

Гидродинамические процессы в абхазской акватории черного моря

Я.В. Гицба, Я.А. Эмба

Абхазский государственный университет, Институт экологии АНА, г. Сухум

Аннотация: На термический режим моря в теплый сезон наибольшее влияние оказывает солнечная инсоляция поверхностных вод и тепло-массообмен с поверхности суши. В период регионального потепления наблюдается повышение среднегодовой температуры поверхностных вод на 0,8°C.

Годовой ход уровня моря в районе Сухума согласуется с годовым ходом речного стока с максимумом летом и минимумом зимой. Многолетний средний уровень в сухумской акватории Черного моря равен 93 см.

Для гидрологического режима моря характерны: высокая температура воды на протяжении всего года, преобладание волн высотой до 2 м и система устойчивых и постоянных течений. В зимний сезон преобладает волнение южного направления (23,9%), а в летний сезон - западного (30,7%). Наибольшее количество штормов наблюдается в феврале и составляет 35,8%.

Ключевые слова: акватория, температура воды, ветровой режим, волнение моря, уровень моря, атмосферные осадки, гидрологический режим, сгонно-нагонные явления, речной сток.

Гидрологический режим Черного моря формируется под влиянием водообмена с Мраморным и Азовским морями, стоком пресных вод с суши и климатическими условиями. Колебания уровня воды в Черном море вызываются воздействием на его поверхность ряда факторов, одни из которых изменяют массу воды в море, другие перераспределяют её. К первой группе относятся поверхностный сток, испарение, атмосферные осадки, водообмен с Мраморным и Азовским морями; ко второй – ветер, атмосферное давление, изменение плотности воды. Характерной чертой режима течений в Черном море является смена направлений движений вод в зависимости от ветровой обстановки над морем.

Самый теплый район Черного моря – его юго-восточная часть. Кавказские горы не пропускают в этот район северные ветры. Средняя годовая температура поверхностной воды Черного моря у Кавказского побережья колеблется в пределах 16,5-18°C [1].

Объекты и методы исследования. Температура морской воды измеряется четыре раза в сутки в 00, 06, 12, 18 часов местного времени в поверхностном слое на Сухумском мысе с оконечности причала, выступающего в море на 30 метров [2].

Направление распространения волн определяется при помощи берегового волномера. При наблюдениях различают восемь главных направлений – румбов: СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ, С и неопределенное (случай толчеи).

Метеорологические параметры измеряются в непрерывном режиме с использованием автоматизированной метеостанции VentegPro-2 [2].

Результаты и обсуждение

Для климата Абхазии существенное значение имеет температура поверхностного слоя Черного моря, омывающего берега Абхазии. Из среднемесячного распределения температуры поверхностных вод следует, что она понижается с августа ($26,2^{\circ}\text{C}$) по февраль ($8,8^{\circ}\text{C}$) включительно [3].

Как известно температура на поверхности моря всегда определяется температурой воздуха и коэффициент корреляции между среднемесячными значениями воды и воздуха ($r=0,93$) показывает очень тесную связь.

Значительный интерес представляет межгодовая изменчивость температуры воды и воздуха в период регионального потепления в Абхазии (рис. 1).

