов волн практически не меняются, но область их наибольших значений смещается несколько к юго-западной части моря (рис. 21).

Юго-восточные ветры смещают области наибольших значений средних высот и периодов волн несколько к северо-западу, но они по-прежнему остаются над относительно глубоководными районами. Южные и юго-западные ветры формируют аналогичные поля волн, области наибольших высот волн смещаются от центра моря несколько к северу (рис. 21). При западном ветре общая картина поля волнения остается близкой к таковой при северо-западном ветре, но наибольшие значения высот и периодов волн расположены ближе к центру моря.

В целом вследствие относительно симметричной конфигурации берегов основной части моря (за исключением заливов и кос), весьма

однородных глубин в открытом море и небольших размеров моря поля волн при различных направлениях ветра меняются незначительно.

Располагая данными о средних высотах волн, можно получить значения высот различных обеспеченностей i (%) в ряду волн. Для того чтобы вычислить высоту волн заданной обеспеченности среднюю высоту умножают на коэффициент K_H , отвечающий значению безразмерной функции распределения высот:

i (%)	1	3	5	20
K_H	2,2	2,0	1,8	1,4

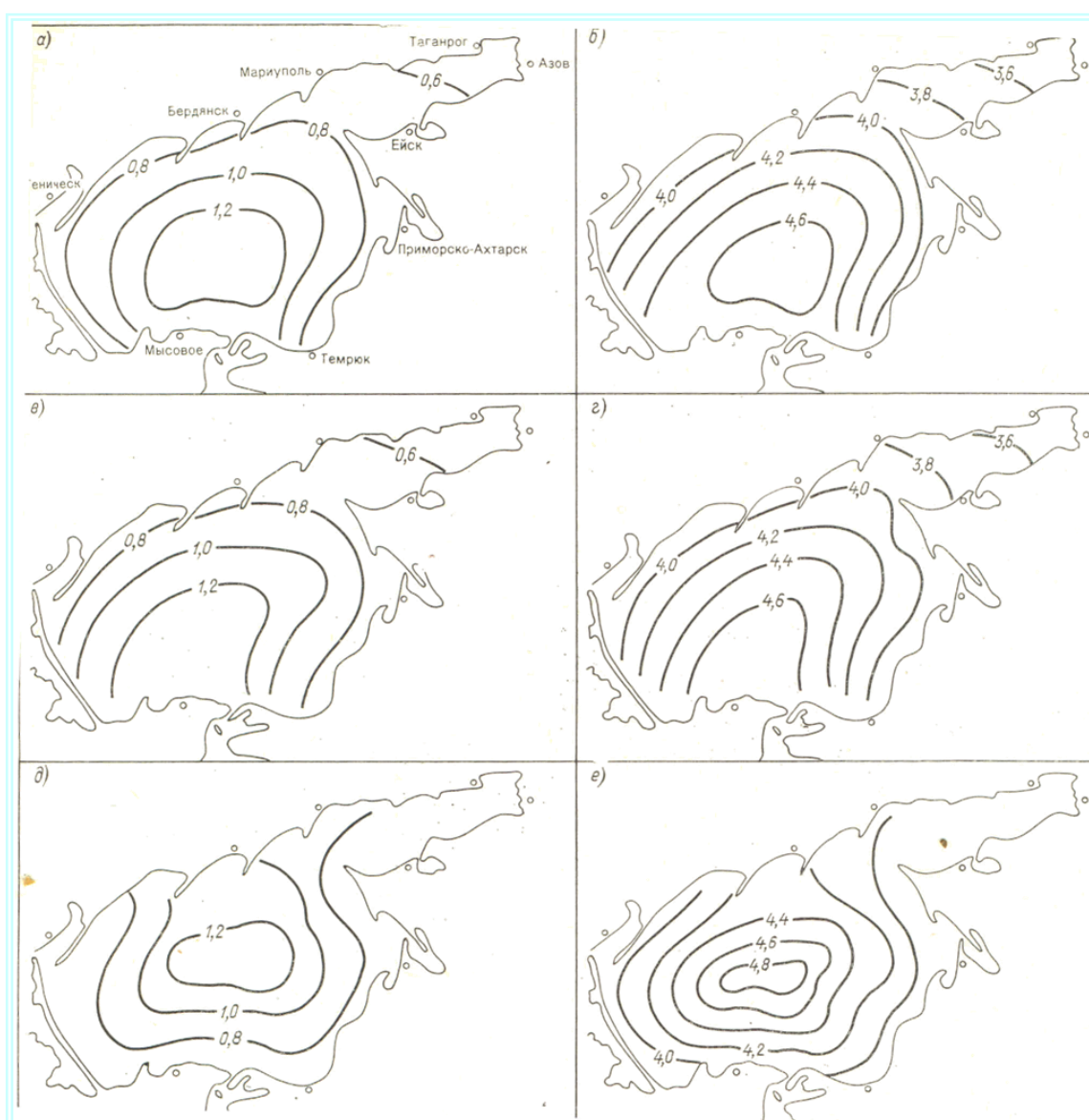


Рисунок 21 - Средние высоты (а, в, д) и периоды (б, г, е) волн, (а,б - ветер северо-восточный, 15-20 м/с, в,г – ветер восточный, 15-20 м/с, д, е – ветер южный, 15-20 м/с) (Гидрометеорология и гидрохимия..., 1991).

В результате статистического обобщения высот волн, рассчитанных по всем типовым полям ветра, были определены их режимные обеспеченности, которые показывают долю случаев (%), когда высота волн может быть равна или превышать, то или иное указанное ее значение. Карты приведены на рисунке (рис. 22), в общих чертах напоминают рассмотренные выше карты полей высот волн, хотя и имеют другой физический смысл. Наибольшие значения высот волн здесь также относятся к центральным районам моря со сдвигом к югу. Характерным для всех карт является то, что высоты волн любой режимной обеспеченности оказываются летом меньше, чем осенью и весной.

Наибольшие высоты волн, возможные один раз в n лет при различных направлениях ветра, представлены в таблице (табл. 4). Из этой таблицы видно, что наибольшие высоты волн следует ожидать от северо-восточных, восточных, западных и северо-западных ветров с равной степенью вероятности. Наименьшие высоты волн 1 %-ной обеспеченности вызывают юго-восточные и южные ветры. Эти особенности развития максимальных волн связаны с особенностями режима ветра на Азовском море. Во-первых, повторяемость северо-восточных, восточных, западных и северо-западных

ветров среднем по морю составляет около 16 %, а юго-восточных и южных – менее 8 %, т.е. в два раза меньше. Во-вторых, ветры СВ-В и З-СЗ секторов более устойчивы по направлению, чем ЮВ-Ю сектора. Продолжительность непрерывного действия сильных ветров (свыше 15 м/с) первых, как правило, намного превосходит продолжительность действия вторых.

В более мелководных районах рост волн уже при скорости ветра примерно 20 м/с ограничивается глубиной.

Таблица 4 - Наибольшие высоты (м) волн 1 %-ной обеспеченности возможные один раз в год, 5, 10, 25 и 50 лет (Гидрометеорологический..., 1962)

Число лет	Направление ветра							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
1	2,5	2,8	2,8	1,2	2,2	2,5	2,8	2,8
5	2,8	3,4	3,4	1,5	2,7	2,8	3,4	3,4
10	3,1	3,8	3,8	1,7	2,8	2,9	3,8	3,8
25	3,4	4,1	4,1	1,9	2,9	3,1	4,1	4,1
50	3,8	4,3	4,3	2,2	3,1	3,4	4,3	4,3

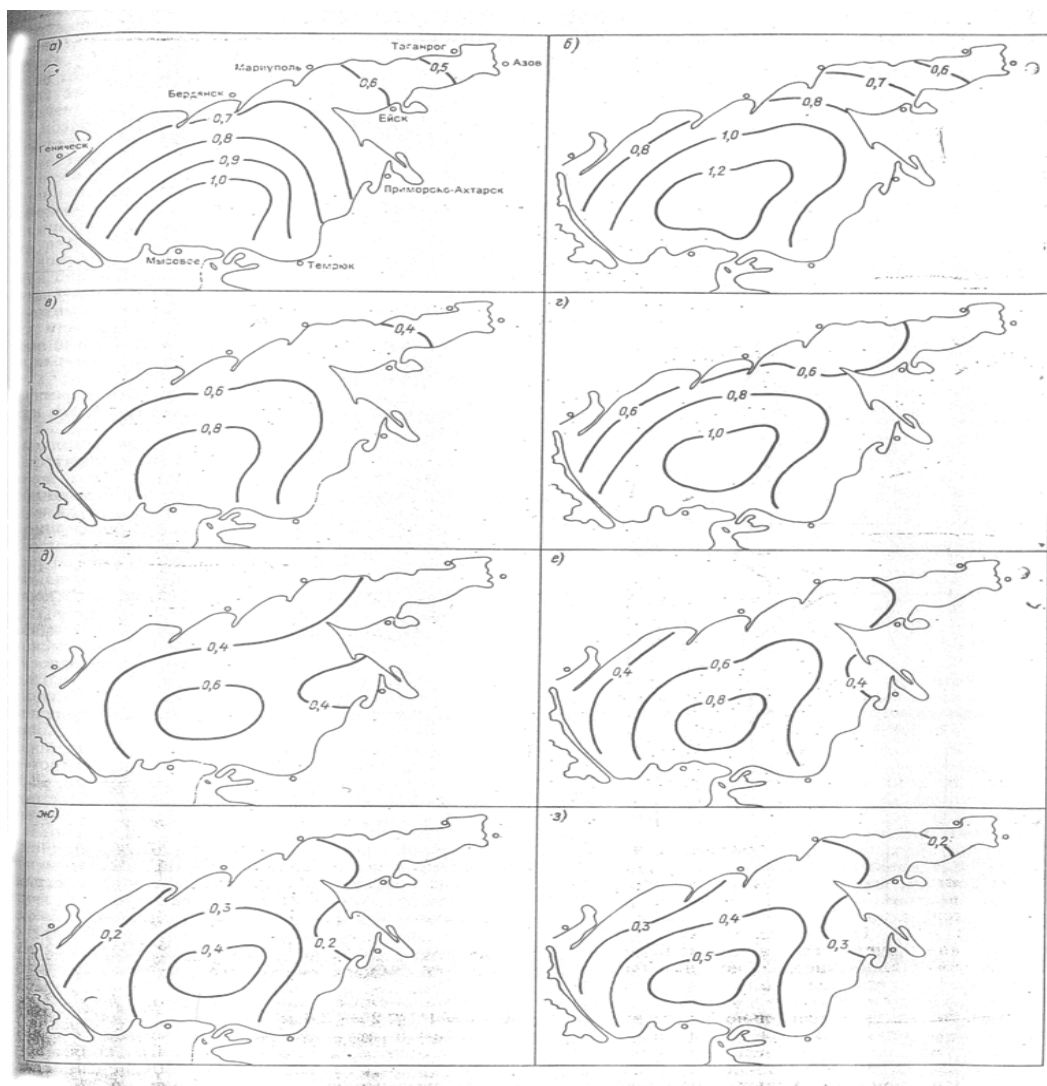


Рисунок 22 - Средние высоты волн 1 %-ной (а, б). 5 %-ной (в, г), 20 %-ной (д, е) и 50 %-ной (ж, з) режимной обеспеченности летом (а, в, д, ж) и весной, осенью (б, г, е, з) (Гидрометеорология и гидрохимия..., 1991).

3.2. Описание режима течений

3.2.1. Особенности режима течений открытого моря

Формирование течений в мелководном Азовском море обусловлено действующими над его акваторией ветрами. Ветры вызывают часто дрейфовые течения и создают разность уровней в различных районах моря, вследствие чего возникают компенсационные течения. Некоторую роль

играет сток рек Дона и Кубани, но его влияние ограничивается непосредственно предустьевыми районами.

Характерной особенностью режима течений Азовского моря, обусловленной его мелководностью, малыми размерами, а также неустойчивым ветровым режимом, является большая изменчивость течений. При возникновении ветра почти сразу же создаются ветровые, а несколько позже и компенсационные течения. При прекращении ветра течения быстро затухают.

Скорость и направление ветра определяют скорость и направление течения.

Схема общего результирующего переноса воды, состоящегося из отдельных разнонаправленных перемещений, зависящих от направления ветра, предложена Н.М. Книповичем (рис 23).



Рисунок 23 - Схема генерального течения Азовского моря (Н.М. Книпович 1936).

Согласно этой схеме, опресненные воды из Таганрогского залива распространяются вдоль северного побережья моря на запад, затем на юг и вдоль южного побережья на восток. У восточного побережья с юга на север распространяется опресненная вода. Таким образом, центральные районы моря оказываются окруженными зоной опресненной воды.

