

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

УДК 551.465.062.5

РАЗНОМАСШТАБНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА НА ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ¹

© 2016 г. Л.В. Москаленко**, В.А. Мельников*,
Н.И. Кузеванова**, О.И. Подымов**

**Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия*

***Южное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Геленджик, Россия
e-mail: vmelnikov@ocean.ru, lidija-moskalenko@rambler.ru, kuzevanova-nata@mail.ru
huravela@yahoo.com*

Поступила в редакцию 30.06.2014 г.

Рассматриваются особенности изменчивости ветрового режима в период с 1935 по 2014 г. Более подробно исследуется разномасштабная изменчивость метеоусловий в последние годы (2010–2014 гг.). Для визуализации временных рядов вектора ветра используется метод прогрессивных векторных диаграмм. Показано, что в период с 1935 по 2014 г. отмечаются смены преобладающих ветров СВ румбов на Ю-В-ЮВ (волны теплых периодов). Максимальная амплитуда волны на диаграмме отмечалась в 2004–2006 гг. В период с 2007 по 2014 г. особенностью ветрового режима было преобладание СВ ветров в теплые и аномально теплые годы. Приводятся основные типы атмосферных процессов, порождающие доминирующие ветры. Показано, что различия ветрового режима в отдельные годы с различными температурными характеристиками годов и зим обусловлены разномасштабной изменчивостью динамики атмосферных синоптических процессов. Выделяются периоды продолжительного ветрового воздействия ветров (в течение нескольких месяцев и в течение 1–2-й декад месяца). Показана роль ЮВ румбов с высокой повторяемостью в течение нескольких месяцев в формировании вертикальной структуры вод прибрежной зоны. По результатам анализа экспериментальных данных, полученных в 2010–2014 гг. (НИС “Ашамба”), отмечается, что при устойчивых ветрах ЮВ румбов усиливается адвекция холодных промежуточных вод из районов их образования (центральная зона дивергенции) в прибрежную зону.

Ключевые слова: синоптические атмосферные процессы, продолжительность ветрового воздействия, процессы взаимодействия “атмосфера – море”, доминирующие ветры, теплые годы, холодные годы, климатические колебания ветра, гидрологическая структура вод, циркуляция.

Введение. В Южном отделении института океанологии им. П.П. Ширшова в течение многих лет проводились исследования прибрежной экосистемы Северо-Кавказского побережья (на траверзе Геленджика и Голубой бухты). В последние годы был создан постоянно действующий гидрофизический полигон, на котором проводятся непрерывные измерения с использованием различных контактных и дистанционных датчиков [5, 6, 20]. При анализе процессов взаимодействия в системе атмосфера – море возникает задача систематизации разнообразных атмосферных условий.

Комплексные исследования последних лет показывают существенную синхронность изменений состояния гидрофизической, гидрохимической, биологической и экологической компонент экосистемы моря с долговременной изменчивостью атмосферных синоптических процессов [3, 7, 9, 17]. Анализ разномасштабной изменчивости ветрового режима и термических факторов позволяет объяснить разномасштабную временную изменчивость других компонент общей экосистемы и интерпретацию спутниковых данных.

В данной статье подробно исследуется разномасштабная изменчивость метеоусловий в годы, различные по своим температурным градиентам и ветровому режиму (2010–2014 гг.).

Использованные данные и методы обработки материала. В работе использованы данные

¹Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (Соглашение № 14.604.21.0044, уникальный идентификатор проекта RFMEF160414X0044) в части обработки и анализа данных и гранта РФФИ № 14-05-00159 в части написания и подготовки статьи к публикации.

наблюдений метеостанции г. Геленджика по стандартным срокам через 3 часа. Температура воды наблюдалась с дискретностью 6 часов. Обобщающий анализ данных выполнен в разных диапазонах временной изменчивости параметров. Градации годов и зим по температуре определялись по отклонениям годовых и среднезимних температур от среднегодовых по ряду с 1935 по 2014 г., в соответствии с оценками среднегодового среднеквадратического отклонения σ . Так, при разности температур в пределах $\pm\sigma$ зимы и годы считались умеренно-теплыми (УТ) и умеренно-холодными (УХ), в интервале от $\pm\sigma$ до $\pm 2\sigma$ – теплыми и холодными (Т и Х), более $\pm 2\sigma$ – аномально теплыми и аномально холодными (АТ и АХ). Для визуализации временных рядов направления и скорости ветра использовался метод прогрессивных векторных диаграмм. По мере увеличения продолжительности наблюдений на прогрессивных векторных диаграммах наглядно проявляются разномасштабные составляющие изменчивости. Приведенные в статье вертикальные разрезы температуры воды по месяцам в период 2010–2014 гг. представлены по результатам зондирования CTD-зондом SeaBird 19+ (НИС “Ашамба”). Зондирования проводились ежемесячно (примерно в пяти морских милях от берега) в точке стандартного разреза на траверзе Голубой бухты ($44^{\circ}31.203'$ с. ш. и $37^{\circ}54.260'$ в. д.).

Результаты. Типы атмосферных синоптических процессов и разномасштабная изменчивость ветрового режима. Черное море расположено в районе активного взаимодействия отрогов и вихрей глобальных атмосферных крупномасштабных барических образований (Азорский, Сибирский, Арктический антициклоны и депрессии: NAO, Норвежское, Северное моря и тропическая). Вследствие этого над отдельными частями Черного моря преобладают различные типы атмосферных процессов [1, 2]. В результате сложного взаимодействия преобладающих барических полей на акваторию моря могут приходить локальные вихри с контрастными температурами и влажностью воздушных масс [11].

По преобладающим типам атмосферных процессов в Черном море выделяют северо-западную, центральную, северо-восточную, юго-западную и юго-восточную части моря [1, 2, 16]. В данной статье анализируется разномасштабная изменчивость ветрового режима только в северо-восточной его части. Существенной особенностью синоптических процессов в северо-восточной части Черного моря является высокая повторяемость СВ и ЮВ типов атмосферных процессов (рис. 1). Не представленный на рис. 1 Ю тип синоптиче-

