

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ
(ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 2001–2010 ГГ.)**

© 2013 г. С.В. Жукова, В.М. Шишкин, А.П. Куронаткин, Л.А. Лутынская,
И.Ф. Фоменко, Т.И. Подмарева, Д.С. Бурлачко, В.Г. Карманов

Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства,

Ростов-на-Дону, 344002

E-mail: svezho51@gmail.com

Поступила в редакцию 14.10.2013 г.

На основании данных экспедиционных исследований акватории северо-восточной части Черного моря за 2001–2010 гг., а также данных опорной сети Росгидромета выявлены некоторые особенности современного гидрометеорологического режима.

Ключевые слова: температура воды, соленость, прозрачность, цвет воды, многолетний период.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность воспроизводства ценных видов рыб в Черном море зависит от условий их обитания. Наиболее важными абиотическими факторами, воздействующими на среду обитания гидробионтов, являются температура, соленость, прозрачность воды и ветер. Анализ изменчивости перечисленных параметров за десятилетний период 2001–2010 гг. позволил установить ряд особенностей в пространственном и временном аспектах.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Ежегодное изучение гидрометеорологического режима российского сектора Черного моря осуществляется ФГУП «АзНИИРХ» с 1994 г. в двух комплексных экспедициях: весной (май) и в переходный период от лета к осени (август–сентябрь). Выбор сроков проведения исследований обусловлен необходимостью учета сезонных особенностей развития биологических сообществ, а также объективными возможностями организации экспедиций.

В основу работы положены данные двадцати комплексных экспедиций (продолжительностью 12–15 сут. каждая), проведенных в 2001–2010 гг. Исследования проводились на 25 станциях (рис. 1). Из них 18 расположены в прибрежной части, а 7 – на глубинах до 1500 м. Определение температуры воды по вертикали и отбор проб воды на соленость производили на семи горизонтах (поверхность, 5 м, 10 м, 20 м, 50 м, 100 м, 200 м). При выполнении гидрологического мониторинга среды обитания водных биологических ресурсов использовали следующие приборы и оборудование: СТД-зонд, измеритель направления, скорости течения, глубины и температуры воды «Вектор-2», белый диск (для определения прозрачности воды), шкалу цветности (для определения цвета воды), эхолоты (в том числе судовые GPS) и др. Состояние поверхности моря (волнение) оценивали визуально.

Соленость воды определяли СТД-зондом, параллельный контроль данных осуществляли в лабораторных условиях аргентометрическим методом.