Наибольшую повторяемость в районе Азовского моря имеют северо-восточные (до 40% зимой) и Юго-западные (до 40% летом) ветры. Эти ветры в основном и обуславливают движение вод.

3.2.2. Течения при северо-восточном ветре

Северо-восточный ветер, даже равномерный по скорости, создает в северной части моря поток воды более мощный, чем в южной, так как линия максимального ветрового разгона в этом случае совпадает с осью Таганрогского залива и проходит через северную часть моря. Естественно, что при возникновении значительного нагона в районе Арабской стрелки, прорыв компенсационного потока происходит там, где ветровое течение слабое, т.е. в южной части моря. Таким образом, основными потоками, формирующими систему течений в данном случае, являются: поток воды, соответствующий направлению ветра в северной части моря, и компенсационный поток, направленный против ветра. Подобная картина течений наблюдается при северо-восточном ветре более сильном в северной части, чем в южной (рис.24). В случае, когда в южной части моря скорость северо-восточного ветра больше, чем в северной, против компенсационного потока при нагоне воды у Арабатской стрелки возможен только в северной части.

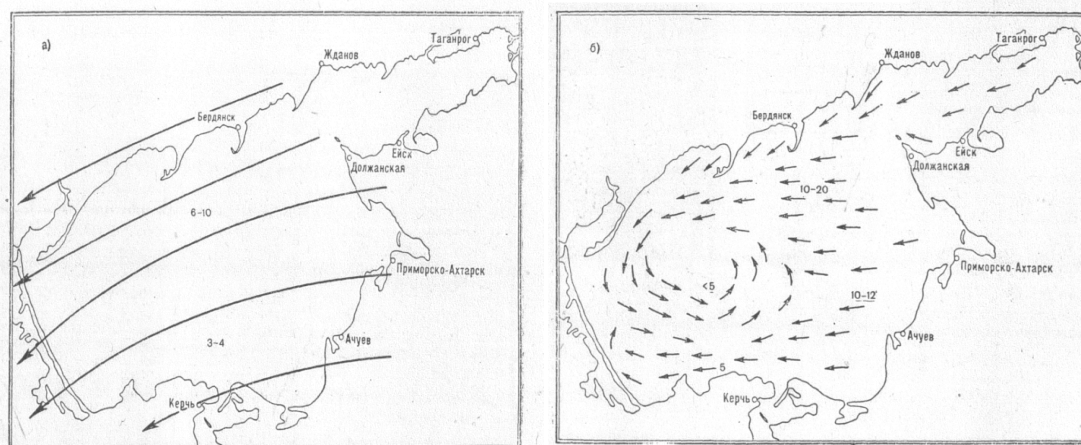


Рисунок 24 - Схема течений при северо-восточном ветре, неравномерном по скорости. а — поле ветра; цифры означают скорость в м/сек; б — схема течений; цифры означают скорость в см/сек.

Таким образом, течения, возникающие при данных условиях, направлены в южной части моря по ветру, а в северной — против ветра (рис. 25). В начальный период действия северо-восточного ветра, т.е. до возникновения нагона у Арабской стрелки, течение по всей акватории направленно по ветру и только при развитии нагона и достаточной продолжительности ветра происходит формирование указанных систем течений.

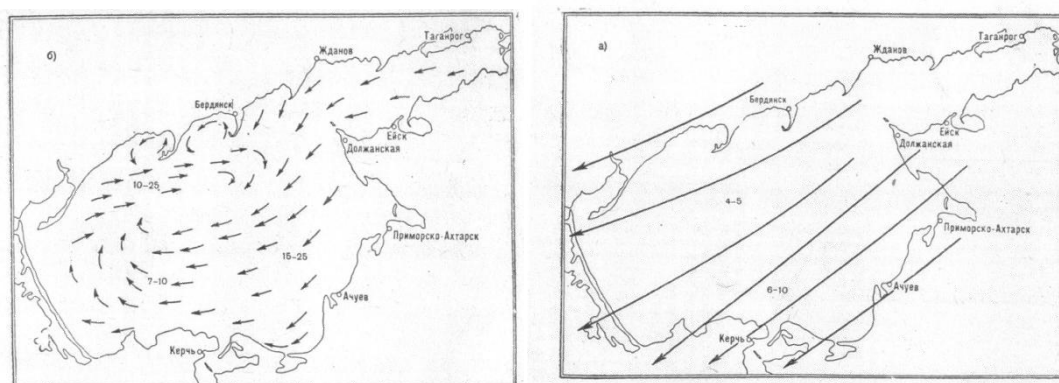


Рисунок 25 - Схема течений при северо-восточном ветре, неравномерном по

скорости: а — поле ветра и б — схема течения.

3.2.3. Течения при юго-западном ветре

Течения, возникающие при юго-западном ветре, вызывают значительный нагон воды в Таганрогский залив. Создающаяся при этом разность уровней между Таганрогским заливом и западным и южным районами моря значительно ослабляет ветровое течение. Так как разность уровней между Таганрогским заливом и южными районами моря меньше, чем разность уровней между Таганрогским заливом и западными районами, то ветровое течение в Юго восточной части моря оказывается более сильным, чем в северной. Вследствие этого при продолжительном Юго-западном ветре, прорыв компенсационного течения возможен у северного побережья моря, т.е. там где ветровое течение в результате созданной разности уровней ослабляется в наибольшей степени. Таким образом, при Юго-западном ветре, равномерном по скорости, течение в южной части моря направленно по ветру, а в северной части моря – против ветра, т.е. возникает движение воды против часовой стрелки (рис. 26). Подобная система течений возникает и в том случае, когда в южной части моря юго-западный ветер сильнее, чем в северной. Если же в северной части моря ветер сильнее, чем в южной, то движение воды, создаваемое в этом случае, происходит в северной части по ветру, а в южной – против ветра, т.е. по часовой стрелке.

Приведенные схемы течений подтверждаются распределением хлорнощелочного коэффициента по акватории моря при соответствующих ветровых условиях, а также наблюдениями над течениями методом аэрофотосъемки.

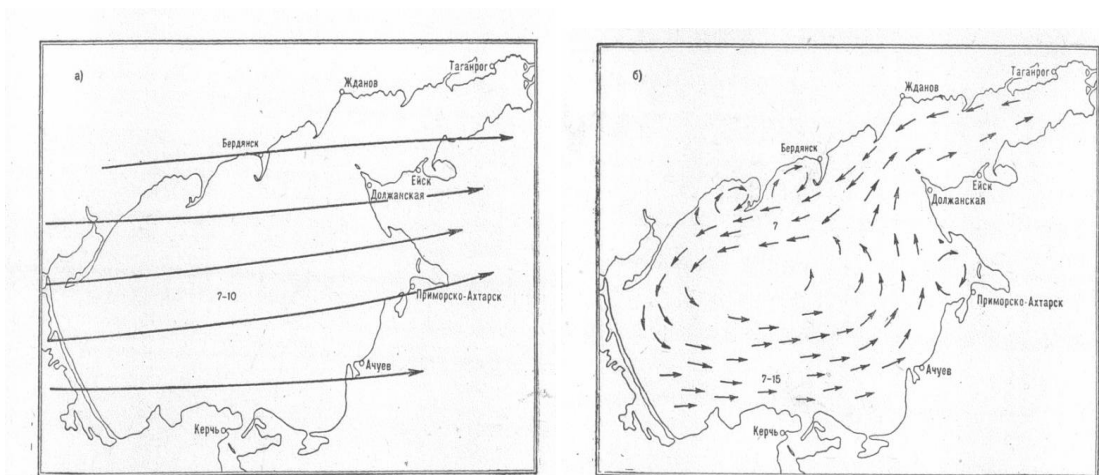


Рисунок 26 - Схема течений при западном ветре, равномерном по скорости над всей акваторией моря: а – поле ветра, б – схема течений.

3.2.4. Характеристика скоростей течения

На основании наблюдений можно сделать следующие выводы:

- 1) наиболее характерными в азовском море являются течения со скоростями от 2 до 10 см/с. Повторяемость таких течений достигает 60%;
- 2) повторяемость течений со скоростью 10 - 20 см/с составляет 30%;
- 3) течения со скоростью 20 - 30 см/с наблюдаются редко. Повторяемость их не более 7%.
- 4) течения, скорость которых превышает 40 см/с, возникают крайне редко в период осенних и весенних штормов.

Материалы наблюдений, произведенных при продолжительных штормовых ветрах, позволяют сделать следующие выводы:

- 1) для ветра со скоростью 5 - 10 м/с наиболее вероятны скорости течения 10 - 20 см/с;
- 2) для ветра со скоростью 10 - 15 м/с характерны течения со скоростью 20 - 30 см/с;

3) для ветра со скоростью 15 - 20 м/с вероятны течения со скоростью до 40 см/с.

Максимальные скорости течений не превышают 60 - 80 см/с. Исключением являются предустьевые районы, где скорости течений достигают 100 см/с и более. В этих районах значительную роль играют стоковые течения. Скорости стоковых течений в устьевых районах Дона и Кубани при выходе из гирл достигает 150 - 200 см/с.

3.2.5.Сезонная изменчивость течений

Сезонные изменения режима течений в Азовском море обусловлены сезонными изменениями ветрового режима. В летние месяцы преобладают течения, направленные с юго-запада на северо-восток, в осенние и весенние месяцы — на юго-запад. Максимальных скоростей течения достигают в весенние и осенние месяцы в период сильных и продолжительных северо-восточных штормов.

3.3.Режим течений в прибрежных районах

Темрюкский залив. В прибрежной зоне направление течений, вызванных ветром, зависит от конфигурации береговой линии. В результате обработки рейдовых наблюдений установлено, что при северных и северо-восточных ветрах течение в поверхностном слое отклоняется от направления ветра вправо. При западных и северо-западных ветрах течение отклоняется от направления ветра влево. При ветрах, направленных вдоль берега, направление течения совпадает в поверхностном слое с направлением ветра (табл. 5,6). На рисунке 27 изображены розы течений в Темрюкском заливе.

Таблица 5 - Наиболее вероятные течения при различных направлениях ветра в Темрюкском заливе.

Направление ветра	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Направление течения	ЮЗ-З	ЮЗ-З	З-СЗ	З-СЗ	СВ	СВ	СВ-В	СВ-В

Таблица 6 - Средние скорости ветра (м/с) и течений (см/с) в Темрюкском заливе (по рейдовым наблюдениям).

	Направление ветра								Среднее значение
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
Скорость ветра	5,8	5,7	4,6	4,6	5,6	6,2	4,7	5,2	5,3
Скорость течения	14,4	14,5	13,6	8,1	13,2	14,0	13,2	13,5	13,1
Ветровой коэффициент	2,5	2,55	3,02	1,8	2,31	2,26	2,9	2,6	2,48

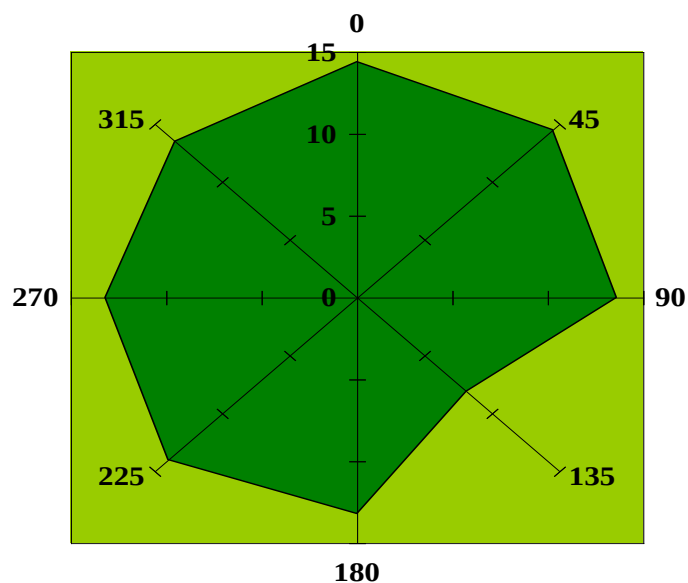


Рисунок 27 – Розы течений в Темрюкском заливе.

Характерным для прибрежной зоны Темрюкского залива является возникновение компенсационных противотечений в придонном слое. При слабых и умеренных ветрах повторяемость течений, охватывающих весь слой воды, составляет всего 27%. При сильных ветрах ветровое течение может охватывать весь слой воды. Течение в этих случаях направленно вдоль береговой черты.

Сток р. Кубани оказывает существенное влияние на формирование системы течений на предустьевом взморье. Речной поток в штилевую погоду прослеживается до свала глубин (рис. 28). Ослабление скорости стокового потока по оси его распространения происходит неравномерно. Резкое уменьшение скорости течения происходит на участке от устья до бара, при этом увеличивается ширина потока.