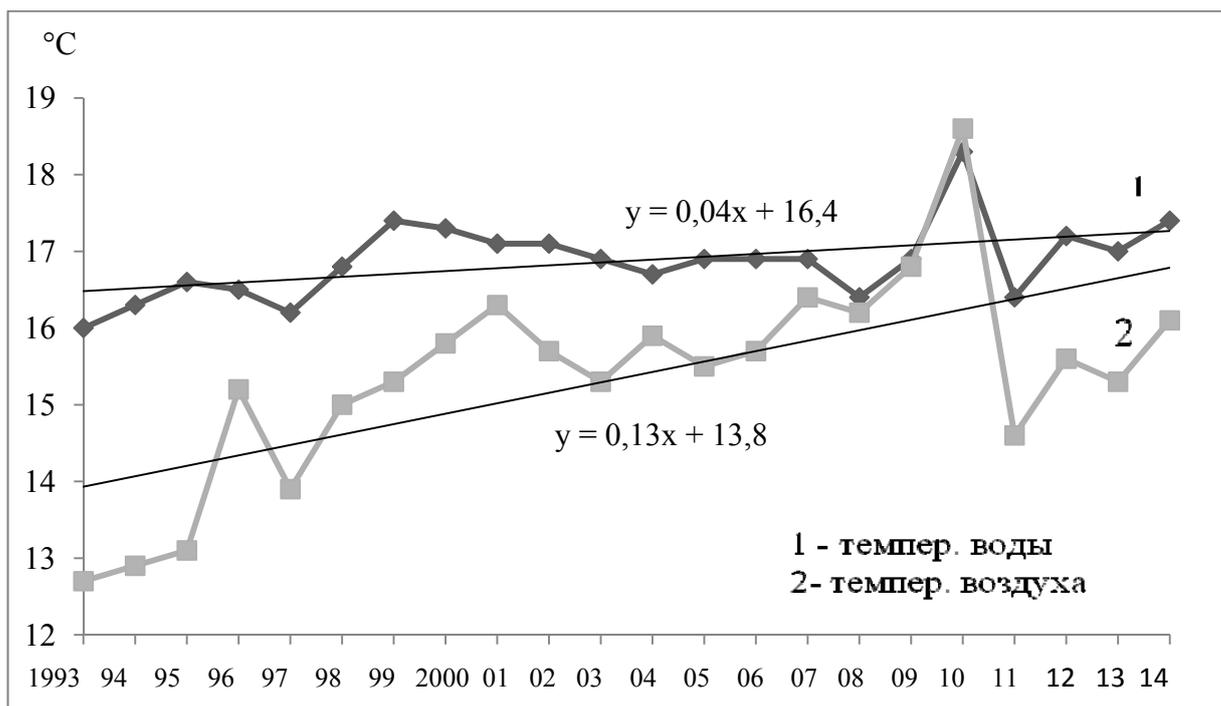


Рис. 1. Среднегодовые значения температуры воды и воздуха в период регионального потепления (1993-2014).

На протяжении наблюдаемого периода (1993-2014 гг.) максимальная среднегодовая температура воды и воздуха наблюдалась в 2010 г. (18,3°C, 18,4°C соответственно). Минимальная среднегодовая температура воды наблюдалась в 1997 г. (16,2°C), воздуха - в 1994 г. (12,9°C). Наибольшее положительное отклонение температуры воды от средней многолетней температуры (16,9°C) наблюдается в 2010 г. (+1,4°C), наибольшее отрицательное отклонение составляет -0,9°C и наблюдается в 1993 г. В целом положительное отклонение из 22 случаев наблюдается 8 раз и 4 раза среднегодовая температура морской воды держится на уровне многолетнего среднего значения. В период регионального потепления температура воды повысилась на 0,8°C, а температура воздуха на 3,0°C.

Годовые колебания температуры воды на поверхности сухумской акватории моря достигают больших величин. Годовая амплитуда определяется

как разность между среднемесячной температуры воды в августе и среднемесячной температуры воды в феврале. Годовые колебания меняются в пределах от $15,5^{\circ}\text{C}$ в 2009 г до $19,7^{\circ}\text{C}$ в 2012 г. В 2009 г. в феврале наблюдалось одно из наиболее высоких значений температуры воды за последние 22 года ($9,5^{\circ}\text{C}$) и достаточно низкая температура в августе (25°C). Среднегодовая температура в 2009 г. находится на уровне среднего многолетнего значения. В 2012 г. наоборот, в феврале наблюдалась минимальная температура воды ($7,6^{\circ}\text{C}$), а в августе наибольшее значение температуры ($27,3^{\circ}\text{C}$) и отклонение среднегодового значения от многолетнего в 2012 г. составило $+0,3^{\circ}\text{C}$ [3].