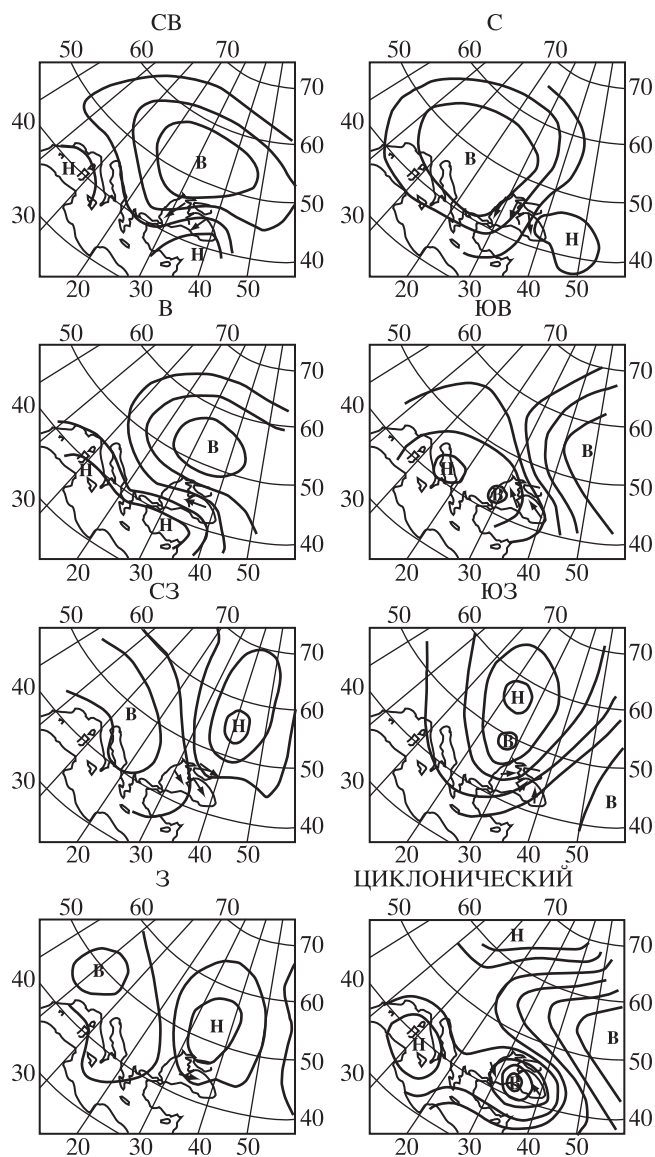


Рис. 1. Типовые поля атмосферного давления по основным типам атмосферных синоптических процессов [1, 2].

ских процессов может быть следствием развития как ЮВ, так и ЮЗ типов. Циклонический тип синоптических процессов характеризуется развитием на восток Средиземноморской циклонической системы.

Динамическое взаимодействие полей СВ и ЮВ типов атмосферных процессов определяет циклические смены преобладающего СВ ветра на Ю-В-ЮВ и обратно, что отмечается на прогрессивных векторных диаграммах на климатических, годовых, сезонных и даже 10-дневных временных масштабах (рис. 2) [14, 18, 19].

На климатических временных масштабах наблюдаются циклические смены преобладающих ветров СВ румбов на Ю-В-ЮВ. Соответственно,

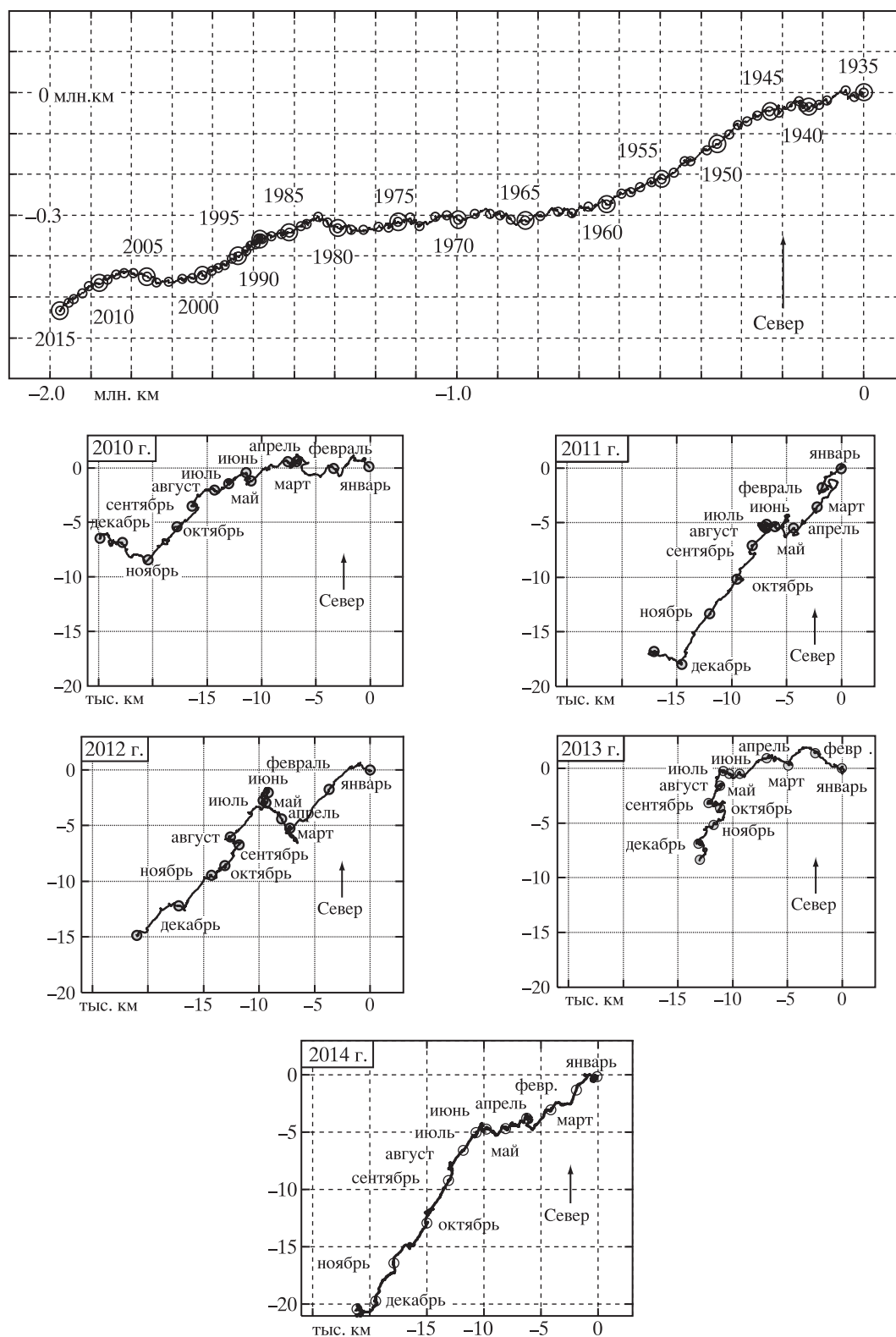


Рис. 2. Климатическая и годовые прогрессивные векторные диаграммы ветра в периоды 1935–2014 гг. и 2010–2014 гг. Интервалы через 5 лет отмечены более крупными кружками.

южная компонента преобладающих ветров приводит к потеплению зим и годовому потеплению в среднем. Такие интервалы назовем волнами теплых периодов. Эти волны прослеживаются в следующие периоды: 1935–1937, 1944–1947, 1962–1964, 1970–1971, 1974–1976, 1979–1981, 1989–1990 и 2004–2006 гг. В интервале с 1935 по 1965 г. волны теплых периодов по амплитуде выражены более слабо, чем в последующие годы. С 1965 по 1980 г. высокой была повторяемость ветров В румбов. Максимальная амплитуда теплой волны отмечалась в период с 2004 по 2006 г., когда преобладали ветры Ю-В-ЮВ румбов. В 2004 г. высокой была повторяемость ветров Ю румбов, в 2005 г. – В, в 2006 г. – В и Ю [14]. На климатическом масштабе времени можно видеть ~22-летние колебания направления ветра в теплые периоды (1943–1944, 1960–1962, 1980–1983 и 2003–2006 гг.), а также – 10-летние и 5-летние циклы. В период с 2007 по 2014 г. в Т и АТ годы преобладали ветры СВ румбов, приносящие летом очень теплые воздушные массы. По годовым диаграммам ветра можно отметить периоды воздействия ветров ЮВ и СВ румбов в течение нескольких месяцев. На всех диаграммах можно видеть высокую повторяемость ЮВ ветров с конца зимы почти до середины лета и СВ ветров с августа по ноябрь. В эти периоды следует ожидать максимального воздействия ветров этих румбов на формирование структуры и циркуляции вод в прибрежной зоне. Указанные особенности изменчивости ветрового режима по месяцам подтверждают доминирующую роль атмосферных процессов СВ и ЮВ типов.