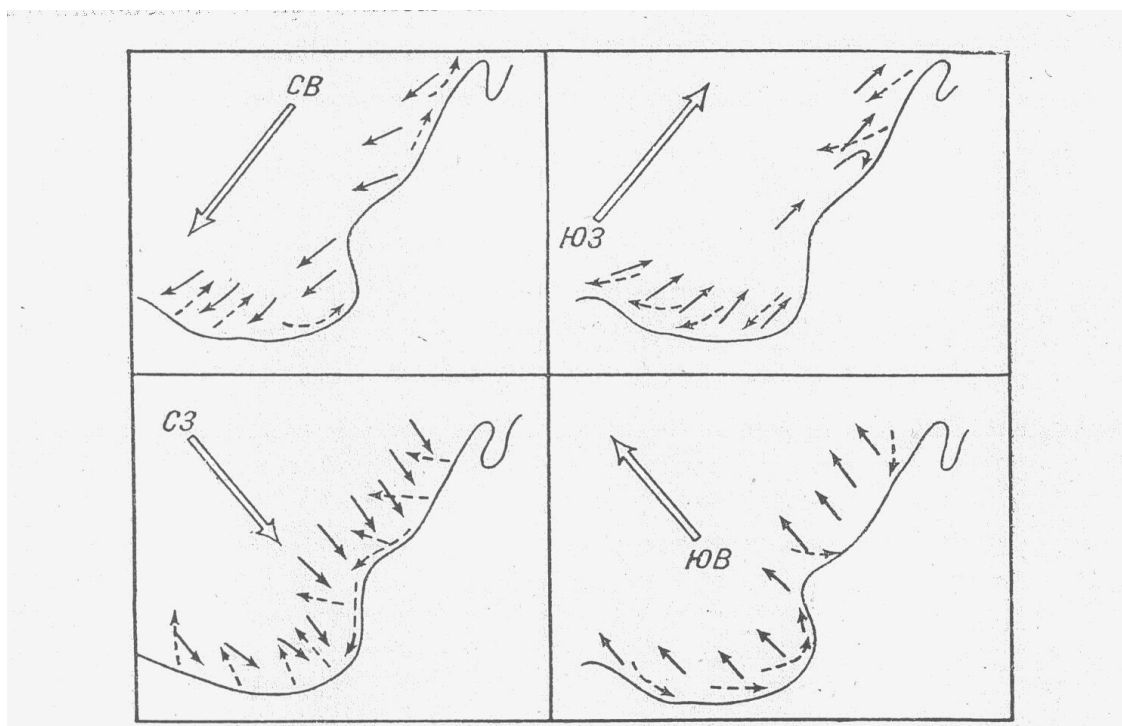


Рисунок 28 - Схемы течений у Юго-восточного побережья Азовского моря. 1 – ветер, 2 – поверхностное течение, 3 – придонное течение.

При нагонном ветре стоковое течение меняется. В связи с появлением ветровой составляющей оно отклоняется от направления русловой борозды и в большинстве случаев при нагоне скорость стокового течения резко уменьшается. При сильных нагонах сток воды в море из некоторых гирл вообще прекращается.

При сгонных ветрах под воздействием ветра усиливается сток пресных вод, в связи с чем речные воды распространяются в море дальше, чем это наблюдается при штиле. Затухание стоково-ветрового течения в этом случае происходит на большом расстоянии от гирл.

Арабатская стрелка (Стрелковое). Направление течений в районе Арабатской стрелки в большинстве случаев соответствуют направлению ветра. Однако при ветрах, дующих по нормали к береговой линии, это соответствие в прибрежной зоне нарушается (табл. 7).

Таблица 7- Наиболее вероятные направления течений при различных направлениях ветра Арабатская стрелка.

Направление ветра	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Направление течения	Ю	Ю	З- СЗ	СЗ-З	С	ЮВ	ЮВ- Ю	ЮВ- Ю

Особенностью района является то, что в большинстве случаев ветровое течение охватывает весь слой воды от поверхности до дна. Вероятность возникновения в придонном слое компенсационного течения невелика и составляет всего 14%. Наиболее вероятно противотечение у дна при ветровом течении в поверхностном слое, направленном к берегу. Вероятность возникновения противотечения в этом случае достигает 24%. Скорости течений в районе Арабатской стрелки малы (табл. 8). На рисунке 29 показаны розы течений на Арабатской стрелке.

Таблица 8 - Средние скорости ветра (м/с) и течения (см/с). Арабатская стрелка (по рейдовым наблюдениям).

	Направление ветра	Среднее
--	-------------------	---------

	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	значение
Скорость ветра	2,7	2,6	2,8	2,9	2,7	3,3	3,4	3,4	2,9
Скорость течения	9,4	8,7	8,3	8,3	8,0	7,9	8,1	9,0	8,4
Ветровой коэффициент	3,4	3,3	2,9	2,8	2,9	2,3	2,3	2,6	2,9

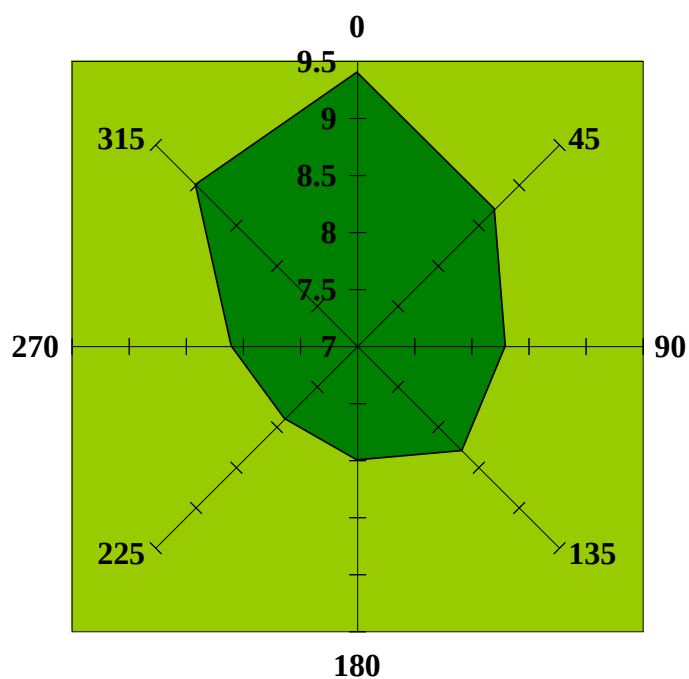


Рисунок 29 - Розы течений на Арабатской стрелке.

Бердянский залив. В заливе в связи с изрезанностью береговой черты нарушается соответствие направлений ветра и течения, вызванного ветром (табл.9,10). На рисунке 30 показаны розы ветров в Бердянском заливе.

Таблица 9 - Наиболее вероятные направления течений при различных направлениях ветра. Бердянский залив.

Направление ветра	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Направление течения	ЮВ-Ю	З-СЗ	СЗ	СЗ	СЗ-СВ	СВ-ЮВ	В	ЮВ-Ю

Таблица 10 - Средние скорости ветра (м/с) и течения (см/с) по рейдовым наблюдениям в Бердянском заливе.

	Направление ветра								Среднее значение
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
Скорость ветра	4,1	5,1	5,2	3,8	3,2	2,8	4,0	4,3	4,1
Скорость течения	8,2	7,3	8,4	8,3	7,0	7,7	7,3	11,3	8,2
Ветровой коэффициент	2,0	1,4	1,6	2,2	2,2	2,7	1,8	2,7	2,1

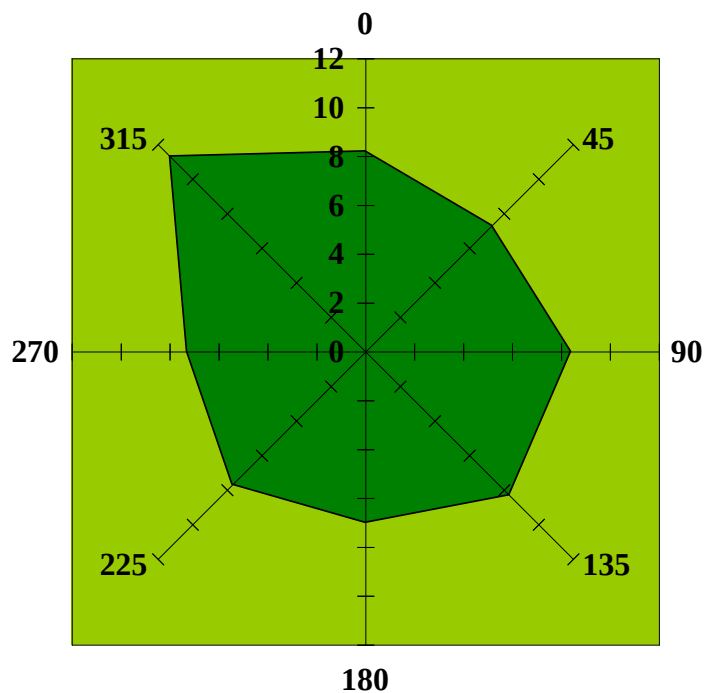


Рисунок 30 – Розы течений в Бердянском заливе.

В Бердянском заливе в придонном слое часто возникают компенсационные течения, особенно при ветрах, направленных в сторону берега. При сильных ветрах течение охватывает весь слой воды (рис. 31).

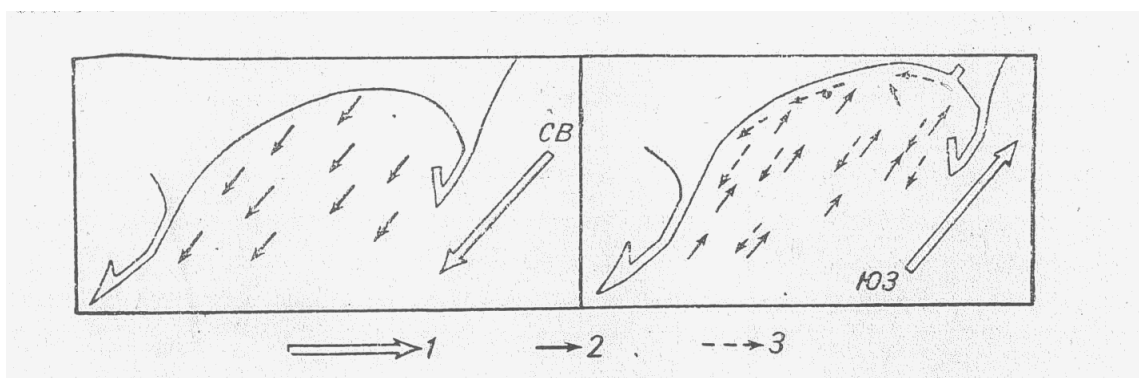


Рисунок 31 - Схема течений в Бердянском заливе. 1 – ветер, 2 – течения в поверхностном слое, 3 – течения в придонном слое.

Таганрогский залив. Основную роль в распределении водных масс в Таганрогском заливе играют сгонно-нагонные и компенсационные течения. Постоянное течение, создаваемое стоком р. Дон, совершенно затушевывается частыми перемещениями воды из западной части залива в восточную и обратно, возникающими в результате действия ветра.

Направление и скорость ветра определяют направление и скорость течения. Осредненные статистические характеристики течений по рейдовым наблюдениям приведены в таблицах (табл. 11, 12, 13, 14). На рисунках (рис.32 и 33) показаны розы ветров в районе Ейска и Мариуполя.

Таблица 11 - Наиболее вероятные направления течений при различных ветрах
в районе Ейска.

Направление ветра	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Направление течения	ЮЗ	ЮЗ	ЮЗ-З	ЮЗ	СВ	СВ	СВ	В

Таблица 12 - Средние скорости ветра (м/с) и течения (см/с) по рейдовым наблюдениям в Ейске.

	Направление ветра								Среднее значение
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
Скорость ветра	3,4	4,3	3,6	3,8	3,7	4,1	4,4	3,4	3,8
Скорость течения	12,6	10,4	8,4	11,2	10,4	11,4	12,0	10,6	10,9

Ветровой коэффициент	3,7	2,4	2,3	3,0	2,7	2,8	2,7	3,1	2,8
----------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Таблица13 - Наиболее вероятные направления течений при различных ветрах
в районе Мариуполя.

Направление ветра	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Направление течения	Ю-ЮЗ	ЮЗ	ЮЗ-З	З-СЗ	СЗ	СЗ-С	СВ	СВ

Таблица 14 - Средние скорости ветра (м/с) и течения (см/с) по рейдовым наблюдениям в Мариуполе.