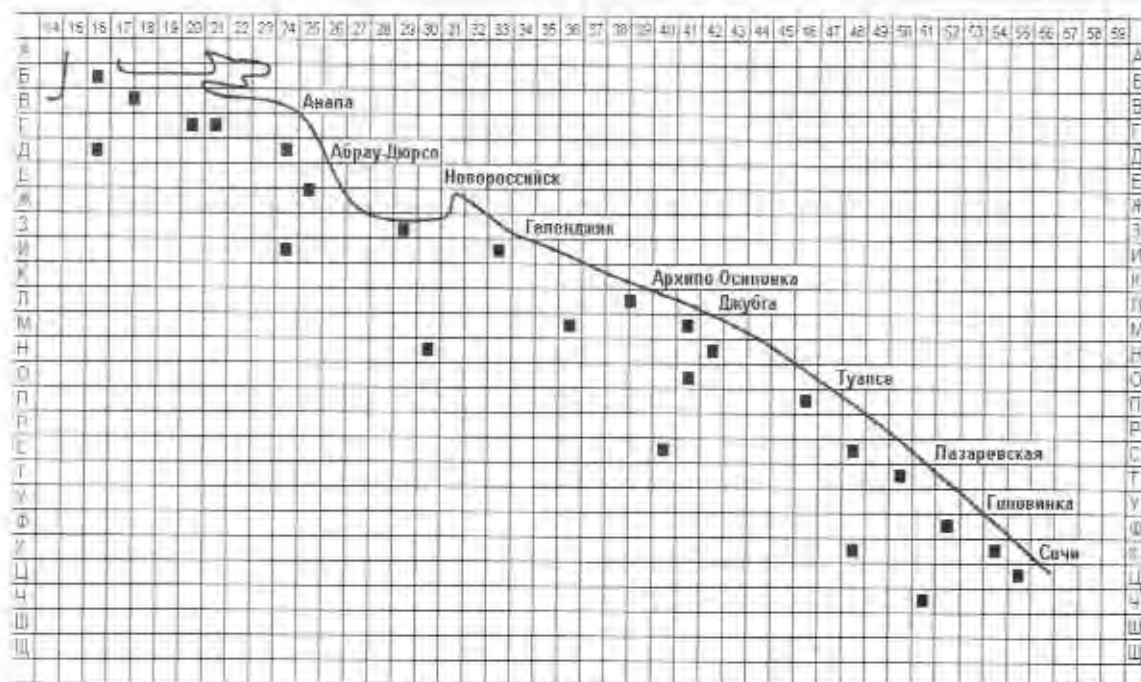


Рис.1. Схема расположения стандартных станций северо-восточной части Черного моря.
Fig. 1. Scheme of standard stations of the north-eastern Black Sea.

Для проведения анализа гидрометеорологического режима в годовом и многолетнем аспектах привлекались также данные морских гидрометеорологических станций (МГ) г. Новороссийск и г. Сочи. Данные наблюдений опорной сети представлены соответственно договорам с подразделениями Северо-Кавказского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Из комплекса климатообразующих факторов, обуславливающих развитие гидрологического режима в Черном море, первостепенное значение имеют температура воздуха и ветер, определяющие ход развития динамических и гидрофизических процессов, формирующихся в современный период, как известно, на фоне потепления климата.

Анализ изменчивости значений среднемесячных и среднегодовых температур воздуха по данным МГ г. Новороссийск за период 1981–2010 гг. позволил оценить масштабы роста температуры воздуха. Согласно полученным уравнениям, темпы роста среднемесячных (январь–декабрь) и среднегодовых значений температуры воздуха составляли примерно $0,008\text{--}0,01^\circ\text{C}$ в год. Из приведенных уравнений трендов за месяцы, в периоды которых проводились экспедиционные исследования черноморской акватории, очевидно, что более высокими темпами повышения температур характеризовался август (табл.1).

Рост среднемесячных значений температуры воздуха отчетливо прослеживается при сравнении этих показателей исследуемого (2001–2010 гг.) и многолетнего (1981–2000 гг.) периодов (рис. 2). Во внутригодовом распределении среднемесячных температур, а также в среднегодовых значениях отмечается положительная

Таблица 1. Уравнения трендов температуры воздуха, по данным морской гидрометеорологической станции г. Новороссийск, за период 1981–2010 гг.

Table 1. Air temperatures averaged by months over 1981–2010, data are given by Novorossiisk hydrometeorological service

Месяц	Вид уравнения	Достоверность аппроксимации
Май	$y = 0,008x + 15,6$	0,05
Август	$y = 0,01x + 23,3$	0,07
Сентябрь	$y = 0,008x + 18,8$	0,03