Наибольшие различия на годовых диаграммах отмечаются в начале и в конце рассматриваемых годов. Эти различия отмечаются не только между Т и АТ годами (2013, 2010, 2014 гг.) и УХ 2011 г. и Т 2012 г. (при Х зиме), но и в годы с одинаковыми температурными характеристиками (АТ 2010 г. и АТ 2014 г.). Наиболее сильно отличается от других диаграмма Т 2013 г., в котором с июля по декабрь максимально высокой была повторяемость ветров С румбов (табл. 1).

Характеристики максимальной повторяемости ветров основных румбов за период с 2010 по 2014 г. приведены в табл. 2. На рис. 3 представлена месячная повторяемость ветров основных румбов в период 2010–2014 гг. Как видно на рис. 3, в последние годы (Т 2013 г. и АТ 2014 г.) произошли наиболее заметные изменения ветрового режима. В эти годы заметно увеличилась повторяемость С и ЮЗ ветров, уменьшилась повторяемость Ю ветров и очень значительно уменьшилась повторяемость З ветров. Повторяемость ветров СВ румбов

была наиболее высокой в 2010–2012 гг. В 2013 г. повторяемость ветров СВ румбов уменьшилась и значительно увеличилась только во второй половине 2014 г. В целом за весь период повторяемость ветров СВ румбов была максимальной.

Повторяемость ЮВ ветров была высокой, начиная с конца зимы, в течение нескольких месяцев, как в АТ и Т (2010, 2014, 2013 гг.), так и в УХ (2011 г., при УХ зиме) и Т (2012 г., при Х зиме) (табл. 1). Анализ рис. 3 также показывает, что характеристики ветрового режима в отдельные годы могут не соответствовать их температурным градациям. Так, с июля Т 2013 г. и в АТ 2014 г. сильно увеличилась повторяемость ветров С румбов, несмотря на то, что эти годы были Т и АТ. К тому же в эти годы значительно снизилась повторяемость Ю ветров. Повторяемость ветров З румбов была высокой в АТ 2010 г., УХ 2011 г. и Т 2012 г. (при Х зиме), но в Т 2013 г. и АТ 2014 г. повторяемость ветров З румбов сильно уменьшилась.

Изменчивость среднемесячных температур воздуха в зависимости от ветрового режима в период 2010–2014 гг. Из табл. 3 следует, что наиболее сильные понижения среднемесячных температур воздуха относительно среднемноголетних значений (более чем на 4 °С) отмечались в ноябре УХ 2011 г. и в феврале Т 2012 г. (при Х зиме), при очень высокой повторяемости СВ ветров и высокой повторяемости С ветров (табл. 1). Температуры воздуха значительно выше нормы были: в декабре и ноябре АТ 2010 г. (при преобладающих В ветрах и высокой повторяемости ЮВ ветров); в октябре Т 2012 г. (при преобладающих СВ ветрах); в феврале и мае Т 2013 г. (при преобладающих С, В, и СВ, ЮВ ветрах). Следует отметить, что хотя зима 2012 г. была холодной, с апреля по декабрь 2012 г. температура воздуха превышала среднемноголетнюю температуру этих месяцев. В этот год с июля по декабрь преобладали СВ ветры, которые во вторую половину года приносили теплые и сухие воздушные массы со стороны Казахстана. В АТ 2014 г. только в октябре и ноябре ежемесячные температуры воздуха были незначительно ниже многолетних (при высокой повторяемости СВ и С ветров).

Анализ табл. 3 показывает, что температурные характеристики отдельных месяцев и сезонов могут не совпадать с температурными градациями года в целом. При ветрах СВ и С румбов на акваторию северо-восточной части Черного моря могут приходить воздушные массы не только с низкими, но и с высокими температурами воздушных масс со стороны Казахстана.

Таблица 1. Повторяемость ветров основных румбов по месяцам (%) и характеристики ветрового режима в период 2010–2014 гг.