	Направление ветра								Среднее значение
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
Скорость ветра	4,7	3,9	4,6	2,6	4,2	4,2	3,9	4,9	4,2
Скорость течения	9,3	11,1	13,9	7,4	9,4	8,4	9,4	10,3	9,9
Ветровой коэффициент	2,0	3,1	3,0	2,8	2,2	2,0	2,4	2,1	2,4

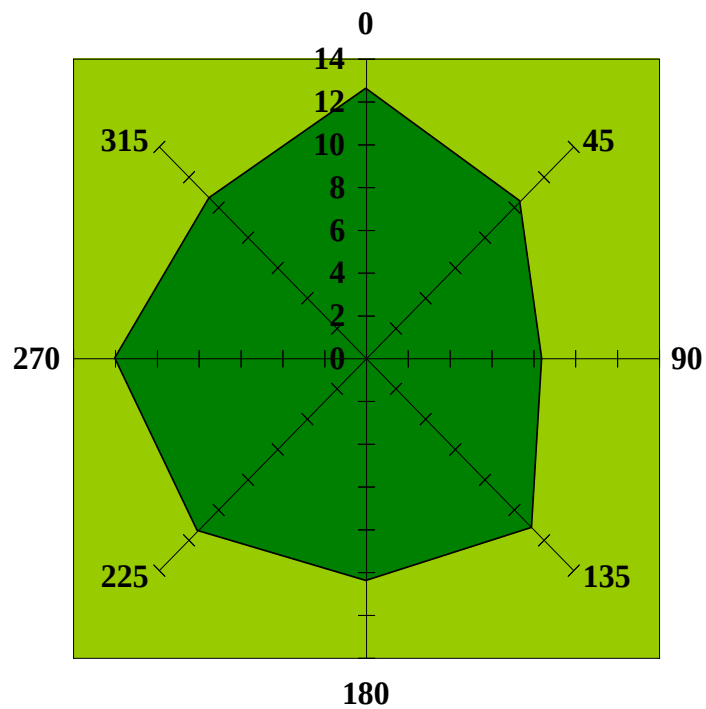


Рисунок 32 – Розы течений в районе Ейска.

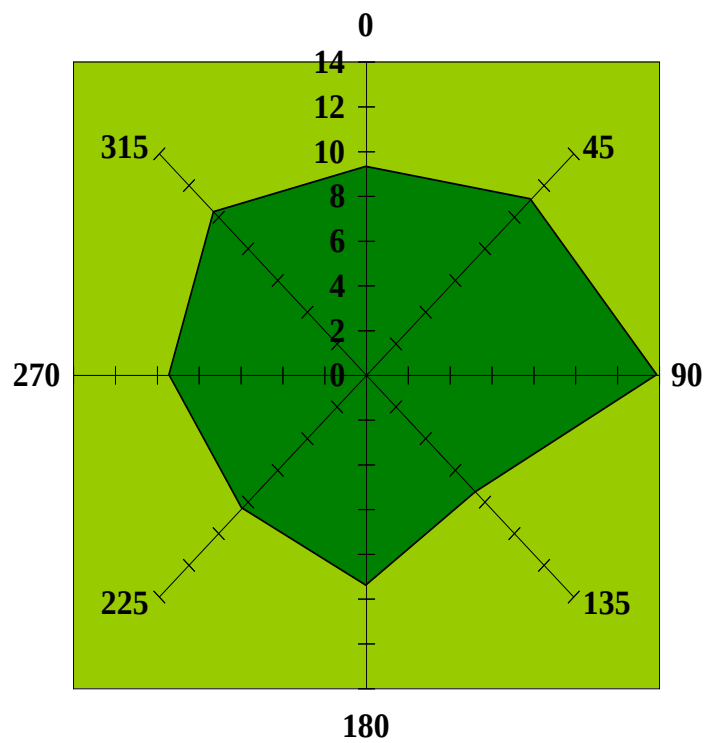


Рисунок 33 – Розы течений в районе Мариуполя.

Причина изменчивости течений заключается в следующем: при воздействии ветра на поверхность воды возникшее течение обуславливает нагон воды у наветренного побережья. Чем выше поднимается уровень, тем слабее становится течение при постоянной скорости ветра. При малейшем ослаблении ветра нагонное течение не может противостоять силе, стремящейся выровнять уровень воды. С этого момента возникает компенсационное течение, направленное против ветра. Чем резче и значительнее ослабевает ветер, тем больше скорость возникающего компенсационного течения. В некоторых случаях скорость компенсационного течения может значительно превысить скорость течения, вызвавшего нагон.

Ветровое течение в Таганрогском заливе обычно охватывает весь слой воды от поверхности до дна. Вероятность возникновения в придонном слое компенсационного течения невелика и в среднем составляет всего 20%. Противотечения в придонном слое чаще (44%) возникают при нагонных ветрах.

Стоковые течения в основном оказывают влияние на динамику вод только предустьевого взморья р. Дон. В штилевую погоду сток Дона является главной причиной, определяющей движение вод в этом районе.

При выходе из рукавов в залив вода на поверхности начинает растекаться, постепенно теряя прежнюю скорость движения. Однако даже в межень на протяжении 3 - 4 км сохраняется характер речного потока. В период половодья дальность распространения речных струй увеличивается. Большой сложностью отличается картина течений в условиях нагона, так как береговая линия в предустьевом районе моря представляет преграду для нагонного течения, в результате чего образуются круговороты и завихрения.

По мере развития нагона морские воды проникают в устье реки. Зона встречи морских и речных вод перемещается вверх по реке иногда на 60 км.

Сгонный ветер также оказывает влияние на режим течений в предустьевом районе. При больших сгонах осуществляется весь бар Дона. Скорости течений в гирлах значительно увеличиваются и достигают больших значений, особенно в половодье (150 - 200 см/с).

3.4. Ветровые течения

Основной вклад в формирование режима течений Азовского моря, вносят течения, обусловленные воздействием ветра на морскую поверхность. Даже при относительно слабых ветрах в условиях больших глубин в море происходит перемешивание до дна, и практически его можно считать однородным по плотности. Влияние рек, даже таких, как Дон и Кубань, заметно лишь на устьевых взморьях. Различия в атмосферном давлении по акватории моря не превышают 10-15 гПа, поэтому их воздействие на изменение уровня, а следовательно на формирование бароградиентных течений незначительно.

Течения являются одним из наименее изученных элементов гидрологического режима Азовского моря, что связано с недостаточным числом наблюдений за течениями и почти полным отсутствием наблюдений, выполненных при сильных и штормовых ветрах.

Это не только затрудняет получение достаточно надежных эмпирических зависимостей между ветром и течениями, а также схем циркуляции вод, но и не позволяет получить удовлетворительные режимно-статистические характеристики течения.

Вопросы циркуляции вод в Керченском проливе наиболее подробно рассмотрены Э.Н. Альтманом (1975). В его исследованиях, основанных на результатах, как наблюдений, так и эмпирико-гидродинамических методов

расчета, главное внимание уделяется исключительно сложной проблеме водообмена между Азовским и Черным морями.

Первый опыт применения трехмерной нестационарной численной схемы для расчета течений Азовского моря принадлежит Ю.Г. Филиппову (1970), который получил схемы поверхностных и придонных течений и выявил наиболее характерные особенности циркуляции в зависимости от направления и скорости ветра.

В процессе формирования ветровых течений азовского моря участвуют три компонента: дрейфовый, компенсационный и инерционный, относительные вклады которых в этот процесс изменяются во времени, по акватории моря и по его глубине.

На первой стадии развития шторма – от момента возникновения ветра до достижения им своего максимума – во всем слое воды преобладают дрейфовые течения, скорости которых возрастают по мере его усиления. Одновременно увеличивается толщина слоя воды, охваченного движением. Реакция верхнего слоя на изменение скорости ветра протекает быстро: максимумы скорости течений по времени близко совпадают с его максимумом. Отклонение течений от направления ветра не превышает 20 - 30°, за исключением подветренных участков побережья, где оно может быть больше (40 - 50°). Наибольшая скорость течений отмечается у поверхности, наименьшая – у дна. На этой стадии скорость течений верхнего слоя (0 - 3 м) по акватории моря сравнительно однородна (Гидрометеорология и гидрохимия., 1991).

На второй стадии, при условии продолжения действия достаточно устойчивого по скорости и направлению ветра, на глубине формируется компенсационное течение, интенсивность которого постепенно возрастает. Формирование глубинного течения сопровождается уменьшением скорости течения в поверхностном слое. Движение приближается к установившемуся.

В море развивается двухслойная циркуляция: в верхнем слое – по ветру, на глубине – против ветра. Наибольшая скорость течений наблюдается у поверхности и у осевой части компенсационного потока, наименьшая – вблизи границы раздела потоков. При этом поверхностный максимум значительно больше глубинного. Подобная двухслойная структура течений характерна для всей акватории открытого моря, ограниченной примерно 5-метровой изобатой, вплоть до того момента, пока не начнет ослабевать ветер или изменяться другие его параметры.

На третьей стадии – стадии ослабления ветра – постепенно уменьшается относительный вклад дрейфовой составляющей и возрастает роль компенсационных и инерционных течений. Одновременно изменяется их пространственная и вертикальная структура. Циркуляция вод в бассейне приобретает более сложный характер.

К основным особенностям пространственной структуры типовых полей течений, характерные для различных типов и подтипов полей ветра, относятся следующие (Гидрометеорология..., 1991):

1. Северный ветер – скорость течений возрастает в Азовском море с северо-запада на юго-восток, в Таганрогском заливе – с востока на запад. Максимальная скорость течений изменяется по площади моря в пределах 40-80 см/с (подтип 15 - 20 м/с), 20 - 45 см/с (подтип 10 - 15 м/с), 7 - 20 см/с (подтип 5-10 м/с).

2. Северо-восточный ветер – скорость течений возрастает в Азовском море с северо-запада на юг и юго-восток, в Таганрогском заливе – с востока на запад. Максимальная скорость течений по всей площади моря изменяется в пределах 50 - 120 см/с (подтип 15 - 20 м/с), 25 - 75 см/с (подтип 10 - 15 м/с), 10 -25 см/с (подтип 5 - 10 м/с).

3. Восточный ветер – скорость течений возрастает с северо-запада на юг и юго-восток в Азовском море и с востока на запад – в Таганрогском

заливе . Максимальная скорость течений изменяется площади моря в пределах 50-110 см/с (подтип 15 - 20 м/с), 25 - 60 см/с (подтип 10 - 15 м/с), 10 - 28 см/с (подтип 5 - 10 м/с). При восточном ветре скоростью 20 - 25 м/с, который наблюдается только в осенне-зимний период, максимальная скорость течений – 120 - 135 см/с – наблюдается в юго-восточном районе.

4. Юго-восточный ветер - скорость течений во всем море, включая залив, возрастает с северо-востока на юго-восток. Максимальная скорость течений изменяется по всей площади моря в пределах 25 - 80 см/с (подтип 15 - 20 м/с), 10 - 40 см/с (подтип 10 - 15 м/с), 8 - 15 см/с (подтип 5 - 10 м/с).

5. Южный ветер – скорость течений во всем море возрастает с северо-востока на юг и юго-запад. Максимальная скорость течений изменяется по площади моря в пределах 30 - 75 см/с (подтип 15 - 20 м/с), 15 - 45 см/с (подтип 10- 15 м/с), 6 - 18 см/с (подтип 5 - 10 м/с).

6. Юго-западный ветер – скорость течений во всем море возрастает на юго-запад и юг. Максимальные скорости течений изменяется по площади моря в пределах 50 - 90 см/с (подтип 15 - 20 м/с), 20 - 45 см/с (подтип 10 - 15 м/с), 10 - 20 см/с (подтип 5 - 10 м/с).

7. Западный ветер – скорость течений возрастает с запада на восток и северо-восток. Максимальная скорость течений изменяется по площади моря в пределах 60 - 135 см/с (подтип 15 - 20 м/с), 25 - 60 см/с (подтип 10 - 15 м/с), 10 - 20 см/с (подтип 5 - 10 м/с).

8. Северо-западный ветер – скорость течений возрастает с северо-востока на юг и запад. Максимальная скорость течений изменяется по площади моря в пределах 30 - 80 см/с (подтип 15 - 20 м/с), 15 - 45 см/с (подтип 10 - 15 м/с), 6 -15 см/с (подтип 5 - 10 м/с). При этом ветре при скорости 20 - 25 м/с максимальная скорость течений отмечается в южной половине моря и достигает 100 - 135 см/с.

В целом анализ карт типовых полей течений указывает на то, что их пространственная структура самым тесным образом связана со структурой типовых полей ветра – чем резче выражена неоднородность ветра над морем, тем сильнее различия в скорости течения над акваторией моря.

В отличие от открытого моря в Таганрогском заливе можно выделить два основных направления течений: восточное – при нагонных западных, северо-западных и юго-западных ветрах и западное – при сгонных восточных, северо-восточных и юго-восточных ветрах.