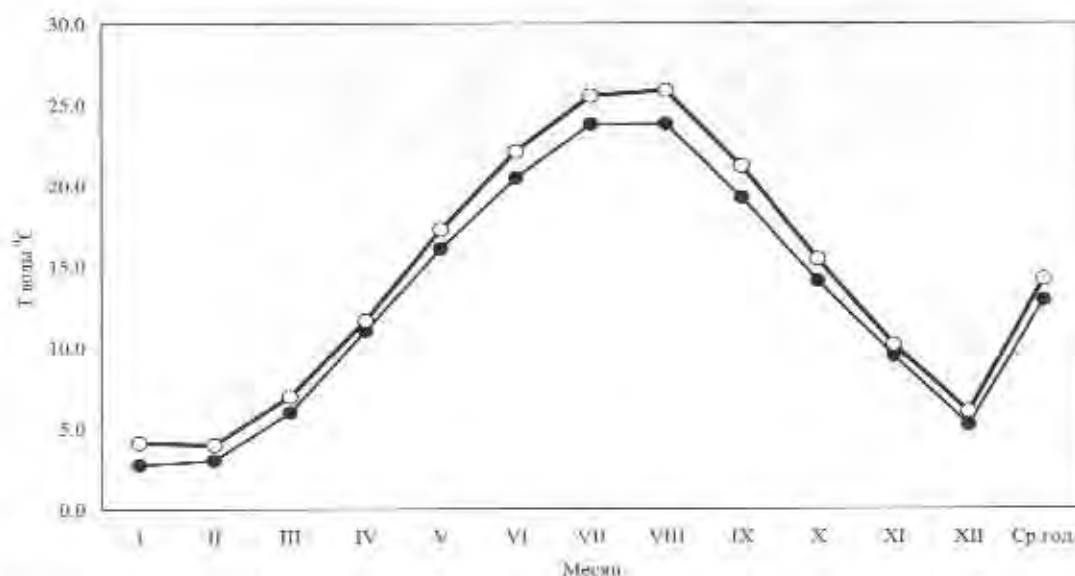


Рис. 2. Внутригодовое распределение среднееголетних значений температуры воздуха в 1981–2000 (•••) и в 2001–2010 гг. (---o---) по данным морской гидрометеорологической станции г. Новороссийск.

Fig. 2. Intra-annual distribution of average annual air temperature values over the periods 1981–2000 (•••) and 2001–2010 (---o---) data by Novorossiisk hydrometeorological service.

аномалия, достигающая максимума, равного $2,3^{\circ}\text{C}$, в августе. Аналогичное сравнение среднемесячных значений температуры воды с нормой показало, что наибольшей положительной аномалией ($2,2^{\circ}\text{C}$) характеризовались значения за февраль и октябрь, июльское значение оказалось на уровне нормы, а среднемесячная температура в мае за период 2001–2010 гг. была на $0,3^{\circ}\text{C}$ ниже нормы.

В «поле» температур за период 2001–2010 гг., представленном с интерполяцией среднемесячных значений через 1°C , также прослеживается потепление воды (рис. 3). Так, на уровне 2001 г. на отрезке времени от мая к июню отмечалось повышение температуры на 7°C , а на уровне 2010 г. за этот же период приращение температуры воды составляло уже 11°C . Темпы осеннего охлаждения от октября к ноябрю в 2001 г. составляли 9°C , а в 2010 г. – только 7°C . Визуально расширился диапазон изменения температуры в пределах $21\text{--}28^{\circ}\text{C}$, отмечаемый, например, на уровне 2007 и 2010 гг. в период с третьей декады июня по вторую декаду октября.