Ветер	Месяцы												
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	год
2010 г.													
С	11.3	4.5	9.3	14.6	4.8	6.7	8.5	7.3	9.2	16.1	10.0	12.1	9.6
СВ	31.5	24.1	21.8	29.2	18.1	27.1	24.2	29.4	36.7	37.5	29.2	21.0	27.5
В	24.2	26.3	19.0	17.5	10.9	18.3	14.5	18.1	13.3	12.1	15.8	26.2	18.0
ЮВ	11.7	20.1	7.7	14.2	20.6	12.1	12.9	10.9	5.8	8.5	18.8	12.1	12.9
Ю	7.3	6.3	16.5	12.1	14.1	10.8	12.9	12.1	9.2	4.0	13.8	9.7	10.8
ЮЗ	9.3	7.6	10.9	5.8	11.3	7.5	6.0	4.8	5.8	6.5	5.0	4.8	7.1
З	2.8	8.5	9.3	5.0	16.5	15.4	19.4	12.9	17.5	9.7	6.3	5.2	10.7
СЗ	2.0	2.7	5.6	1.7	3.6	2.1	1.6	4.4	2.5	5.6	1.3	8.9	3.5
Σс-Σю	16.5	-2.7	1.6	13.4	-19.5	5.5	2.5	13.3	27.6	40.3	2.9	15.3	9.7
>12 м/с	13.3	18.8	11.7	11.2	2.4	4.6	3.2	5.2	10.4	9.3	8.3	9.5	9.0
$V_{\text{макс}}$	19	21	20	19	16	18	15	19	18	17	22	19	22
2011 г.													
С	17.7	18.8	19.0	6.7	9.7	11.3	5.2	10.9	20.0	14.1	18.3	9.3	13.4
СВ	35.1	32.1	26.2	31.3	15.7	14.6	15.7	32.3	42.5	41.9	46.3	16.9	29.1
В	15.3	8.9	10.1	7.9	10.5	18.3	11.7	11.7	7.9	14.9	5.8	28.6	12.7
ЮВ	7.3	5.4	12.9	14.6	17.3	14.2	14.5	8.1	4.2	4.8	2.5	22.6	10.8
Ю	4.8	3.1	6.0	10.8	13.7	9.6	15.7	5.6	3.8	2.8	1.3	4.8	6.9
ЮЗ	4.8	5.8	4.4	16.3	6.9	10.0	9.3	8.1	5.0	4.8	3.8	6.0	7.1
З	6.0	12.9	14.9	12.1	23.0	16.7	24.2	19.8	11.7	10.5	10.0	5.6	14.0
СЗ	8.9	12.9	6.5	0.4	3.2	5.4	3.6	3.6	5	6.0	12.1	6.0	6.1
Σс-Σю	44.8	49.6	28.2	-3.4	-9.3	-2.5	-14.9	25	54.6	49.6	69.2	-1.2	23.9
>12 м/с	1.2	20.1	16.5	11.7	4.8	0.0	0.8	9.7	7.1	14.5	20.8	5.6	9.4
$V_{\text{макс}}$	16	24	22	24	17	11	14	20	19	19	27	14	27
2012 г.													
С	9.7	13.8	14.1	5	4.0	17.9	12.9	14.9	9.6	11.3	17.5	17.3	12.3
СВ	28.6	42.2	13.3	12.9	11.3	16.3	36.3	21.0	37.1	35.9	41.3	39.1	27.9
В	25.4	12.5	10.1	19.6	10.1	10.0	14.1	10.1	7.9	17.3	12.5	19.4	14.1
ЮВ	13.3	10.3	20.6	27.1	17.7	12.1	8.1	6.5	9.6	9.7	10.8	11.7	13.1
Ю	5.2	3.9	7.7	20.0	14.5	11.3	6.9	4.4	6.3	3.2	1.3	0.4	7.1
ЮЗ	3.6	3.4	4.0	6.7	10.5	4.2	4.4	10.1	9.2	3.6	1.3	1.6	5.2
З	6.0	9.1	12.5	5.4	27.0	19.6	14.5	26.2	14.2	12.9	6.7	3.2	13.1
СЗ	8.1	4.7	17.7	3.3	4.8	8.8	2.8	6.9	6.3	6.0	8.8	7.3	7.1
Σс-Σю	24.2	43.1	12.9	-32.5	-22.6	15.4	32.6	31.9	27.9	36.7	54.2	50.0	22.8
>12 м/с	16.1	17.2	14.1	3.8	0	0	16.1	2.4	5.0	0.8	8.3	5.6	7.4
$V_{\text{макс}}$	26	39	17	19	11	11	19	14	17	14	26	18	39
2013 г.													
С	10.9	17.9	7.7	8.8	7.3	10	20.6	18.1	16.7	20.6	20	23.4	15.1
СВ	13.7	27.2	9.7	28.8	19.8	14.6	16.5	26.2	25.0	26.2	28.8	19.0	21.2
В	23.4	21.9	28.2	17.9	14.5	15.4	11.3	10.1	3.3	10.9	19.6	10.5	15.5
ЮВ	24.2	15.2	23.0	17.5	19.4	19.6	12.9	16.1	7.9	15.3	10.4	10.1	16.0
Ю	4.8	1.3	2.0	5.8	8.9	8.3	4.4	4.0	2.1	0.8	1.3	3.6	4.0
ЮЗ	7.7	4.5	7.7	7.1	10.1	12.5	18.1	12.1	18.3	10.9	2.9	10.9	10.3
З	6.9	5.4	9.3	8.8	16.5	11.7	8.9	9.3	17.1	11.3	7.1	5.6	9.8
СЗ	8.5	6.7	12.5	5.4	3.6	7.9	7.3	4.0	9.6	4.0	10.0	16.9	8.0
Σс-Σю	-3.6	30.8	-2.8	12.5	-7.7	-7.9	8.9	16.1	23.0	23.8	44.2	34.7	14.3
>12 м/с	19.4	6.2	9.3	8.8	3.6	1.2	2.8	4.4	10.4	2.4	2.9	10.5	6.8
$V_{\text{макс}}$	21	18	21	28	18	15	13	17	16	17	19	22	28

Таблица 1 (окончание)

Ветер	Месяцы												
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	год
2014 г.													
С	14.5	23.7	15.7	15.4	10.1	10.8	20.6	21.4	19.6	21.8	23.8	12.9	16.7
СВ	28.2	21.4	18.1	20.0	16.1	18.3	16.5	23.0	39.2	39.1	39.6	24.2	26.6
В	14.5	22.3	18.5	14.2	25.8	13.8	11.3	6.9	8.3	7.3	8.3	22.6	14.3
ЮВ	15.7	15.6	22.2	26.7	24.6	21.3	12.9	11.7	7.9	13.3	5.4	13.3	15.9
Ю	0.0	1.3	2.4	5.4	8.9	3.8	4.4	5.6	0.8	2.0	2.1	0.8	3.2
ЮЗ	8.1	7.1	10.1	8.3	7.7	18.3	18.1	16.1	9.6	4.8	3.3	10.5	10.1
З	8.5	3.1	6.9	7.9	6.0	10.0	8.9	10.5	12.1	6.5	4.6	8.1	7.8
СЗ	10.5	5.4	6.0	2.1	0.8	3.8	7.3	4.8	2.5	5.2	12.9	7.7	5.4
Σс-Σю	29.4	26.3	5.2	-2.9	-14.1	-10.4	8.9	15.7	42.9	46.0	65.4	20.2	19.5
>12 м/с	8.1	6.25	16.9	5.8	3.2	4.6	2.8	12.5	19.6	14.1	9.2	16.1	10.2
$V_{\text{макс}}$	17	19	31	16	17	16	22	21	22	25	30	22	31

Примечание. Жирным шрифтом выделены максимальные месячные повторяемости ветров основных румбов и максимальные характеристики ветрового режима.

Таблица 2. Максимальные месячная и годовая повторяемости ветров основных румбов за 2010–2014 гг., %

Румб	Годы					Макс. год 2010–2014 гг.
	2010	2011	2012	2013	2014	
С	16.1 (октябрь)	20.0 (сентябрь)	17.9 (июнь)	20.6 (июль)	23.8 (ноябрь)	16.7 (2014)
СВ	37.5 (октябрь)	46.3 (ноябрь)	42.2 (февраль)	28.8 (апрель)	39.6 (ноябрь)	29.1 (2011)
В	26.3 (февраль)	28.6 (декабрь)	25.4 (январь)	28.2 (март)	25.8 (май)	18.0 (2010)
ЮВ	20.6 (май)	22.6 (декабрь)	27.4 (апрель)	24.2 (январь)	26.7 (апрель)	16.0 (2013)
Ю	16.5 (март)	15.7 (июль)	20.0 (апрель)	8.9 (май)	8.9 (май)	10.8 (2010)
ЮЗ	11.3 (май)	16.3 (апрель)	10.5 (май)	18.3 (сентябрь)	18.3 (июнь)	10.3 (2013)
З	19.4 (июль)	24.2 (июль)	27.0 (май)	17.1 (сентябрь)	12.1 (сентябрь)	14.0 (2011)
СЗ	8.9 (декабрь)	12.9 (февраль)	17.7 (март)	16.9 (декабрь)	12.9 (ноябрь)	8.0 (2013)

Примечание. Максимальные месячная и годовая повторяемость ветров основных румбов за период 2010–2014 гг. отмечены жирным шрифтом.