Анализ результатов показывает, что в центральной части Азовского моря, ограниченной примерно 10-метровой изобатой, с марта по ноябрь (табл. 15) наиболее часто повторяются западные, юго-западные, восточные и северо-восточные течения. Скорость этих течений значительно больше скорости течений других направлений (табл. 16). В Таганрогском заливе наибольшей повторяемостью отличаются западные и восточные течения (табл. 15), при этом скорость восточных течений значительно больше скорости западных (табл.16). Повторяемость и скорости течений других направлений намного меньше.

Таблица 15 - Повторяемость течений различных направлений по градациям скоростей (Р %), и обеспеченность модуля скорости течений (F %) в центральной части Азовского моря и в Таганрогском заливе в марте-ноябре.

Градации скорости,	Направление течений									
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Р %	F %

м/с										
Центральная часть Азовского моря										
0-10	6,4	7,2	6,2	6,7	5,4	6,4	13,7	6,7	58,7	100,0
11-20	1,1	4,1	3,3	1,0	2,2	6,3	7,9	0,9	26,6	41,3
21-30	0,9	1,0	1,1	0,4	0,5	1,2	2,7	0,2	8,0	14,5
31-40	0,4	0,7	0,4	0,2	0,3	0,7	1,2	-	3,9	6,5
41-50	-	0,1	0,2	-	0,1	0,4	0,6	-	1,4	2,6
51-60	-	0,1	0,1	-	-	0,2	0,3	-	0,7	1,2
61-70	-	-	-	-	-	0,1	0,2	-	0,3	0,5
71-80	-	-	-	-	-	0,1	0,1	-	0,2	0,2
Сумма	8,8	13,2	11,3	8,3	8,5	15,4	26,7	7,8	100,0	
Таганрогский залив										
0-10	1,6	9,4	13,6	2,4	2,5	14,0	16,0	2,6	62,5	100,0
11-20	0,2	2,4	5,3	0,3	0,2	2,3	7,3	0,3	18,3	37,5
21-30	0,1	0,9	2,7	0,2	0,1	0,8	4,4	0,1	9,3	19,2
31-40	-	0,3	1,4	0,1	-	0,4	2,2	-	4,4	9,9
41-50	-	0,1	0,8	-	-	0,2	1,4	-	2,5	5,5
51-60	-	-	0,3	-	-	-	0,9	-	1,2	3,0
61-70	-	-	0,2	-	-	-	0,7	-	0,9	1,8
71-80	-	-	0,1	-	-	-	0,4	-	0,5	0,9
81-90	-	-	-	-	-	-	0,3	-	0,3	0,4

91-100	-	-	-	-	-	-	0,1	-	0,1	0,1
Сумма	1,9	13,1	24,4	3,0	2,8	17,7	34,1	3,0	100,0	

Таблица 16 - Скорость течений (см/с) обеспеченностью (F %) в центральной части Азовского моря и в Таганрогском заливе в марте-ноябре.

(F %)	Направление течений							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Центральная часть Азовского моря								
1	28	48	46	36	32	58	68	26
5	24	34	32	22	27	45	48	16
10	20	26	22	16	21	33	36	10
20	15	18	17	10	14	24	25	7
50	6	9	9	5	7	12	14	5
Таганрогский залив								
1	22	46	78	32	24	36	58	18
5	13	32	60	22	16	26	42	9
10	9	20	42	16	10	18	30	6
20	7	14	27	10	7	13	22	4
50	4	7	12	6	4	6	10	2

Рассматривая межсезонную изменчивость, следует обратить внимание на то, что если разница в скорости течений весной, осенью и за весь навигационный период в целом сравнительно невелика, то летом скорости течений намного меньше, чем в остальное время года. Диапазоны изменения скоростей течений при различных типах направлений ветра и подтипах скоростей ветра (табл. 17) при слабых ветрах невелики (2 - 5 см/с), но по мере увеличения скорости ветра могут достигать 30-40 см/с. Как правило, для ветров, имеющих наибольшую повторяемость, характерны наибольшие диапазоны изменения скоростей, что особенно отчетливо проявляются в основной части Азовского моря. В Таганрогском заливе, вследствие вытянутости его конфигурации, эта особенность течения проявляется слабее.

Таблица 17 - Интервалы изменения скорости течения по акватории моря при различных типах и подтипах полей ветра (направления течений совпадают с направлением ветра, скорости ветра – в м/с, скорости течений – в см/с).

Подтип ветра, м/с	Тип ветра							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Центральная часть Азовского моря								
5-10	10-15	14-18	16-20	8-12	9-13	14-18	12-16	8-12
10-15	25-35	35-55	35-50	20-30	30-40	30-40	30-50	30-40
15-20	60-70	60-90	60-90	50-70	55-75	60-80	70-100	50-70
20-25	-	-	80-120	-	-	-	-	80-120
Таганрогский залив								

5-10	10-12	16-20	18-20	10-12	8-10	16-20	14-18	10-12
10-15	25-30	30-40	30-40	15-20	25-30	30-40	30-40	15-25
15-20	40-50	60-80	60-80	30-40	30-40	60-70	100-120	30-50
20-25	-	-	60-100	-	-	-	-	60-70

ГЛАВА IV.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СКОРОСТЕЙ И НАПРАВЛЕНИЙ ТЕЧЕНИЙ АЗОВСКОГО МОРЯ В 2006 г

4.1. Анализ данных по вертикальному распределению направления и скорости течения Азовского моря в апреле 2006 года

Анализ вертикального распределения скоростей течения выполнен по данным апрельской и августовской комплексных экспедиций АзНИИРХ в Азовское море. Мониторинг водной среды осуществлялся по стандартной сетке станций (34 станции обследования), равномерно расположенных по акватории моря (рис. 34). Измерение направлений и скоростей течения проводились в точках отбора проб воды.

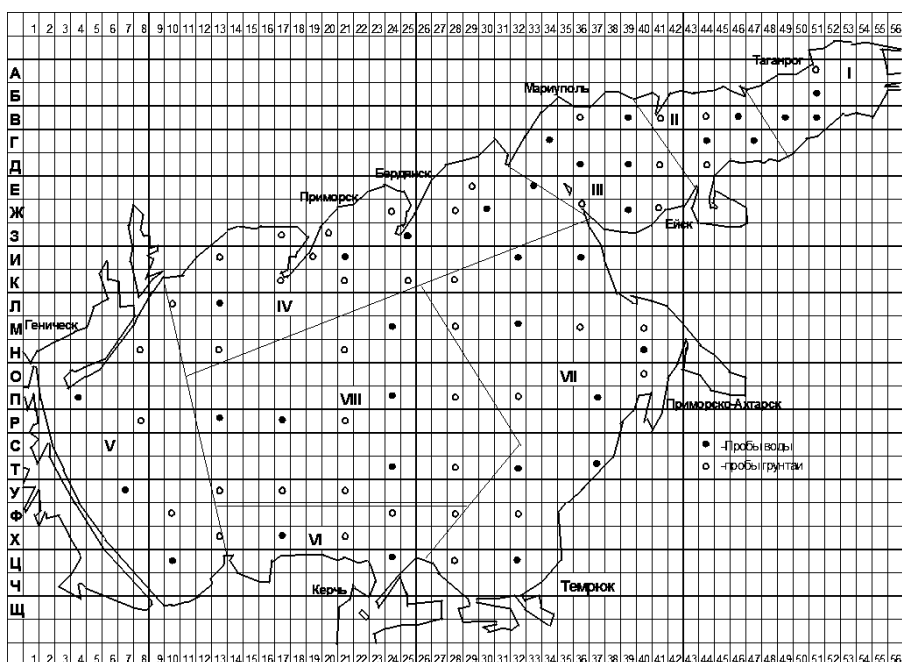


Рисунок 34 - Схема станций и районов проведения океанографического мониторинга Азовского моря АзНИИРХ

Для анализа данных по вертикальному распределению скоростей и направлений течения были построены в программе «Excel» эпюры скоростей по всем станциям обследования. Рядом с каждым значением скорости векторно обозначено направление течения. Градиенты скоростей рассчитаны для каждого из слоев водной толщи, а также с учетом перепада скоростей от поверхности ко дну.

Построенные для каждой из станций эпюры скоростей представлены на рисунке (рис. 33).

Точка 1 (33е) - отмечено уменьшение скорости течения с глубиной. На поверхности скорость течения составляет 9 см/с, а на глубине 7.52 м – 2 см/с. Направления течений в поверхностном и придонном слоях совпадали и имели юго-западное направление, на глубине 6.3 м течение имело северо-восточное направление. Градиент скорости течения уменьшался с глубиной и составлял на участке глубин 6 м и придонным горизонтом -5.7 (см/с)/м.

Точка 2 (30ж) - наибольшая скорость течения составила 23 см/с на глубине 5м имела северо-западное направление, и была максимальной из всех скоростей наблюдаемых в апреле. Градиент скорости течения между 5-ти метровым горизонтом и поверхностным слоем составил 3.39 (см/с)/м и был максимальным по всем станциям в апреле. С увеличением глубины градиент уменьшился и составил -5.57 (см/с)/м.

Точки 3 (25з), 4 (21и), 5 (13 л) - отмечена прямая стратификация. Скорость течения уменьшалась с глубиной и на каждом горизонте имела различные направления. Градиенты скорости течения не значительны и колебались в пределах от -0.1 до -0.65 (см/с)/м.

Точка 6 (4п) - происходило увеличение скорости течения с глубиной. В поверхностном слое течение имело северо-восточное направление, а на глубинах 4.45 м и 7.75 м – северо-западное направление. Максимальная скорость течения в этой точке составила 8 см/с.

Точка 7 (7у) - максимальная скорость течения наблюдается в придонном горизонте и составила 14 см/с, а минимальная 6 см/с на глубине 4.98 м. Градиенты скорости течения в этой точке очень разнятся. На участке глубин 0.26-4.98 м градиент равен -1.06 (см/с)/м, а на участке 4.98 – 8.01 он составил 2.6 (см/с)/м.

Точки 8 (10ц), 9 (13р), 10 (17р), 11 (17х) - наблюдалось уменьшение скорости течения с глубиной. Градиенты скорости течения не велики и в среднем составили -0.4 (см/с)/м. В точках 8 (10ц) и 10 (17р) преобладали течения юго-восточного направления. В остальных случаях течения имели северо-восточное направление.

Точка 12 (24м) - максимальная скорость течения была равна 3 см/с и наблюдается на глубине 4.41 м. На поверхности направление течения было юго-восточное, а в 5-ти метровом и придонном горизонтах - юго-западное.

Точки 13 (24п), 14 (24т) - минимальные скорости наблюдаются в придонном горизонте и составили 0 см/с. В обеих точках на всех горизонтах течение имеет различные направления. В точке 13 (24п) в поверхностном и придонном горизонтах течения имели северо-восточное направление, а в 5-ти метровом горизонте – юго-западное. Направление течения в точке 14 (24т) на поверхности, 5 метров и дно было таким юго-запад, северо-восток, север соответственно.

Точка 15 (24ц) - максимальная скорость течения наблюдается на глубине 6.26 м и составила 8 см/с. Градиент скорости течения на участке глубин 6.26 – 6.37 м был равен -45.9 (см/с)/м, и является минимальным из наблюдаемых по всем станциям. В поверхностном слое направление течения юго-западное, а на остальных двух горизонтах северо-западное.

Точка 16 (32м) - уменьшение скорости течения происходило с глубиной. Направление течения в поверхностном горизонте северо-западное, а в 5-ти метровом и придонном горизонтах – юго-западное.

Точка 17 (32т) - максимальная скорость течения была зафиксирована в поверхностном горизонте, а минимальная на глубине 5.53 м. Направление течения в этих горизонтах было юго-восточное, а в придонном слое – северо-западное. Градиент скорости течения на участке глубин 0.52 – 5.53 м составил -0.6 (см/с)/м, а на участке 5.53 – 11.12 м – 0.18 (см/с)/м.

Точки 18 (32ц), 19 (37т) - наблюдалась прямая стратификация, и северо-западное направление течения. В точке 18 (32ц) максимальная скорость течения составила 1 см/с, а в точке 19 (37т) – 10 см/с.

Точка 20 (37п) - максимум скорости течения зафиксирован в поверхностном горизонте (3 см/с), а минимум - на глубине 4.65 м (0 см/с). Направление течения в придонном и поверхностном горизонтах было северо-восточное. На глубине 4.65 м направление течения – северо-западное.

Точки 21 (40н), 22 (36и), 23 (32и), 24 (34г), 25 (36д), 26 (39ж) - наблюдается уменьшение скорости течения с глубиной. Градиенты скорости течения в этих точках находились в пределах от -0.33 до -2.0 (см/с)/м. В точке 21 (40н) максимальная скорость течения составила 6 см/с. Направление течения на всех горизонтах было северо-восточное. В точке 22 (36и) максимум скорости течения составил 5 см/с, направление течения по всей водной толще было юго-восточное. Наибольшая скорость течения в точке 23 (32и) была равна 21 см/с, а направление на обоих горизонтах – юго-западное. В трех остальных точках направление течения разнилось на всех горизонтах.