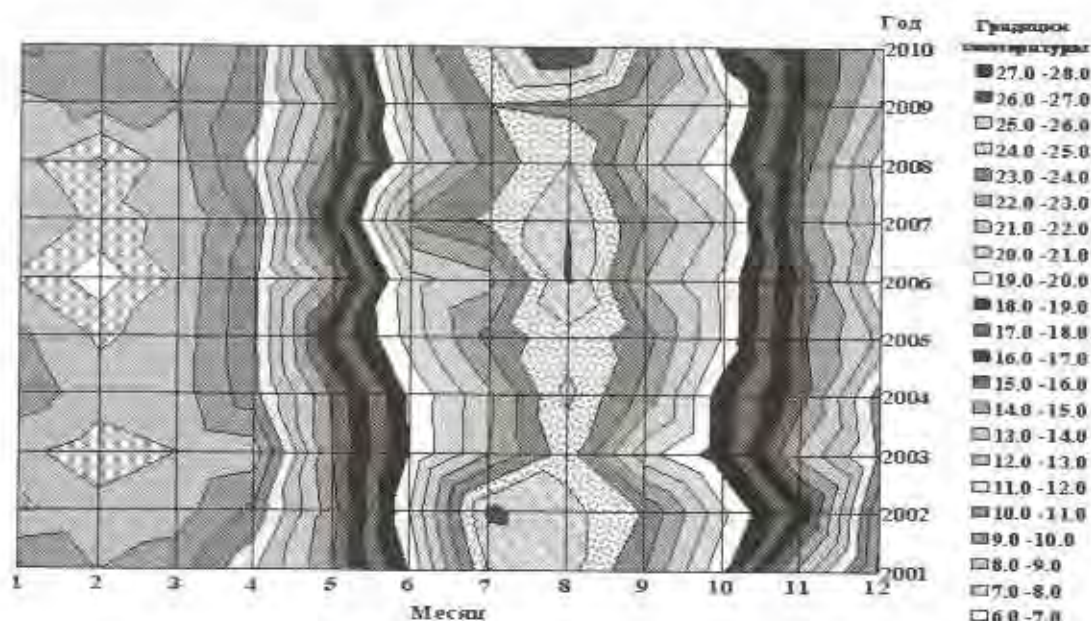


Рис. 3. Термическая структура водной поверхности в период 2001–2010 гг. по данным морской гидрометеорологической станции г. Новороссийск.

Fig. 3. Temperature on the water surface in 2001–2010, data by Novorossiisk hydrometeorological service.

Испытание на тренд наблюдений за этот же период прибрежных гидрометеорологических станций также указывает на тенденцию к росту температуры воды. Так, за весенний период (апрель и май) тренды по данным МГ г. Сочи составляли соответственно $0,02$ и $0,03^{\circ}\text{C}$ в год, по МГ г. Новороссийск – $0,02$ и $0,09^{\circ}\text{C}$ в год.

Ветровой режим в летний и осенний сезоны на побережье северо-восточной части Черного моря в целом (за последние десять лет) характеризовался депрессией. По данным прибрежных МГ (Сочи и Новороссийск), за рассматриваемый период отмечалось преобладание северо-восточного переноса воздушных масс, составившее, например, за зимний период в районе Новороссийска 29%. Весной и летом в районе Сочи отмечалось существенное влияние западных и южных ветров (16–19%). Осредненные по сезонам скорости ветра составляли 3–6 м/с.

По данным экспедиционных наблюдений, за исследуемый период в термическом режиме северо-восточной части акватории максимальные показатели тренда ($+0,76^{\circ}\text{C}$ в год) отмечались на поверхностном горизонте. На глубине 10 м значение тренда снижалось до $+0,43^{\circ}\text{C}$, на горизонте 20 м – до $+0,14^{\circ}\text{C}$ в год. В более глубоких слоях водной толщи (30–50 м) темпы роста температур возрастали на $0,01$ – $0,10^{\circ}\text{C}$ в год. Подобная тенденция отмечена и при анализе данных экспедиционных исследований летне-осеннего периода. Так, тренд в колебаниях средней температуры воды поверхностного слоя составил $+0,17^{\circ}\text{C}$, на глубине 10 м – $+0,14^{\circ}\text{C}$, а на 30-метровом горизонте – $+0,41^{\circ}\text{C}$ в год. В межгодовой динамике изменения температуры водной среды на отрезке последних десяти лет проявились более быстрые (по сравнению с нормой) темпы прогревания водной среды

в весенний период и замедленные темпы осеннего охлаждения. Тенденция к повышению температуры прослеживается, в первую очередь, в верхнем деятельном слое (ВДС) моря.

При анализе внутрирядной статистической тесноты связи по станциям в летне-осенний сезон периода 2001–2010 гг. было выявлено, что самая тесная корреляционная зависимость проявилась между данными по температурам воды, наблюдаемым в 2006 и 2007 гг. ($r = 0,75$). Крайне низкий коэффициент корреляции выявлен между данными температурных составляющих 2005 и 2006 гг. ($r = 0,08$). Исследования меры тесноты статистической связи по горизонтам обнаружили высокую степень связи данных поверхностного и 10-метрового горизонтов ($r = 0,99$), что указывает на синхронность прохождения термических процессов в слое 0–10 м. Случайность полученного коэффициента составляла 0,1%. Разрушение синхронности (или ее ослабление) отмечено по результатам корреляционного анализа между температурами горизонтов 30 и 50 м (до $r = 0,45$). Значение полученного коэффициента корреляции здесь оценивается большей степенью случайности (16%).