Влияние ветрового режима на формирование прибрежной структуры вод. Изменчивость структуры и циркуляции вод в северо-восточной части Черного моря определяется в значительной степени квазистационарными типами атмосферных синоптических процессов и продолжительностью ветрового воздействия ветров основных румбов. Анализ продолжительного ветрового воздействия по данным суточных стандартных метеорологических наблюдений показывает, что с 2010 по 2014 гг. при максимальной месячной повторяемости ветров отдельных румбов (С, СВ, СЗ, ЮВ, ЮЗ и З) отмечались периоды с преобладающими ветрами в течение 1–2-й декад месяца (рис. 4). Максимальная повторяемость СВ ветров была в ноябре 2011 г., С – ноябре 2014 г., В – декабре 2011 г., ЮВ – апреле 2012 г., Ю – апреле

2012 г., ЮЗ – сентябре 2013 г., З – мае 2012 г., СЗ – марте 2012 г. (табл. 2).

Как видно на рис. 4, осенью при высокой повторяемости ветров С, СВ и СЗ румбов среднемесячные температуры воздуха и воды были значительно ниже средненоголетних, при ветрах ЮЗ румбов – в пределах или ниже средненоголетних. Весной при преобладающих ветрах ЮВ румбов температура воздуха и воды была выше средненоголетних, при сменах ЮВ ветров на СВ и обратно – в пределах средненоголетних, при ветрах З румбов – в пределах или выше средненоголетних. Как уже отмечалось, корреляция направления ветров и температуры воздуха и воды не всегда однозначна, так как преобладающими ветрами могут переноситься воздушные массы с разной температурой воздуха (см. сильное повы-

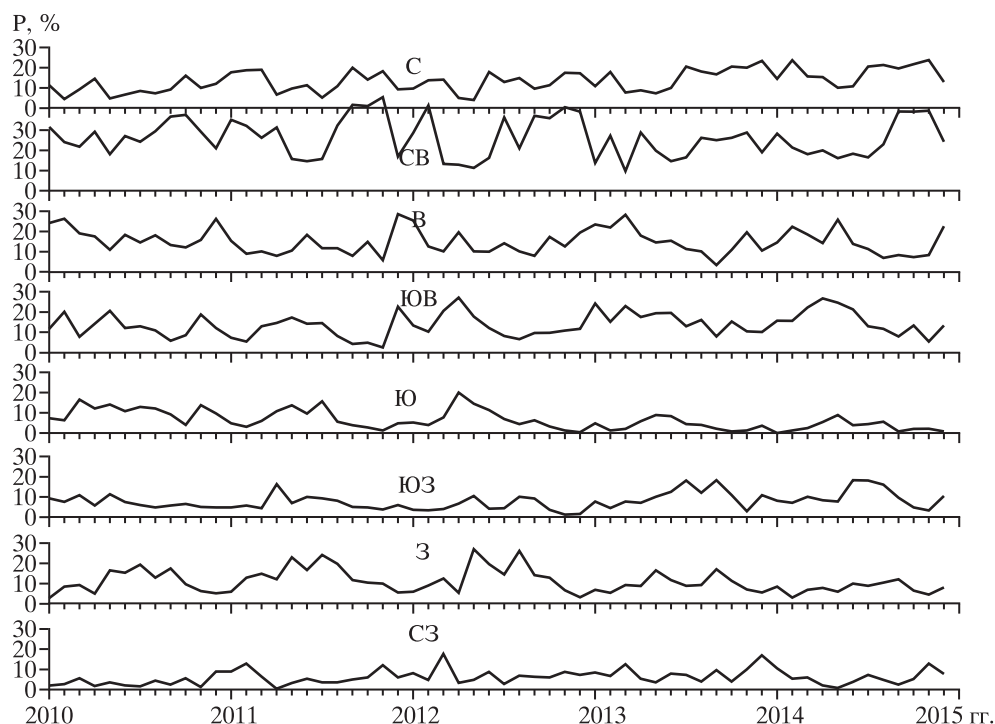


Рис. 3. Повторяемость ветров основных румбов в период 2010–2014 гг. (по данным МС “Геленджик”, табл. 1).

Таблица 3. Среднемесячная температура воздуха за период 2010–2014 гг. и разность среднемесячных и среднемноголетних температур за период 1935–2014 гг.

Годы	Месяцы											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Температура воздуха												
2010	6.3	8.6	7.7	12.3	17.4	23.7	26.2	28.0	22.8	14.2	14.5	11.2
2011	5.1	2.8	6.6	10.6	15.8	21.5	25.2	24.3	20.8	13.8	5.3	8.7
2012	4.1	0.3	4.0	12.8	18.5	23.7	26.2	25.2	22.2	19.1	12.3	7.4
2013	7.0	8.6	8.3	12.5	19.7	22.0	24.4	25.4	18.2	13.6	12.2	5.2
2014	6.6	7.2	9.6	12.5	18.2	21.7	25.6	26.8	21.1	14.1	10.0	9.7
Среднемноголетнее значение	4.4	4.5	6.6	11.3	16.0	20.6	24.0	24.2	19.8	14.6	10.1	6.6
Разность среднемесячных и среднемноголетних температур												
2010	1.9	4.1	1.1	1.0	1.4	3.1	2.2	3.8	3.0	−0.4	4.4	4.6
2011	0.7	−1.7	0	−0.7	−0.2	0.9	1.2	0.1	1.0	−0.8	−4.8	2.1
2012	−0.3	−4.2	−2.6	1.5	2.5	3.1	2.2	1	2.4	4.5	2.2	0.8
2013	2.6	4.1	1.7	1.2	3.7	1.4	0.4	1.2	−1.6	−1.0	2.1	−1.4
2014	2.2	2.7	3.0	1.2	2.2	1.1	1.6	2.6	1.3	−0.5	−0.1	3.1

шение температур воздуха и воды при ветрах СВ румбов 17–19 мая 2012 г., рис. 4).

Наиболее сильное повышение температуры воздуха и воды при ветрах СВ румбов отмечалось в последней декаде июля 2012 г. [11, 15]. На всех представленных рисунках также видно, что колебания температуры воды значительно ниже по амплитуде колебаний температуры воздуха.