Вычислены корреляционные связи между среднегодовыми и сезонными значениями температуры морской воды с целью выявления фактора оказывающего большее влияние на формирование среднегодовой температуры. Тесная корреляционная связь получена для теплых сезонов – лето и осень ($r=0,77$ и $r=0,76$). Умеренная корреляционная связь получена для весеннего сезона ($r=0,49$) и заметная корреляционная связь для зимнего ($r=0,66$) [4]. Умеренная корреляционная связь в весенние месяцы объясняется наибольшими суточными колебаниями температуры воды, что объясняется нарушением термической стабильности моря из-за повышения количества речного стока, осадков, турбулентного перемешивания и прогревания поверхностных вод.

Для выявления тенденции изменения температуры проведено сравнение между среднемесячными значениями температуры за период регионального потепления и предшествующий ему 30 летним периодом (рис.2)

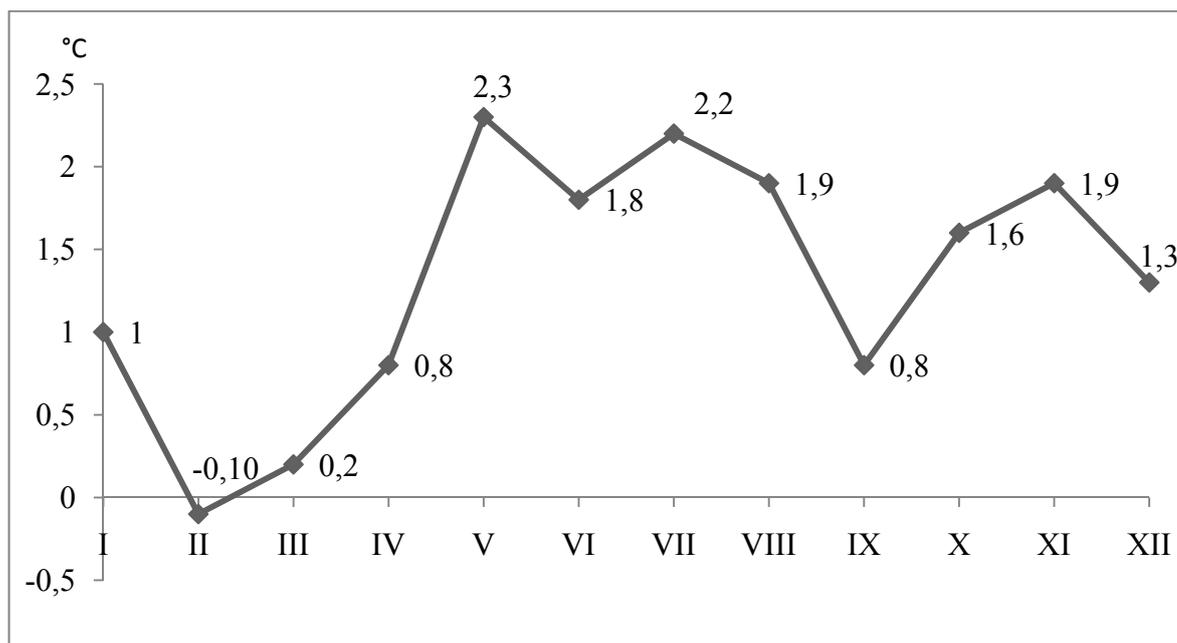


Рис.2. Тенденция изменения среднемесячных температур.