Точка 27 (39д) - максимум скорости наблюден в придонном горизонте и составил 7 см/с. Направление течения во всей водной толще юго-западное. Градиент скорости течения на участке глубин 0.36 – 6.49 м составил 0.82 (см/с)/м.

Точки 28 (39в), 29 (44г) - по всей глубине изменение скоростей течения не происходило. Скорость течения в точке 28 (39в) составила 3 см/с. В поверхностном горизонте направление течения было северо-западное, в

придонном – юго-западное. В точке 29 (44г) наблюдаемая скорость составила 4 см/с, направление течения юго-западное. А градиенты скорости течения в этих точках равны 0 (см/с)/м, т.е. отсутствуют.

Точки 30 (46в), 31 (47г) - наибольшие скорости течения наблюдаются на поверхности и составили 8 см/с и 4 см/с соответственно. Направление скорости течения на обоих горизонтах точки 30 (46в) было юго-западное. В точке 31 (47г) направление течения в поверхностном слое было северо-западное, а в придонном – юго-восточное.

Начало
рисунка.



Продолжение рисунка.

11



12



13



14



15



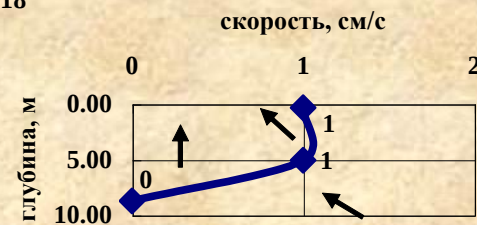
16



17



18



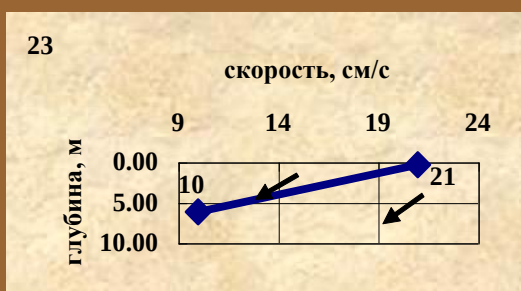
19



20



Продолжение
рисунка.



Окончание
рисунка.

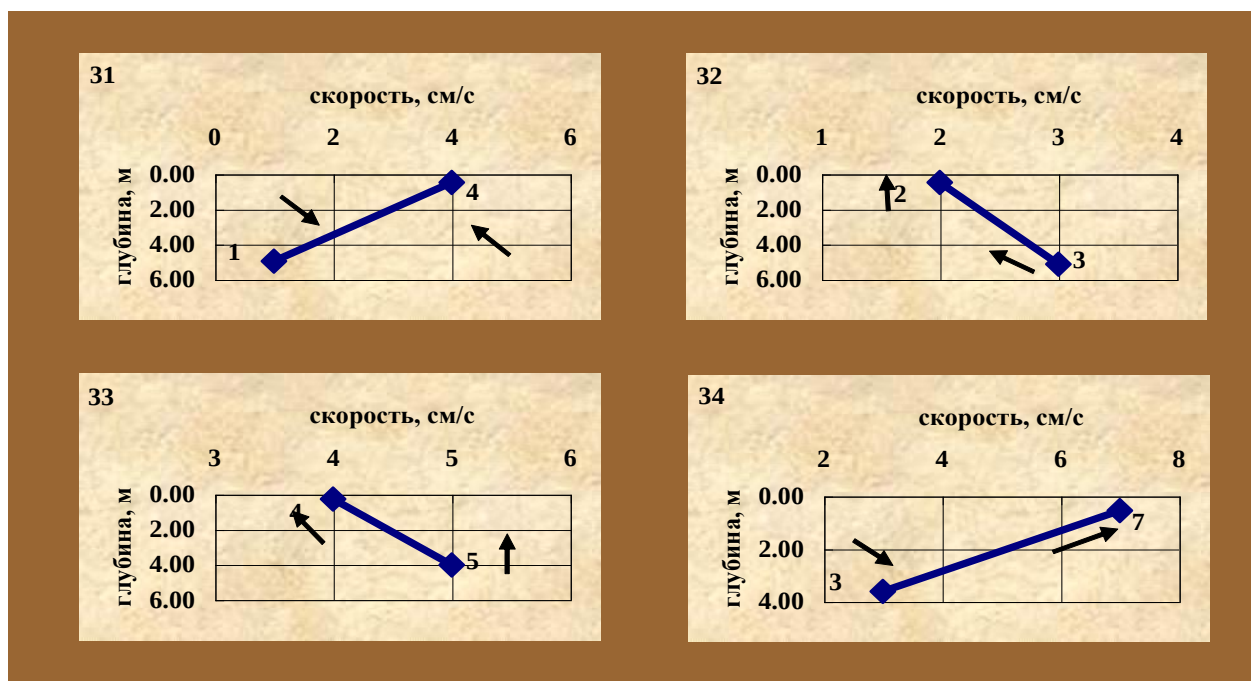


Рисунок 35 - Эпюры скоростей на вертикалях, по данным съемки Азовского моря в апреле 2006г.

Примечание: Точка 1-33е, 2-30ж, 3-25з, 4-21и, 5-13л, 6-4п, 7-7у, 8-10ц, 9-13р, 10-17р, 11-17х, 12-24м, 13-24п, 14-24т, 15-24ц, 16-32м, 17-32т, 18-32ц, 19-37т, 20-37п, 21-40н, 22-36и, 23-32и, 24-34г, 25-36д, 26-39ж, 27-39д, 28-39в, 29-44г, 30-46в, 31-47г, 32-49в, 33-51в, 34-51б.

Точки 32 (49в), 33 (51в) - скорости течения увеличивались с глубиной. Градиенты скорости течения в обеих точках оказались примерно равными 0.2 (см/с)/м. Направление течения в точке 32 (49в) в поверхностном горизонте северное, а в придонном – северо-западное. В поверхностном горизонте точки 33 (51в) направление течения было северо-западное, в придонном - северное.

Точка 34 (51б) - максимальная скорость течения наблюдается в поверхностном горизонте и составила 7 см/с. Градиент скорости течения составил -1.3 (см/с)/м на участке глубин 0.55 – 3.62 м.

4.2. Анализ данных по вертикальному распределению направления и скорости течения Азовского моря в августе 2006 года

Построенные для каждой из станций эпюры скоростей представлены на рисунке (рис. 36).

Точки 1 (51б), 2 (51в) - наблюдается уменьшение скорости с глубиной. В точке 51б в поверхностном слое направление было юго-восточное, а в придонном – юго-западное. Градиент скорости течения в этой точке равнялся -0.5 (см/с)/м. Во 2-ой точке направление течения в поверхностном горизонте было северо-западное, на глубине 4.24 м – юго-восточное.

Точка 3 (49в) - изменения скорости и направления течения не было наблюдается. Скорость течения была равна 8 см/с и юго-западного направления. Градиент скорости течения в этой точке отсутствовал.

Точки 4 (47г), 5 (46в) - максимальные скорости течений были зафиксированы на поверхности. По всей водной толще точки 4 течение имело юго-западное направление. Градиент скорости течения здесь составил -2.02 (см/с)/м. В точке 5 направление течения с глубиной менялось от юго-восточного до северо-восточного.

Точка 6 (44г) - рост скорости течения происходил с глубиной. Градиент скорости течения в этой точке оказался равным 1.07 (см/с)/м. Максимальная скорость течения была равна 21.1 см/с, направление течения северо-западное.

Точки 7 (39в), 8 (39д) - максимальные скорости течения наблюдаются на поверхности. Направление течения в обеих точках было юго-западное.

Градиенты скорости течения в этих точках составили -1.24 (см/с)/м и -1.54 (см/с)/м соответственно.

Точки 9 (39ж), 11 (34г) - скорость течения увеличивалась с глубиной. Максимальная скорость течения в точке 9 была равна 13 см/с и имела северо-западное направление. На поверхности скорость течения имела северо-восточное направление. В водной толще точки 11 направление течения не менялось и имело юго-восточное направление.

Точки 10 (36д), 12 (33е) - наблюдается прямая стратификация. Максимальные скорости в этих точках составили 10 см/с и 14 см/с и имели северо-восточное направление. Градиент скорости течения в точке 12 равнялся -6.09 (см/с)/м и является максимальным из наблюдаемых по всем станциям в августе.

Точка 13 (30ж) - направление и скорость течения не изменялись с глубиной. Скорость течения составила 0 см/с, направление течения было северное. Градиент скорости течения на участке глубин $0.6 - 9.8$ м отсутствовал.

Точке 14 (24м) - максимальная скорость течения была наблюдаема на глубине 6.66 м и равнялась 26.7 см/с. Направление течения было юго-восточное на всех глубинах.

Точки 15 (25з), 16 (21и) - максимальные скорости были зафиксированы на поверхности. Они были равны 15 см/с и 23 см/с. Градиенты скорости течения составили -1.3 (см/с)/м и -2.09 (см/с)/м. Направление течения в придонных горизонтах обеих точек было северо-западное. На поверхности оно было северо-восточное и юго-западное соответственно в точках 15 и 16.

Точка 17 (13л) - зафиксирован максимум скорости течения из наблюдаемых в августе. Скорость течения 60 см/с была зафиксирована в придонном горизонте и имела юго-восточное направление. Градиент

скорости течения на участке глубин 6.13 – 8.01 м составил 6.90 (см/с)/м и является максимальным по всем точкам.

Точки 18 (4п), 19 (7у), 20 (10ц) - скорость течения с глубиной уменьшалась. Направление скорости течения в поверхностном слое 18 и 19 точек было юго-западное. В точке 20 направление течения по всей глубине было северо-западное. Максимальные скорости течения в этих точках составили 12 см/с, 15 см/с и 5.2, см/с.

Точки 21 (13р), 23 (17х), 24 (24п), 25 (24т) - максимальные скорости течения наблюдаются в придонном слое. Скорости течения были равными 26 см/с, 16 см/с, 23 см/с и 17 см/с соответственно. Преобладающие направления течений юго-западное и северо-западное.

Точка 22 (17р) - наблюдается прямая стратификация. Максимальная скорость течения составила 13 см/с и имела северо-восточное направление. Градиенты скорости течения на участках глубин 0.6 – 4.23 м и 4.23 – 7.47 м были равны -1.1 (см/с)/м и 0 (см/с)/м.

Точка 26 (24ц) - максимальная скорость течения, зафиксированная на поверхности, составила 16 см/с и имела северо-западное направление. В двух других горизонтах направление течения было юго-западное. Градиент скорости течения по всей глубине был примерно равен 0.35 (см/с)/м.

Точка 27 (32т) - минимальная скорость течения составила 11 см/с и наблюдается на глубине 6.87 м. Скорости течения в поверхностном и придонном слоях были равными 18 см/с. Направление течения на поверхности было юго-западное, а на двух других горизонтах северо-западное.

Точка 28 (32ц) - максимальная скорость течения составила 8 см/с в поверхностном горизонте и имела юго-западное направление. А минимальная скорость была наблюдается на глубине 7.29 м и равнялась 1 см/с.

Направление течения на глубине 7.29 м и придонном слое было северо-западным.

Точка 29 (37т) - скорость течения уменьшалась с глубиной. В поверхностном слое она составила 25 см/с. Направление течения было юго-восточным на всех глубинах. Градиент скорости течения на участке глубин 0.85 - 6.75 м составил -0.39 (см/с)/м.

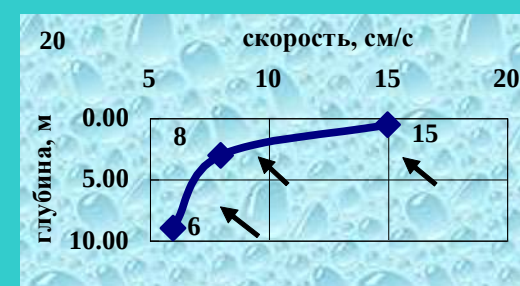
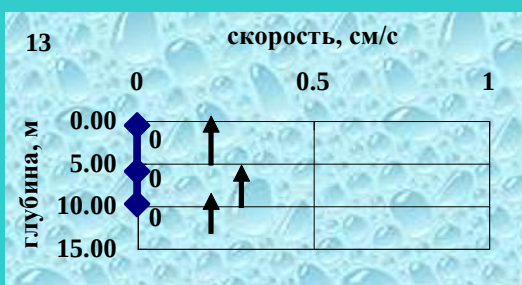
Точки 30 (37п), 31 (40н), 32 (32м), 33 (32и) - максимальные скорости течения были наблюдаемы в придонном горизонте. Максимальная скорость течения в точке 30 была равна 16 см/с, а направление течения по всей толще воды – юго-восточное. В точке 31 наибольшая скорость течения была равна 14 см/с. Направление течения в поверхностном слое было северо-восточное, а в придонном – юго-восточное. Скорость течения в придонном горизонте точки 32 была равна 6 см/с. Направление течения по всей глубине северо-западное. В точке 33 максимальная скорость составила 43 см/с. Градиент скорости течения здесь был равен 4.5 (см/с)/м.