Влияние продолжительных доминирующих ЮВ ветров на формирование вертикальной структуры вод прибрежной зоны. Основными элементами вертикальной структуры вод Черного моря являются верхний квазиоднородный слой, сезонный термоклин, холодный промежуточный слой (ХПС) и главный пикноклин [8, 10]. Наиболее важная структура, реагирующая на колебания

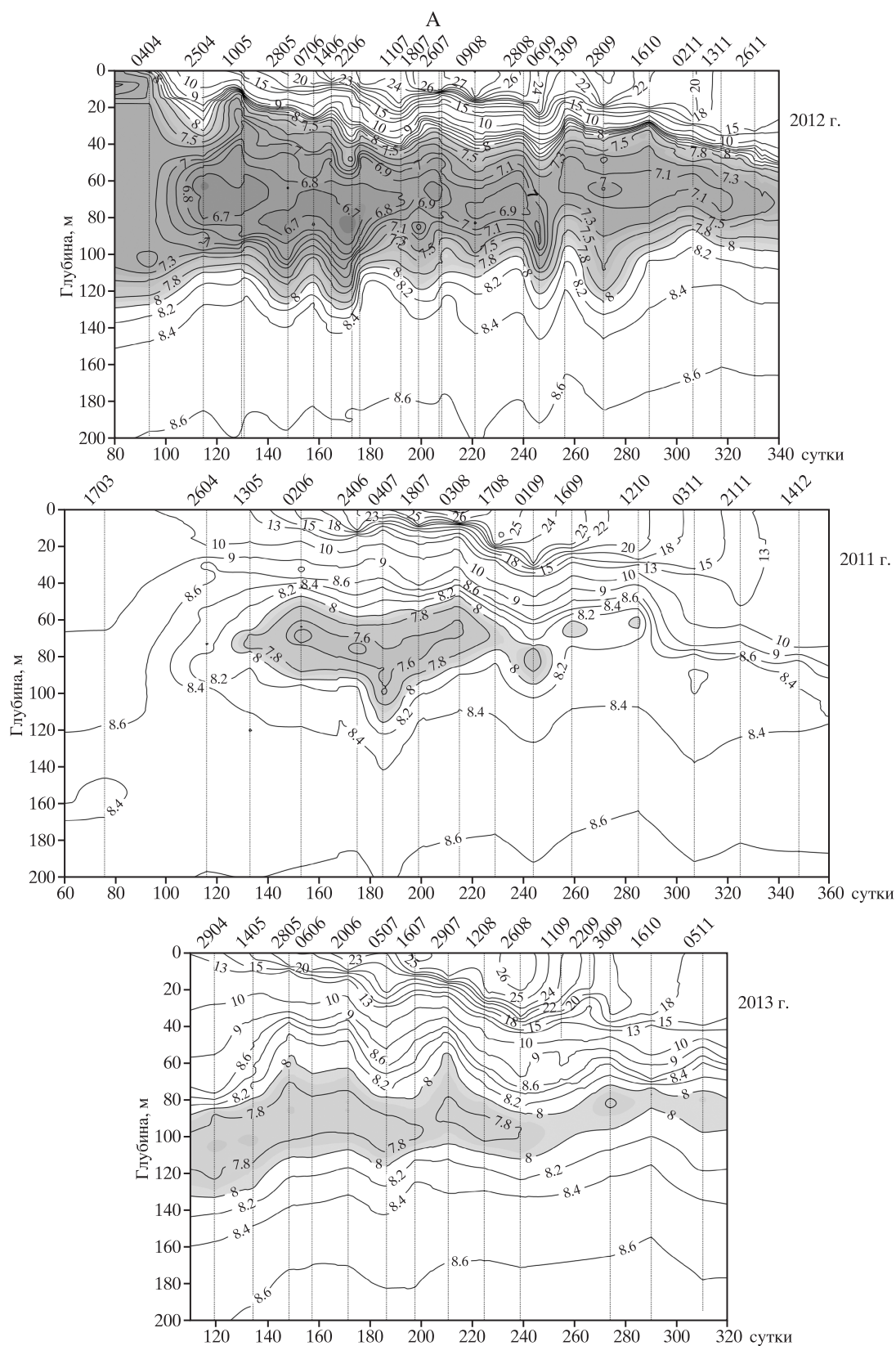


Рис. 5. Временной ход температуры воды по месяцам: в теплом 2012 г. (при X зиме), умеренно-холодном 2011 г. (при UX зиме) и теплом 2013 г. (при T зиме) в точке стандартного разреза ($44^{\circ}31.203'$ с. ш. и $37^{\circ}54.260'$ в. д.) – А и в аномально-теплые 2010 и 2014 гг. (при теплых зимах) в той же точке стандартного разреза – Б.

На горизонтальных осях рисунков приведены сутки года, дата и месяц выполнения профиля.

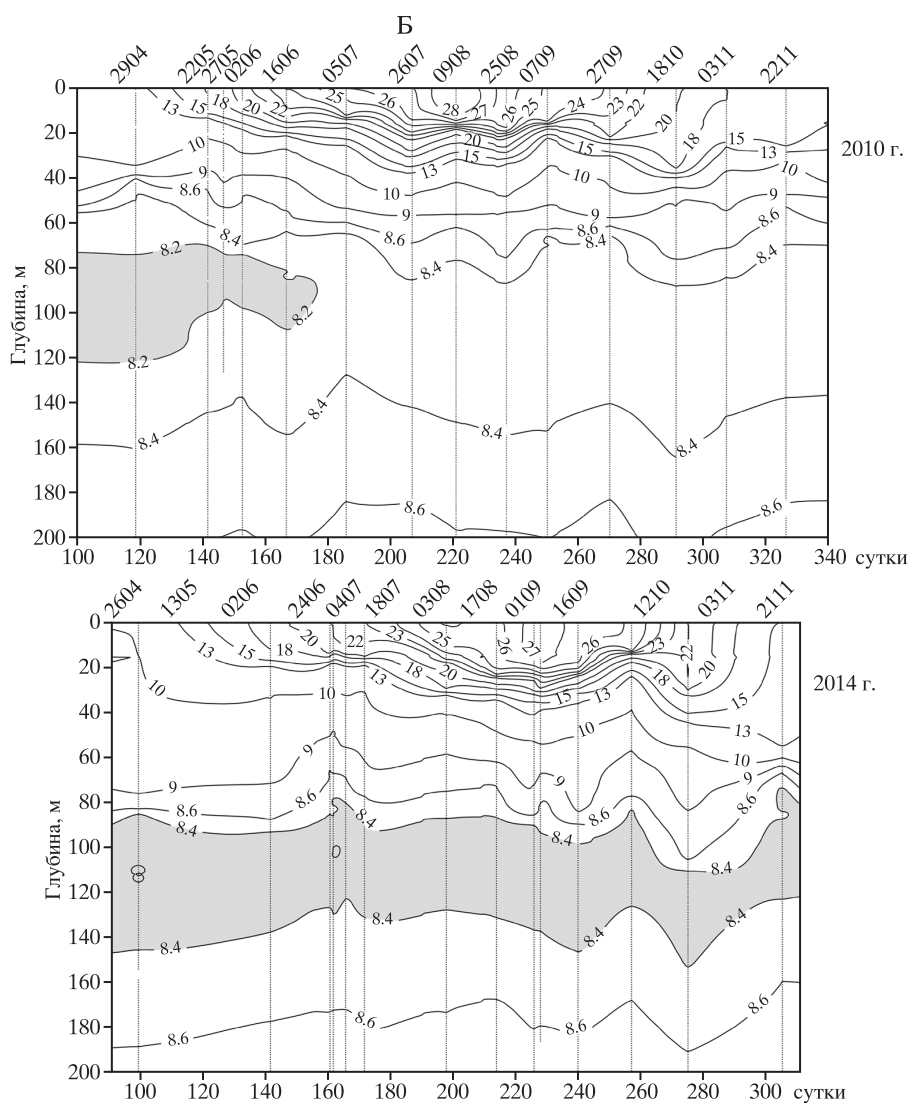


Рис. 5 (окончание)

температуры воздуха и ветровое воздействие, – ХПС. По изменениям состояния ХПС оценивается ежемесячная, межгодовая и климатическая изменчивость обновления вод деятельного слоя, располагающегося выше сероводородного слоя. Положение его ядра, верхней и нижней границы определяются по глубине залегания вод с температурой ниже 8°C .