Корреляционный анализ данных среднемесячной температуры воды по наблюдениям МГ г. Новороссийск и средней температурой ВДС исследуемой акватории указывает на наличие достаточно тесной связи между этими параметрами (коэффициент корреляции $r = 0,70$). Уравнение зависимости средней температуры воды ВДС северо-восточной части Черного моря (y) от среднемесячной температуры МГ г. Новороссийск (x), например для летне-осеннего периода, имеет вид: $y = 0,67x + 8,22$.

В пространственной структуре температурных полей северо-восточной части Черного моря выделяется характерная особенность – наклон изолиний в сторону берега. Такая структура связана с кинематическим подъемом водных масс в центральной зоне дивергенции (в центрах квазистационарных циклонических круговоротов), опусканием вод на периферии круговоротов (вблизи берегов) и циклоническим (горизонтальным) движением вод, при котором происходит их плотностная дифференциация. Поэтому температура воды в верхнем слое, расположенном выше оси холодного промежуточного слоя (ХПС), при удалении от берега в глубь моря уменьшается, а во всей остальной толще вод, расположенной глубже оси ХПС, – возрастает. Эта закономерность характерна для осредненного за период 2001–2010 гг. распределения температур (рис. 4). В среднем за весенний сезон 2001–2010 гг. температура поверхности воды (ТПВ) изменялась от 14 до 19°C, возрастая, как правило, в мелководных районах (район Керченского предпроливья, устьевые области рек), а также в направлении от мористых районов к береговой черте. По мере заглубления вариабельность температуры снижалась. На горизонтах 20 м и 30 м амплитуда колебания температуры воды соответственно составляли около 4 и 3°C.

В летне-осенний период наибольшим прогревом отличались водные массы юго-восточного района, расположенного в зоне субтропического климата. Диапазон колебания ТПВ составлял в среднем 4,1°C. На глубине 20 и 30 м амплитуда колебания температуры возрастала, составляя соответственно 6 и 10°C.

Сезонные изменения температуры захватывали лишь верхний слой водной толщи. На глубинах 50–80 м вода в течение всего года имела температуры, харак-