Из рисунка следует, что температура самого теплого месяца повысилась на $1,9^{\circ}\text{C}$, а в феврале понизилась на $0,1^{\circ}\text{C}$. Отклонения температуры от среднемесячных значений предыдущего периода возрастает в теплое время года. В мае 2013 г. наблюдалась рекордно высокая температура морской воды, которая оказалась на $2,3^{\circ}\text{C}$ больше, чем средняя многолетняя температура мая ($16,8^{\circ}\text{C}$) за период регионального потепления. Таким образом, майская температура в 2013 г. повлияла на максимальное отклонение среднемесячной температуры от среднемесячного значения за предыдущий период. В среднем, наблюдается повышение среднемесячных значений температуры воды на $1,3^{\circ}\text{C}$.

Кроме общих для термического режима факторов, для сухумской акватории особое значение имеют некоторые особенности режима течений, колебания уровня моря и сгонно-нагонные явления.

Уровень Черного моря характеризуется суточными, сезонными и многолетними изменениями, обусловленными различными факторами от ветра и приливообразующих сил до климатических циклов. Изменение уровня моря носит четко выраженный сезонный характер, определяемый соотношением

составляющих уравнения водного баланса в течение года [5]. Основная роль в приходной части водного баланса принадлежит стоку рек (42%). Большая часть годового объема стока приходится на весенне-летний период (61%), чему соответствует прирост уровня моря на 49 см. Осенью проходит всего 16% стока, дающих прирост уровня в 13 см. В меньшей степени влияют на уровень моря атмосферные осадки. Их роль в приходной части баланса составляет 29%, повышение уровня моря за их счет равно в среднем за год 56 см [1].

Многолетний средний уровень моря в Сухуме равен 93 см. Из графика среднемесячных изменений уровня моря в сухумской акватории следует, что максимум уровня моря наблюдается в июле (105,8 см) и минимум уровня в октябре (84,2 см) (рис. 3).