Анализ экспериментальных данных, полученных с борта НИС “Ашамба” в период 2010–2014 гг. показал, что во все годы была высокой повторяемость ЮВ ветров. Это не могло не отразиться на вертикальной гидрологической структуре прибрежных вод. При этом оказалось, что реакция этой физической характеристики на продолжительное воздействие ветров ЮВ румбов зависит от типа зимы.

Как видно на рис. 5, температура ядра ХПС ниже 8°C была в теплом 2012 г. (после X зимы);

в умеренно-холодном 2011 г. (после УХ зимы) и в теплом 2013 г. (после Т зимы). В эти годы температура ХПС составляла 6.7, 7.6 и 7.8°C (рис. 5А). Минимальная температура воды и максимальная толщина ХПС отмечались в апреле–мае. Летом и осенью температура в ядре ХПС увеличивается, а толщина ХПС уменьшается. В 2012 г. температура ХПС менее 8°C прослеживалась до конца года, в 2011 г. – с мая по сентябрь, в 2013 г. – с апреля по ноябрь. Во время теплой зимы 2013 г. обновления ХПС не происходило, но еще прослеживаются следы ХПС, образовавшегося X зимой 2012 г. и УХ зимой 2011 г. В АТ 2010 и 2014 гг. (при Т зимах) ХПС в условно принятых границах (8°C) не наблюдался (рис. 5Б). Минимальная температура воды ядра ХПС была более 8°C (8.1 и 8.3°C).

Обсуждение результатов. Представленные в статье результаты показывают, что основные

черты ветрового режима и его климатическая изменчивость определяются интенсивностью динамики глобальных центров атмосферной циркуляции (рис. 1). Над акваторией северо-восточной части Черного моря преобладают СВ и ЮВ типы атмосферных процессов. Развитие циклонических областей атмосферного давления приводит к ослаблению влияния антициклонических отрогов и вихрей и развитию ветров В, Ю и ЮВ румбов (теплые периоды) (рис. 2). Особенностью климатической изменчивости ветрового режима последних лет, начиная с 2007 г., является преобладание ветров СВ румбов в теплые и аномально теплые годы. На годовых диаграммах ветра в эти годы не наблюдаются циклические смены преобладающих ветров СВ румбов на ветры Ю-В-ЮВ румбов. Эта особенность связана с изменением динамики крупномасштабных барических структур: ослаблением Сибирского антициклона, усилением Азорского антициклона и очень сильным развитием на востоке Европейской части России циклонической атмосферной циркуляции с юга – юго-востока (ветры СВ румбов во фронтальной зоне диполя циклон-антициклон). В этот период в Т и АТ годы преобладали ветры СВ румбов, приносящие теплые воздушные массы. Циклические смены преобладающих СВ и ЮВ ветров отмечались только на меньших временных масштабах (рис. 2Б).

Оценки разномасштабной изменчивости ветрового режима позволили показать влияние ветров отдельных румбов на изменчивость температуры воздуха и воды и оценить роль преобладающих ветров в формировании прибрежной структуры и циркуляции вод в северо-восточной части Черного моря (рис. 3–5).

В аномально теплом 2010 г. высокая повторяемость ЮВ ветров отмечалась с апреля по август и в феврале, а в аномально теплом 2014 г. – с марта по июнь; в теплом 2013 г. – с января по август и в октябре, а в теплом 2012 г. (при X зиме) – с марта по май; в умеренно-холодном 2011 г. – с марта по июль (табл. 1). В 2013 г. продолжительность высокой повторяемости ЮВ ветров была максимальной за весь рассматриваемый период. Поэтому, несмотря на то, что 2013 г. был теплым (при Т зиме), в прибрежной зоне еще были заметны следы ХПС, образовавшегося в предыдущие годы.

Особенности вертикальной структуры вод, установленные по экспериментальным данным в период 2010–2014 гг. и проанализированные совместно с данными о повторяемости ветров различных румбов в исследуемом районе, сви-

детельствуют о доминирующей роли ветров ЮВ румбов в трансформации характеристик ХПС в прибрежной зоне. Этот факт можно объяснить тем, что при ЮВ ветрах происходит усиление общей циклонической циркуляции моря и увеличивается наклон изопикноклина в сторону берега. Вследствие этого создаются условия для адвекции холодных промежуточных вод из районов их образования (зона циклонической дивергенции) в прибрежную зону [8, 9, 15].

Выводы. 1. В северо-восточной части Черного моря преобладают СВ и ЮВ типы атмосферных процессов. Самоподобные циклические смены СВ ветра на ЮВ и обратно отмечаются на климатическом, годовом и сезонном временных масштабах.

2. Прослеживаются ~20-, 10- и 5-летние колебания направлений ветров в теплые периоды. Максимальная амплитуда климатической волны теплых периодов отмечалась в период 2004–2006 гг. Особенностью ветрового режима 2007–2014 гг. является преобладание ветров СВ румбов в Т и АТ годы.

3. Характеристики ветрового режима в отдельные годы могут не совпадать с их температурными градациями. Наиболее заметные изменения ветрового режима отмечались в 2013 и 2014 гг. В эти годы сильно увеличилась повторяемость СВ ветров и очень значительно уменьшилась повторяемость З и Ю ветров. Эти различия ветрового и температурного режимов обусловлены разномасштабной изменчивостью динамики атмосферных синоптических процессов.

4. Отмечена доминирующая роль ветров ЮВ румбов в трансформации характеристик ХПС в прибрежной зоне. При ЮВ ветрах, высокая повторяемость которых отмечалась в течение нескольких месяцев во все годы с различными температурными условиями, усиливается общая циркуляция вод и увеличивается наклон пикноклина в сторону берега. Вследствие этого создаются условия для усиления адвекции холодных промежуточных вод из районов их формирования в прибрежную зону моря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас волнения и ветра Черного моря. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 111 с.
2. Атлас “Типовые поля ветра и волнения Черного моря”. Севастополь: СОГОИН, 1987. 116 с.
3. Завьялова Т.А., Лукашева Т.А., Москаленко Л.В., Павелко К.Е. Массовое развитие гетеротрофной динофлагелляты *Noctiluca scintillans* в 2011 году