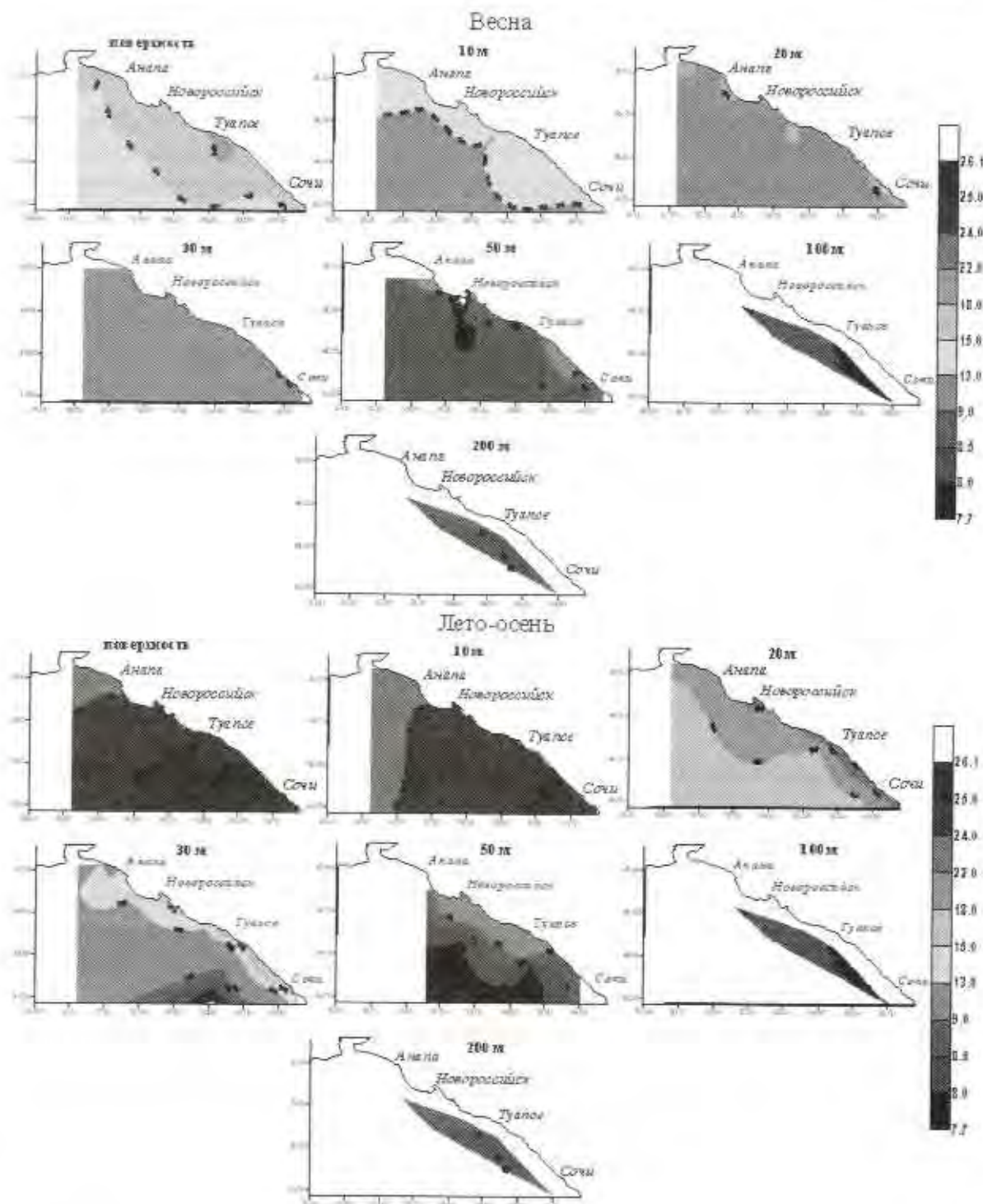


Рис. 4. Пространственное распределение температуры воды северо-восточной части Черного моря по средним значениям весеннего и летне-осеннего периодов 2001–2010 гг.

Fig. 4. Spatial distribution of water temperature in the north-eastern Black Sea (average values in spring and summer-autumn, 2001–2010).

терные для холодного промежуточного слоя (менее 8°C). Начиная с глубин 90–100 м температура воды медленно повышалась, достигая $+9^{\circ}\text{C}$ на глубине 200 м. Указанные закономерности отражены вертикальным распределением температуры воды по горизонтам (рис. 5). По данным вдольберегового разреза (включающего только глубоководные станции), температура воды деятельного слоя в весенний период 2001 г. не превышала $11,6^{\circ}\text{C}$, в то время как осенью в поверхностном слое отмеченные максимальные значения были выше 26°C . В слое водной толщи, ограниченном глубинами от 20 до 100 м, амплитуда колебания температуры воды в весенний период составляла 2°C , а в летне-осенний – около 5°C .