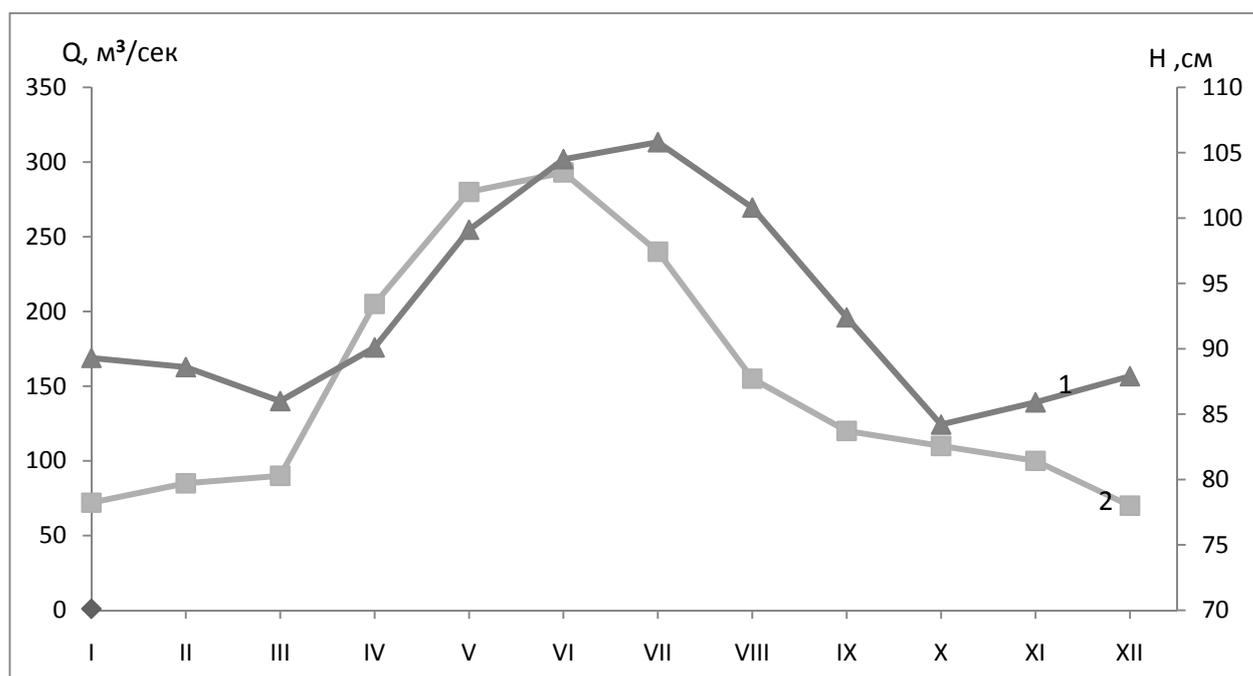


Рис.3. Колебания уровня моря (1) и суммарный годовой сток рек абхазского побережья (2)

Колебание уровня моря хорошо коррелирует с речным стоком ($r=0,81$). Нарастание уровня моря в течение пяти месяцев (март-июль) идет быстро, что

объясняется интенсивным поступлением в море в этот период речных вод. С июля в связи с уменьшением притока речных вод и увеличением испарения с поверхности моря расход воды начинает преобладать над приходом и уровень понижается. Незначительный подъем уровня наблюдается также с октября по декабрь, что в основном связано с увеличением в этот период количества осадков. За период наблюдений наиболее часто наибольшие среднемесячные уровни моря отмечались в июне (45%), наименьшие в октябре (33%).

Почти все экстремальные уровни на кавказском побережье обязаны своим происхождением сгонно-нагонным явлениям. Например, в день максимального стояния уровня наблюдался сильный ветер именно в нагонной половине горизонта, а в дни минимального уровня – сильный ветер в сгонной половине горизонта.

Зимой, когда весь поверхностный слой моря охвачен вертикальной циркуляцией и имеет однородный характер распределения температуры, эффект сгонно-нагонных явлений будет невелик. В летний период, когда имеются значительные различия в температуре поверхности моря и глубинных слоев, сгонно-нагонные явления проявляются особенно резко.

При нагонной циркуляции происходит отток воды по дну в открытое море и повышение придонных температур, в редких случаях сгонной циркуляции происходит приток воды из прилегающих участков моря, и соответственно, понижение придонных температур [6].

В течение теплой половины года в 90% случаев преобладает циклоническая циркуляция водных масс, вызванная следующими полями ветра: северо-восточным, северо-западными и циклоническим восточным. Остальные 10% включают в себя антициклоническую циркуляцию, вызванную южным полем ветра, и циркуляцию вод, вызванную западным полем ветра.

В холодную половину года циклоническая циркуляция осуществляется в 60% случаев, антициклоническая в 30% случаев и в 10% случаев наблюдается циркуляция, вызванная западным и циклоническим восточным полями ветра.

Таким образом, в течение года в 80% случаев встречается циклоническая, в 20% - антициклоническая циркуляция водных масс [1].

Особо следует отметить одну особенность режима течений Черного моря, играющую очень важную роль для сухумской акватории. Это особенность – образование в юго-восточной части моря около батумской замкнутой антициклонической циркуляции. Образование этой циркуляции объясняется так называемым западным полем ветра над Черным морем. Это круговорот оказывает существенное влияние на режим моря в сухумской акватории, аккумулируя зимой холодную воду. Важной особенностью для режима течений является отклонение основной струи течения вокруг своей оси под влиянием силы Кориолиса. При наличии течения следующего на северо-запад вдоль Кавказского побережья, поверхностные более легкие воды под влиянием силы вращения Земли отклоняются вправо, т.е. к берегу. При обратном направлении течения, т.е. на юго-восток, наблюдается противоположная картина. Таким образом, возникает вертикальная циркуляция сгонно-нагонного типа, оказывающая большое влияние на термический режим прибрежной зоны.