Точке 34 (36и) - максимальная скорость течения, наблюдаемая на поверхности, равнялась 16 см/с, и имела юго-западное направление. В придонном горизонте скорость течения составила 14 см/с. Направление течения в придонном горизонте было северо-западное.

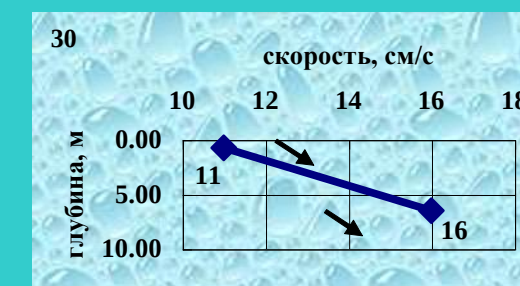
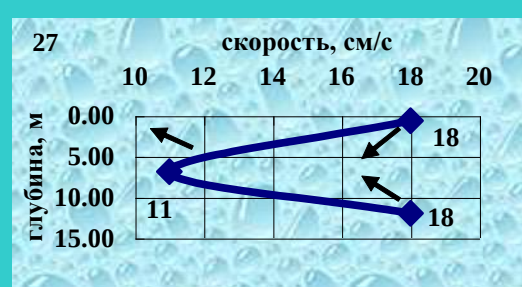
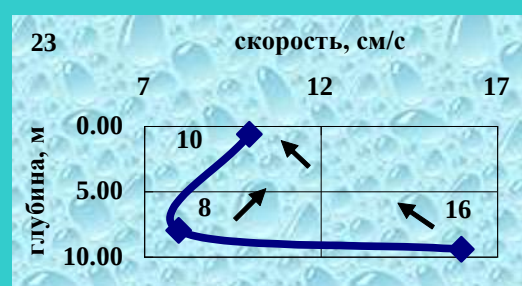
Начало
рисунка.



Продолжение рисунка.



Продолжение рисунка.



Окончание рисунка.

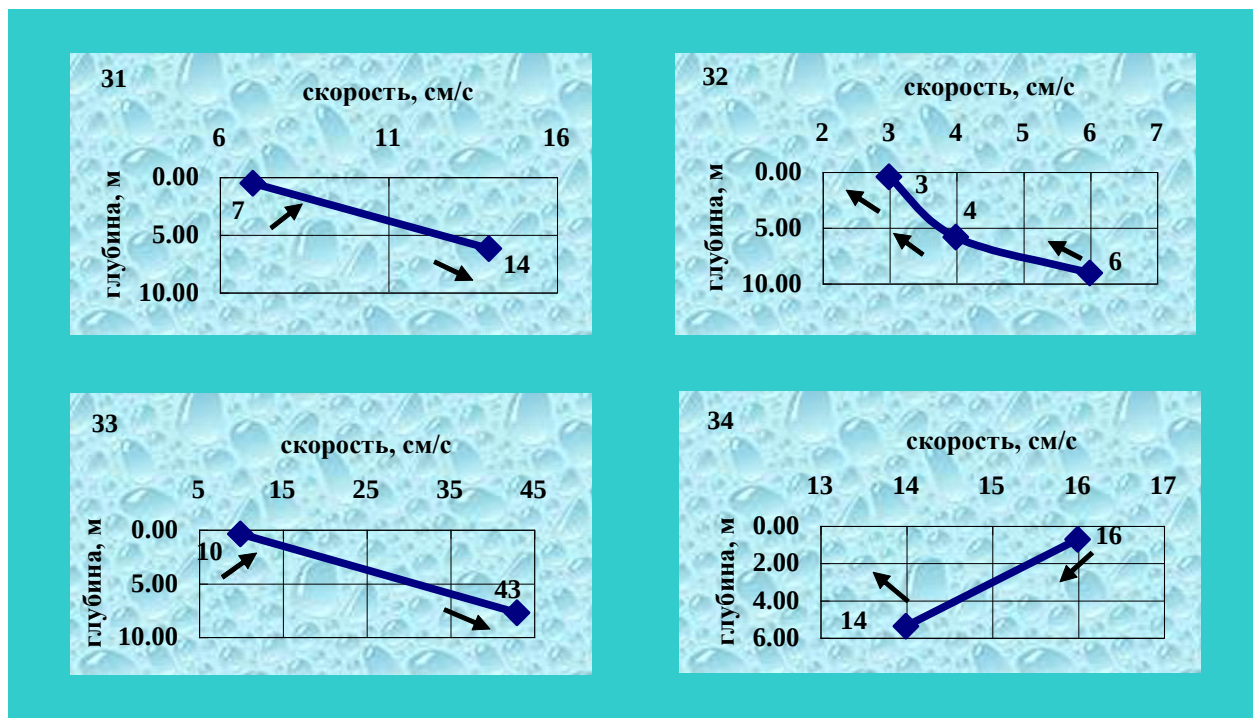


Рисунок 36 - Эпюры скоростей на вертикалях, по данным съемки Азовского моря в августе 2006г.

Примечание: точка 1-51б, 2-51в, 3-49в, 4-47г, 5-46в, 6-44г, 7-39в, 8-39д, 9-39ж, 10-36д, 11-34г, 12-33е, 13-30ж, 14-24м, 15-25з, 16-21и, 17-13л, 18-4п, 19-7у, 20-10ц, 21-13р, 22-17р, 23-17х, 24-24п, 25-24т, 26-24ц, 27-32т, 28-32ц, 29-37т, 30-37п, 31-40н, 32-32м, 33-32и, 34-36и.

Точка 29 (37т) - скорость течения уменьшалась с глубиной. В поверхностном слое она составила 25 см/с. Направление течения было юго-восточным на всех глубинах. Градиент скорости течения на участке глубин 0.85 - 6.75 м составил -0.39 (см/с)/м.

Точки 30 (37п), 31 (40н), 32 (32м), 33 (32и) - максимальные скорости течения были наблюдаемы в придонном горизонте. Максимальная скорость течения в точке 30 была равна 16 см/с, а направление течения по всей толще воды – юго-восточное. В точке 31 наибольшая скорость течения была равна 14 см/с. Направление течения в поверхностном слое было северо-восточное, а в придонном – юго-восточное. Скорость течения в придонном горизонте точки 32 была равна 6 см/с. Направление течения по всей глубине северо-западное. В точке 33 максимальная скорость составила 43 см/с. Градиент скорости течения здесь был равен 4.5 (см/с)/м.

Точке 34 (36и) - максимальная скорость течения, наблюдаемая на поверхности, равнялась 16 см/с, и имела юго-западное направление. В придонном горизонте скорость течения составила 14 см/с. Направление течения в придонном горизонте было северо-западное.

Таким образом, анализ вертикального распределения скоростей течения выявил, что в большинстве случаев максимальные скорости течений наблюдались в поверхностном горизонте. Однако примерно в 28% случаев зафиксирован рост скорости течения с глубиной. Это свидетельствует о том, что наряду с решающим воздействием ветра при формировании поверхностных течений, в глубинных слоях отмечались компенсационные течения, имеющие противоположную направленность.

4.3. Анализ пространственного распределения скоростей течения в апреле 2006 году

В поверхностном горизонте в апреле (рис. 37) скорости течения изменялись в диапазоне от 1 до 22 см/с. В западной части и на севере собственно моря, а также в устьевой области р. Кубань были зафиксированы скорости течения 6 -11 см/с. Максимальные скорости течения (21 см/с) были

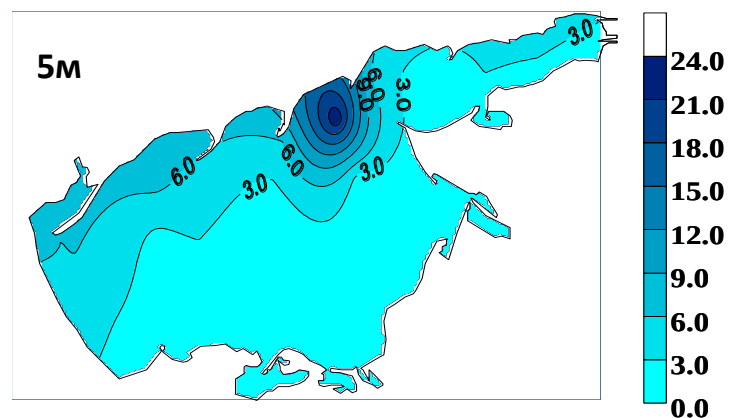
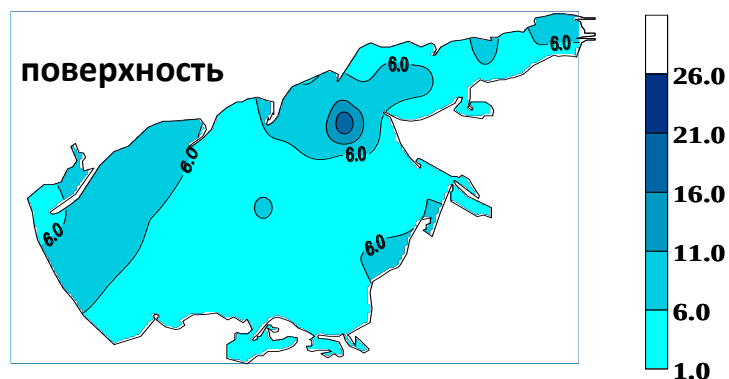


Рисунок 38 – Пространственное распределение скорости течения в апреле, 5-ти метровый горизонт.

В придонном горизонте (рис. 39) пространственное распределение скоростей отличалось от поверхностной и 5-метровой горизонтальных плоскостей. Скорости течения на этом горизонте были значительно ниже. Диапазон изменения скоростей составлял: 0 - 14 см/с. Изотаха 2.0 см/с пересекала все море с запада на восток. Скорости течения на севере собственно моря и в Таганрогском заливе, за исключением некоторых районов, составляли 2 см/с. Водные потоки с максимальной скоростью течения от 6 до 14 см/с наблюдались в западной части моря. Линзы со скоростями 8 см/с были наблюдаемы на северо-востоке собственно моря, в центре и на востоке Таганрогского залива.

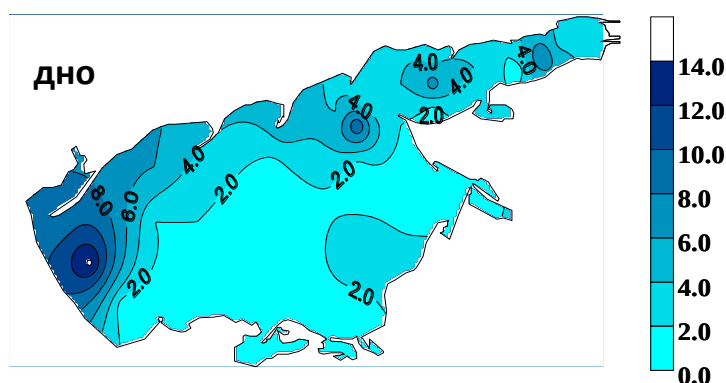


Рисунок 39 - Пространственное распределение скорости течения в апреле, придонный горизонт.

Осредненная по горизонтам скорость течения Азовского моря в весенний период изменялась от 5 до 12 см/с (рис.40). В пространственном распределении структура поля течений имела наибольшее сходство с

распределением скоростей на поверхностном горизонте.

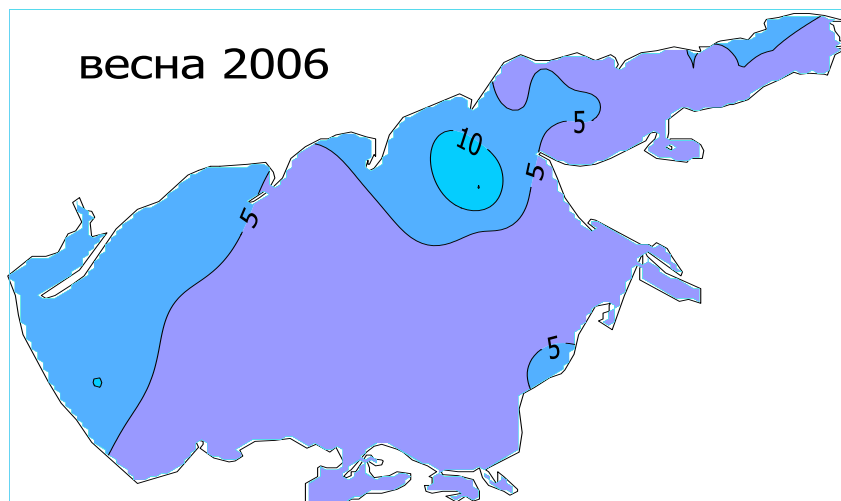


Рисунок 40- Осредненная по горизонтам скорость течения Азовского моря в весенний период 2006 г. (Жукова и др., 2007 г.)