- в Голубой бухте северо-восточной части Черного моря // Сборник Череповецкого госуниверситета. 2013. С. 92–94.
4. Зацепин А.Г., Кременецкий В.В., Станичный С.В., Бурдюгов В.М. Бассейновая циркуляция и мезомасштабная динамика Черного моря под ветровым воздействием // Современные проблемы динамики океана и атмосферы. М.: Триада ЛТД, 2010. С. 347–368.
 5. Зацепин А.Г., Островский А.Г., Баранов В.И., Кондрашов А.А., Корж А.О., Кременецкий В.В., Кубряков А.А., Куклева О.Н., Москаленко Л.В., Пака В.Т., Пиотух В.Б., Подымов О.И., Соловьев В.А., Соловьев Д.М., Станичный С.В. Подспутниковый гидрофизический полигон ИОРАН в Черном море // 13-я междунар. науч.-техн. конф. “Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2013)”. М.: 2013. Т. 1. С. 125–129.
 6. Зацепин А.Г., Островский А.Г., Баранов В.И., Кондрашов А.А., Корж А.О., Кременецкий В.В., Кубряков А.А., Куклева О.Н., Москаленко Л.В., Пака В.Т., Пиотух В.Б., Подымов О.И., Соловьев В.А., Соловьев Д.М., Станичный С.В. Текущее состояние и развитие гидрофизического полигона Института Океанологии РАН в шельфово-склоновой зоне российского сектора Черного моря. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа // Сборник научных трудов конференции. Севастополь, 24–27 сентября 2013 г. Вып. 27. С. 71–76.
 7. Зацепин А.Г., Кременецкий В.Г., Пиотух В.Б., Поляков С.Г., Ратнер Ю.Б., Соловьев Д.М., Станичная Р.Г., Станичный С.В., Якубенко В.Г. Формирование прибрежного течения в Черном море из-за пространственно-неоднородного ветрового воздействия на верхний квазиоднородный слой // Океанология. 2008. Т. 48. № 2. С. 1–17.
 8. Кривошея В.Г., Якубенко В.Г., Москаленко Л.В., Скирта А.Ю., Кузеванова Н.И. Изменчивость структуры и циркуляции вод по данным многолетнего мониторинга на стандартном 100-мильном разрезе “Геленджик – центр моря” // Комплексные исследования Черного моря. М.: Науч. мир, 2011. С. 35–54.
 9. Кривошея В.Г., Москаленко Л.В., Мельников В.А., Скирта А.Ю. Влияние изменчивости ветрового режима и термических условий на структуру и динамику вод в северо-восточной части Черного моря // Океанология. 2012. Т. 52. № 4. С. 484–498.
 10. Кривошея В.Г., Овчинников И.М., Скирта А.Ю. Межгодовая изменчивость обновления холодного промежуточного слоя Черного моря // Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря / Под. ред. А.Г. Зацепина, М.В. Флинта. М.: Наука, 2002. С. 27–39.
 11. Куклев С.Б., Москаленко Л.В., Мельников В.А., Кузеванова Н.И., Станичный С.В. Влияние атмосферных синоптических процессов и ветра (динамические факторы) на термические условия и осадки в районе Северо-Кавказского побережья Черного моря по многолетним данным (1955–2012 гг.) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. М.: ИКИ РАН, 2013. Т. 10. № 1. С. 81–92.
 12. Москаленко Л.В. Расчет стационарных ветровых течений в Черном море // Океанология. 1975. Т. 15. № 2. С. 245–250.
 13. Москаленко Л.В. Численный расчет стационарной циркуляции в Черном море по типовым полям ветра // Метеорология и гидрология. 1976. № 1. С. 58–63.
 14. Москаленко Л.В., Мельников В.А., Кузеванова Н.И. Климатическая изменчивость ветрового режима в северо-восточной части Черного моря и оценки корреляции динамических и термических факторов // Комплексные исследования Черного моря. М.: Науч. мир, 2011. С. 12–34.
 15. Москаленко Л.В., Мельников В.А., Кузеванова Н.И. Аномальные ситуации метеорологического режима в прибрежной зоне Северо-Кавказского побережья за период 2010–2013 гг. (по данным метеостанции г. Геленджика) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. М.: ИКИ РАН, 2014. Т. 11. № 4. С. 178–193.
 16. Справочные данные по режиму ветра и волнения Балтийского, Северного, Черного, Азовского и Средиземного морей // Российский морской регистр судоходства. 2006. 450 с.
 17. Флинт М.В. Комплексные исследования экосистемы Черного моря (100-й рейс НИС “Профессор Штокман”) // Океанология. 2010. Т. 50. № 2. С. 312–315.
 18. Melnikov V.A., Moskalenko L.V., and Kuzevanova N.I. North-East Black Sea climate system decadal variability // General Assembly 2011. Geophysical Research Abstracts. 2011. Vol. 13. EGU 2011 – PREVIEW.
 19. Melnikov V.A., Moskalenko L.V., and Kuzevanova N.I. Black Sea Multi-Scale Wind Cycles and Climatic Trends // 3rd Bi-annual Black Sea Scientific Conference Abstracts, Odessa, Ukraine, 31st October – 4th November, 2011.
 20. Zatsepin A.G., Ostrovskii A.G., Kremenetskiy V.V., Piotoukh V.B., Kukleva O.N., Moskalenko L.V., Podymov O.I., Baranov V.I., Kondrashov A.A., Korzh A.O., Kubryakov A.A., Soloviev D.M., and Stanichny S.V. Development of SIO RAS hydrophysical polygone in the shelf-slope zone of the NE Black Sea // International Conference “Marine Research Horizon 2020” (17–20 September. 2013. Varna. Bulgaria). Book of abstracts. Helix press Ltd. 2013. P. 40–41.

Peculiarities of Multiscale Wind Regime Variability at Coastal Water Area of the North-Eastern Black Sea

L.V. Moskalenko**, V.A. Melnikov*, N.I. Kuzevanova**, and O.I. Podymov**

* *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

** *Southern Branch of Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Gelendzhik, Russia*

e-mail: vmelnikov@ocean.ru, lidija-moskalenko@rambler.ru, kuzevanova-nata@mail.ru, huravela@yahoo.com

Peculiarities of variability of wind regime in the period from 1935 to 2014 are discussed. More detailed analysis of variability of meteorological condition on different scales during the last years (2010–2014) is conducted. Progressive vector diagrams are used for visualization of time series of wind vectors. Changes of prevalent winds from NE to S-E-SE (warm period waves) are reflected on a climatic progressive vector diagram from 1935 to 2014. Maximum wave amplitude on a diagram was registered in a period of 2004–2006. In 2007–2014, a distinctive feature of the wind regime was a dominance of SE winds during warm and abnormally warm years. Major types of atmospheric processes that give rise to dominating winds are outlined. It is demonstrated that differences of the wind regime during particular years with various temperature characteristics of years and winters are caused by a variability of atmospheric synoptic processes on different scales. Using annual wind diagrams and pictures of temporal wind variability, as well as air and water monthly temperature (observation time every 3 hours), periods of prolonged wind forcing (during several months and during 1–2 decades of every month) are distinguished. Role of the winds of SE bearings with high repeatability during several months in forming of the vertical water structure of coastal zone is demonstrated. Analysis of the results of the experimental data acquired in 2010–2014 (research vessel “Ashamba”) has shown that during stable winds of SE bearings advection of cold intermediate waters from the area of their formation (central divergence zone) to the coastal zone becomes stronger.

Keywords: synoptic atmospheric processes, duration of wind forcing, interaction between sea and atmosphere, winds of major bearings, warm years, cold years, climatic fluctuations of wind direction, hydrological structure of water, circulation.

doi:10.15356/0373-2444-2016-1-74-86