Черное море расположено в зоне взаимодействия холодных воздушных потоков, идущих с северо-запада и северо-востока, и теплых субтропических воздушных масс, идущих с юга и юго-запада. В связи с этим атмосферная циркуляция изменяется по сезонам и ярко выражена неоднородность климатических и погодных условий в различных частях бассейна. Зимой над морем устанавливается область низкого давления, что способствует преобладанию в это время года восточных и северо-восточных ветров с материка. Однако в течение зимы неоднократно возникают штормовые ветры западных и юго-западных румбов [7].

Господствующее направление ветра в сухумской акватории в течение года – западное летом и восточное зимой. В летний период преобладает повторяемость западных румбов и составляет 36,1%, в зимний период господствует восточное направление ветра (31,5%).

повторяемость западных румбов наблюдается в июне (39,5 %), повторяемость восточных румбов – в феврале (33,8%).

Наибольшая повторяемость северных румбов наблюдается зимой (3,4 %), наименьшая – летом (1,7 %), но эти ветры обычно слабые, средняя скорость которых составляет 0,8 м/с и естественно не вызывают сколько-нибудь значительного волнения. Поэтому северное направление волнения моря не наблюдается. Повторяемость южных и юго-западных ветров максимальна в летний период и имеет наименьшие значения в зимний сезон. Противоположный характер сезонного хода имеют ветры юго-восточного румба: в осенний сезон их повторяемость максимальна (11,2%), и минимальна в летний сезон (8,8%), также юго-восточные ветры отличаются значительными скоростями ($v_{cp}=3,3$ м/с). Повторяемость штиля в среднем за год составляет 7,7%, наибольшая повторяемость штиля наблюдается в январе (11,7%).

В Сухуме, наибольшими среднегодовыми значениями скорости отличаются юго-восточные и западные ветра (3,3 и 2,7 м/с соответственно), наибольшие значения которых приходится на летний период (3,3 м/с, и 3 м/с соответственно). В отдельные моменты времени скорость ветра западного горизонта может достигать 12-16 м/с. Ветры западного горизонта максимального значения достигают в холодный период года, наибольшая повторяемость которых приходится на март месяц. Самыми слабыми ветрами являются северные ($v_{cp} = 0,8$ м/с), максимальное значение скорости, которых наблюдается в осенне-зимний период (1 м/с). Восточные ветра, повторяемость которых доминирует в зимний период характеризуются наибольшими скоростями именно в зимний период ($v_{cp}=2,6$ м/с), в летний период их скорость минимальна (2 м/с) [4].

В абхазской акватории Черного моря в течение года доминирует слабое и умеренное волнение, высота волн, которых не превышает 1 м и их повторяемость составляет 77% (рис.4). Повторяемость волн, высотой более одного метра (3-5 баллов) в течение года составляет 23%.