4.4. Анализ пространственного распределения скоростей течения в августе 2006 года

В поверхностном горизонте (рис. 41) скорости течения изменялись от 0 до 25 см/с. Максимальные скорости течения (25 см/с) наблюдаются в устьевой области р.Кубань и на севере собственно моря. В западной и восточной частях собственно моря составили 5 -10 см/с, а в центральной части моря и Таганрогском заливе до 15 см/с.

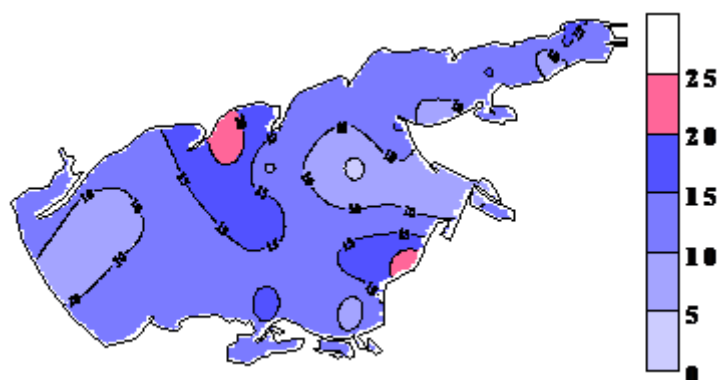


Рисунок 41 - Пространственное распределение скорости течения в августе, поверхностный горизонт.

В пространстве 5-тиметрового горизонта (рис. 42) максимальная скорость течения составляла 47 см/с и была зафиксирована в Обиточном заливе. В центральной и западной частях собственно моря скорость течения возрастала с юга на север от 1 до 45 см/с. В Таганрогском заливе скорости течения не превышали 10 см/с.

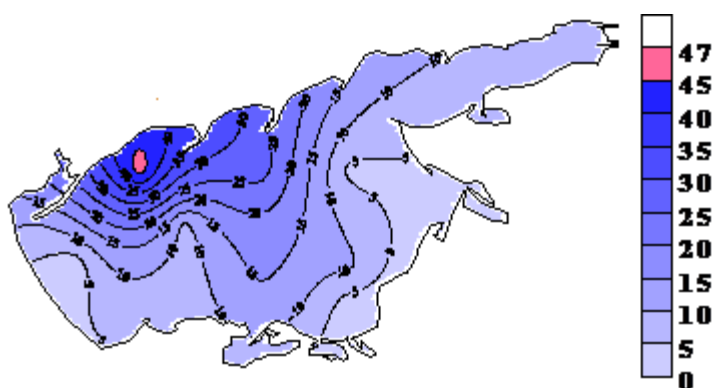


Рисунок 42 - Пространственное распределение скорости течения в августе, 5-ти метровый горизонт.

В придонном горизонте (рис. 43) диапазон изменения скоростей был значительно шире: от 0 до 60 см/с. Наибольшие скорости течения, как и в 5-метровом срезе водной толщи, зафиксированы в Обиточном заливе. На северо-востоке собственно моря обнаруживался «очаг» повышенных скоростей течения (от 20 до 40 см/с). В направлении с севера на юг отмечалось снижение скоростей от 50 до 10-15 см/с. Самые низкие скорости перемещения водных масс (10-15 см/с) имели место в прибрежных районах на юге, востоке и западе.

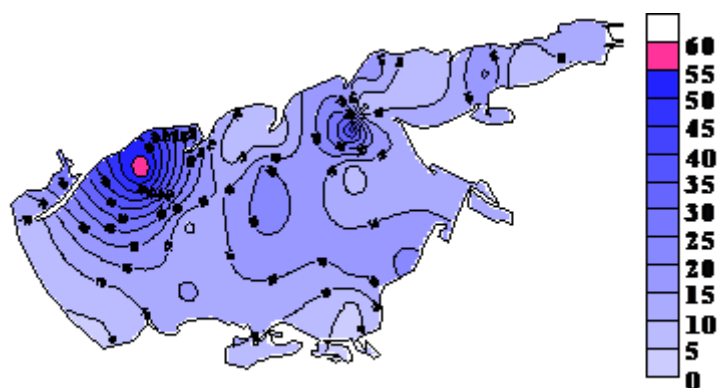


Рисунок 43 - Пространственное распределение скорости течения в августе, придонный горизонт.

Среднесезонное распределение скорости течения в пространстве Азовского моря в летний период по своей структуре имело наибольшее сходство с распределением скоростей в придонном горизонте(рис. 44)

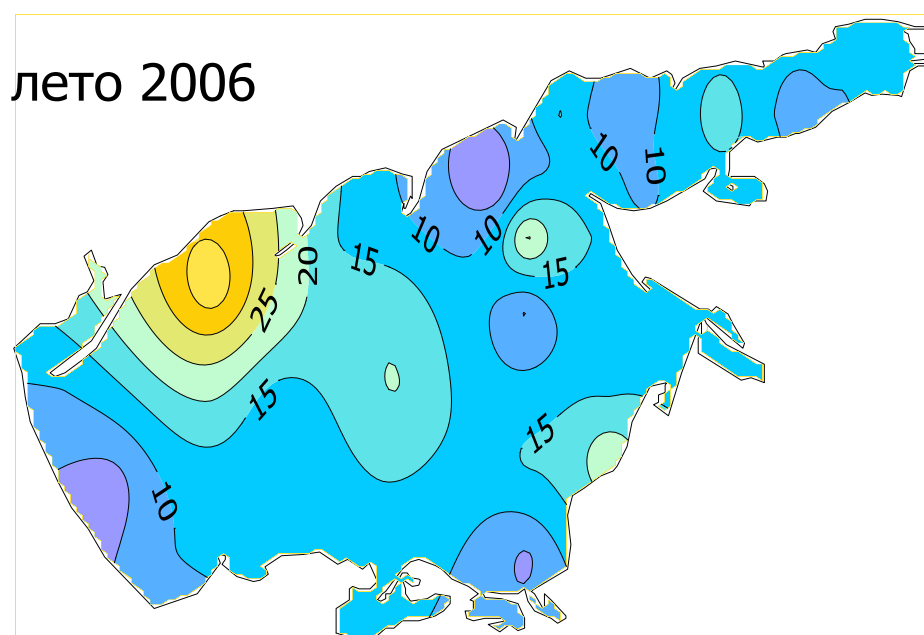


Рисунок 44- Среднесезонное распределение скорости течения в пространстве Азовского моря в летний период 2006 г. (Жукова и др., 2008)

Таким образом, в пространственном распределении скоростей течения выявлены следующие особенности:

-наиболее высокие скорости течений зафиксированы на западе Таганрогского залива, в устьевых областях р. Кубани, малых рек Северного и Восточного Приазовья.

-наибольшая скорость течения (47см/с) была отмечена в прибрежной зоне Бердянского залива в августе.

В прибрежной зоне западной части моря, как правило, формируется режим скоростей с невысокими значениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направление и скорость течений Азовского моря являются одной из базовых характеристик гидрологического режима. От режима течений зависят процессы переноса водных масс в горизонтальной и вертикальных плоскостях.

В данной работе изложены результаты изучения режима течений Азовского моря в апреле – августе 2006 г. Рассмотрены методы и приборы для измерения скорости и направления течения, описаны технические возможности и конструктивные особенности прибора «Вектор-2».

В соответствии с поставленной целью (изучить режим течений Азовского моря при помощи прибора «Вектор-2») и поэтапным решением задач, были выявлены следующие особенности формирования режима течений и сделаны выводы:

- К наиболее общим закономерностям формирования течений при продолжительных штормовых ветрах, отмеченным в «Справочнике по гидрометеорологическому режиму Азовского моря» (1962 г). относятся следующие :

- для ветра со скоростью 5-10 м/с наиболее вероятны скорости течения 10-20 см/с;
- для ветра со скоростью 10-15 м/с характерны течения со скоростью 20-30 см/с;
- для ветра со скоростью 15-20 м/с вероятны течения со скоростью до 40 см/с.
- Максимальные скорости течений Азовского моря не превышают 60-80 см/с. Исключением являются предустьевые районы, где скорости течений

достигают 100 см/с и более. В этих районах значительную роль играют стоковые течения. Скорости стоковых течений в устьевых районах Дона и Кубани при выходе из гирл достигает 150-200 см/с.

- Анализ вертикального распределения скоростей и направлений течений выявил, что в большинстве случаев максимальные скорости течений наблюдались в поверхностном горизонте. Однако примерно в 20% случаев зафиксирован рост скорости течения с глубиной. Это свидетельствует о том, что наряду с решающим воздействием ветра при формировании поверхностных течений в глубинных слоях отмечались компенсационные течения.

- По данным лаборатории гидрологии ФГБНУ «АзНИИРХ», результирующее направление переноса воды в поверхностных слоях, в целом, совпадало с генеральной схемой течений по Н.М. Книповичу, хотя на отдельных станциях, и в апреле, и в августе, отмечено отклонение векторов, обусловленное сменой ветровых ситуаций.

Средние скорости течений в апреле, изменялись в диапазоне от 0.5 до 23.5 см/с. В августе диапазон изменения скоростей был значительно шире: от 3 до 60 см/с, причем максимальные скорости отмечены в придонном горизонте. Наибольшие скорости течения зафиксированы на западе Таганрогского залива, а также в устьевых областях р. Кубани, малых рек Северного и Восточного Приазовья.

- Результатами исследований 2006 г. установлено, что циркуляционное перемещение водных масс Азовского моря имеет сложную структуру. Значительной изменчивостью в 2006 г. характеризовалось распределение скоростей течения не только по вертикали, но и в пространстве всего моря. Под воздействием ветра и стоковых течений, наряду с последовательным снижением скоростей течения от поверхности ко дну, на отдельных участках моря присутствовало более сложное динамическое перемещение водных масс.

- Полученные новые данные по режиму течений Азовского моря позволяют пополнить базу данных по мониторингу гидрологических параметров, расширить круг представлений о динамических процессах, происходящих в трехмерном пространстве водной толщи.

- Зондирующий комплекс "Вектор-2", разработанный в конструкторском бюро ААНИИ и изготовленный в производственном объединении "Марс" (г. Гатчина Ленинградской области) справедливо относится к надежным современным приборам, позволяющим измерять направление и скорости течения, как в режиме реального времени, так и в режиме запоминания.

Литература

1. Измеритель скорости и направления течений «ВЕКТОР-4». Руководство по эксплуатации Э199-200-000РУ.
2. Истошин Ю.В.. Морская гидрометрия. – Л.: Гидрометиздат, 1967. - с.
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том V. Азовское море. - Гидрометиздат, 1991.
4. Гидрометеорологический справочник Азовского моря. - Л.: Гидрометиздат, 1962. - с.
5. Филиппов Ю.Г. Об одном способе расчета морских течений. - Труды ГОИН, 1970, вып. 103, с. 87-94.
6. Справочник по климату СССР. Вып. 13. Ветер. - Л.: Гидрометиздат, 1967. – 332 с.
7. Белов В.П. Режим ветра и ветрового волнения на Азовском море. - Труды ГОИН, 1978, вып. 134.
8. Чернякова А.П. Типовые поля ветра Черного моря. - Труды БГМО ЧАМ, 1965, вып. 3.
9. Альтман Э.Н. Структура течений Керченского пролива.- Труды ГОИН, 1975, вып. 125.
10. Стрельченко О.В., Ильяхина Т.А., Подмарева Т.И., Фоменко И.Ф. Техническое устройство нового поколения // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна. – Ростов-на-Дону, 2006.
11. Жукова С.В., Шишкин В.М., Куропаткин А.П., Лутынская Л.А., Фоменко И.Ф., Подмарева Т.И.. Результаты изучения течений Азовского

моря с использованием прибора нового поколения «Вектор-2» /Вопросы рыболовства. Т. 9 N° 4 (36) с. 832-838.

12 Жукова С.В., Шишкин В.М., Куропаткин А.П., Лутынская Л.А., Фоменко И.Ф., Подмарева Т.И.. Изучение режима течений Азовского моря в 2006 г., с использованием зондирующего комплекса «Вектор -2» /Актуальні проблеми екології та гідрометеорології / Сб. трудов межд. конф., Одесса 2007. С. 36-39