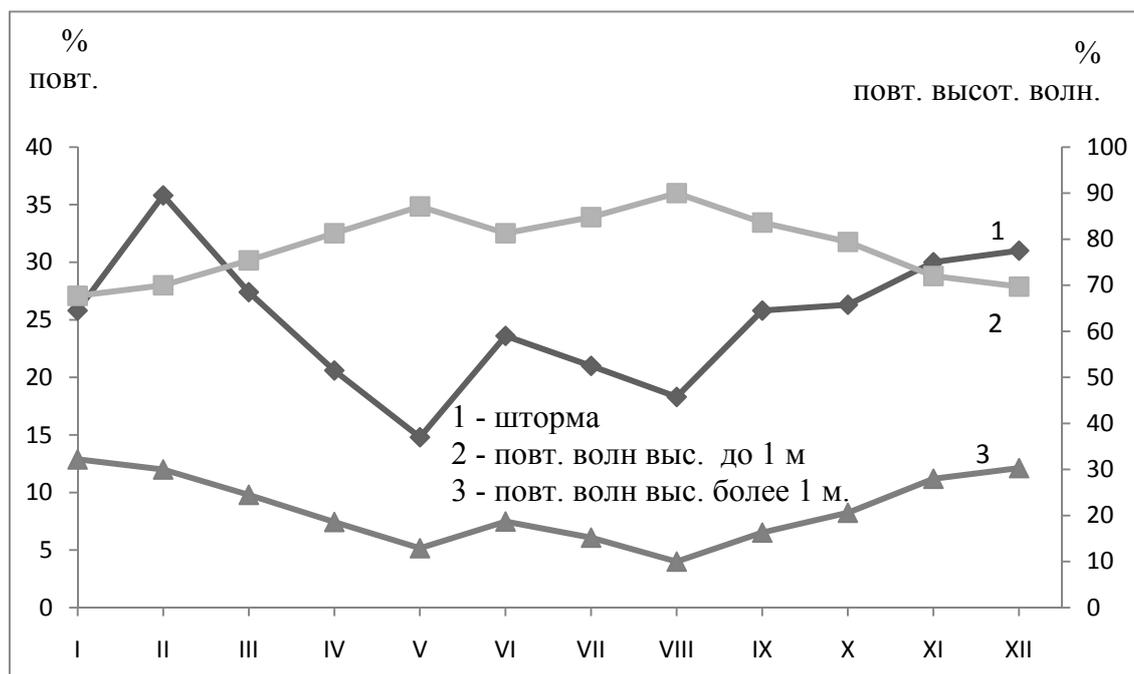


Рис. 4. Среднемесячное распределение частоты штормов силой до 5 баллов и высоты волн (в процентах).

Летом повсеместно преобладает волнение силой 1-2 балла, повторяемость таких волн составляет 85,4%. Зимой их повторяемость уменьшается и составляет 69,1% (см. рис. 7). Волны высотой более одного метра (3-5 баллов) чаще всего наблюдаются в зимний период, повторяемость их достигает в этот период 30,9 %, что очевидно связано с усилением атмосферной циркуляции в это время.

В среднем в течение года наблюдаемость штормов силой до 5 баллов составляет 90 дней, в отдельные годы количество таких штормов составляет более 140 дней (2004 г.). Наибольшее количество штормов наблюдается в феврале и составляет 35,8%, наименьшее в мае – 14,8% (рис. 7).

Количество штормовых дней силой 6 баллов в течение всего периода наблюдений (2002 – 2014 гг.) составило 9 дней. Высота волн от 3,5 м до 5,3 м наблюдались с октября по февраль, и их повторяемость не превышает 0,8%.

Наибольшее количество дней с сильными штормами наблюдается в феврале и составляет 33%. Наибольшая высота волн наблюдалась в декабре 2009 года (5,3 м). Волны высотой более 6 м за период наблюдений зафиксированы не были. Режим волнения вблизи берега, прежде всего, определяется ветром, но также большую роль играет характер изменения глубин при подходе к берегу, извилистость и общее направление береговой линии. Режим волнения в сухумской акватории также обуславливается циклонической циркуляцией воздуха, в результате которой ветры южных и западных румбов, дующие в передних частях циклонов, являются причиной зыби.

В сухумской акватории в течение года в процентном отношении доминирует ЮЗ направление волнения моря (23,1%). Наименьшее среднегодовое значение приходится на северо-западное и северо-восточное направление (1,0% и 1,4% соответственно). В зимний сезон преобладающим направлением волнения является южное с повторяемостью 23,9% (декабрь 24,6%, январь 26,5%, февраль 20,5%), для летнего периода характерно возрастание роли западного волнения 30,7% (июнь – 33,6%, июль – 27,5%, август – 31%). Этот факт хорошо согласуется с увеличением в летний период повторяемости западных ветров. А западные ветры кроме того являются сильными ветрами ($v_{cp}=3,0$ м/с) [4].

Наибольшая повторяемость волнения моря юго-западного направления наблюдается весной (25,1%), юго-восточного – зимой (18%). Наибольшее северо-восточное направление волнения наблюдается в холодное время года, в весенний период составляет 4,5 % и в зимний 4,2 %, северо-западное доминирует в осенний период (3,2%). Наибольшая повторяемость волнения моря восточного направления наблюдается зимой (16,4%). Северное направление волнения в сухумской акватории не наблюдается вообще.

Заключение

Среднегодовая температура морской воды в период регионального потепления (1993-2014) увеличилась на $0,8^{\circ}\text{C}$, тренд годовой температуры

обусловлен в основном повышением летних и осенних температур поверхностных морских вод.

Наибольшие колебания уровня моря и суммарный речной сток коррелируют особенно в осенне-летний период.

В зимний период повторяемость направлений ветра восточных румбов наибольшая, а в летний – преобладают западные румбы.

Наибольшая повторяемость штормов наблюдается в феврале (35,8%).

Наибольшими максимальными ветрами обладают западные ветры скорость которых, в отдельные моменты может достигать 12-16 м/с.

Юго-западные и южные направления ветрового волнения моря доминирует в зимний период, западное направление – в летний период.

Литература

1. Экба Я.А. Дбар Р.С. Экологическая климатология и природные ландшафты Абхазии. Сочи: «Папирус-М-Дизайн», 2007. - 324 с.
2. Наставление по гидрометеорологическим станциям и постам. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – Вып. 9. – ч. 1. – 312 с.
3. Гицба Я.В. Экба Я.А. Динамика гидрофизических параметров абхазской акватории Черного моря. Материалы одиннадцатого международного симпозиума «Проблемы экоинформатики». МНТОРЭС им. А.С. Попова. Москва, 2014. С.76-80.
4. Гицба Я.В. Экба Я.А. Особенности гидротермического режима сухумской акватории Черного моря. Майкоп, С.
5. Альтман Л.П. Черное море. Экономико-географический очерк. Л., Знание, 1975, 40 с.
6. Экба Я.А., Дбар Р.С., Гицба Я.В. Ветровое волнение и абразия черноморского побережья Абхазии. Морские берега – эволюция. Экология, экономика: Материалы XXIV Международной береговой конференции г. Туапсе, Т.2, 2012. С. 113-123.



7. Титов В.Б., Савин М.Т. Об оценке температурного режима атмосферы, формирующего гидрологическую структуру Черного моря // Метеорология и гидрология.2000. №10. С.78 -84.

References

1. Jekba Ja.A. Dbar R.S. Jekologicheskaja klimatologija i prirodnye landshafty Abhazii.[Ecological climatology and natural landscapes of Abkhazia]. Sochi: «Papyrus-M-Dizajn», 2007. 324 p.
2. Nastavlenie po gidrometeorologicheskim stancijam i postam.[Manual on the hydrometeorological stations and posts]. L.: Gidrometeoizdat, 1984. Vyp. 9. ch. 1. 312 p.
3. Gicba Ja.V. Jekba Ja.A. Materialy odinnadcatogo mezhdunarodnogo simpoziuma «Problemy jekoinformatiki». MNTORJeS im. A.S. Popova. Moskva, 2014. pp.76-80.
4. Gicba Ja.V. Jekba Ja.A. Osobennosti gidrotermicheskogo rezhima suhumskoj akvatorii Chernogo morja. Majkop, S.
5. Al'tman L.P. Chernoe more. Jekonomiko-geograficheskij ocherk.[Black Sea. Economic-geographical sketch]. L., Znanie, 1975, 40 p.
6. Jekba Ja.A., Dbar R.S., Gicba Ja.V. Jekologija, jekonomika: Materialy XXIV Mezhdunarodnoj beregovoj konferencii g. Tuapse, T.2, 2012. pp. 113-123.
7. Titov V.B., Savin M.T. Meteorologija i gidrologija.2000. №10. pp.78 -84.