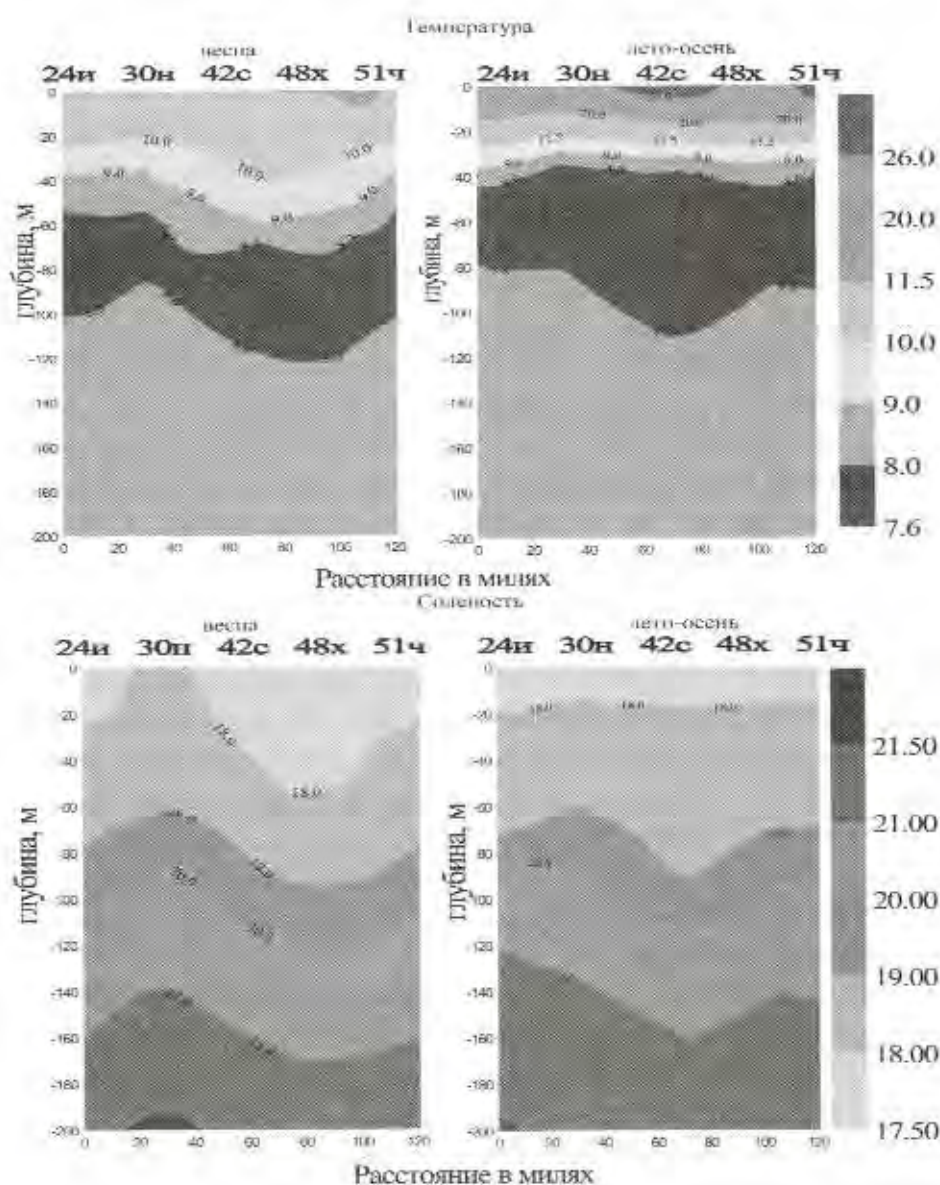


Рис. 5. Распределение температуры и солености на вдольбереговом разрезе северо-восточной части Черного моря весной (апрель 2001 г.) и в летне-осенний период (август-сентябрь 2004 г.).

Fig. 5. Distribution of water temperature and water salinity along the coast transect in the north-eastern Black Sea in spring (April of 2001) and summer-autumn season (August-September of 2004).

В отдельных случаях на прибрежных станциях с глубинами менее 30 м отмечалась обратная стратификация, обусловленная особенностями осеннего охлаждения водных масс. Помимо этого указанные закономерности нередко нарушались явлениями апвеллинга, особенно проявившимися в июле 2004 г., когда при температуре воздуха, равной 26°C , и скорости северо-восточного ветра, достигающей 17 м/с, температура воды в прибрежных районах Анапы и Новороссийска составляла $15-16^{\circ}\text{C}$, в то время как в юго-восточной части акватории моря температура поверхностного слоя воды изменялась в диапазоне $23-27^{\circ}\text{C}$.

Анализ термической структуры полсей по значениям среднееголетних значений градиентов в весенний и летне-осенний периоды выявил, что наиболее высокие градиенты формировались на глубине 10 м, составляя $0,42^{\circ}\text{C}/\text{м}$. В летне-осенний период слой температурного скачка располагался на отметках глубин, близких к 30 м.

Рассматривая данные по аналогично осредненным значениям солености в весенний и летне-осенний периоды, следует отметить, что общая закономерность роста солености с глубиной присутствовала в вертикальной структуре вод и в первом, и во втором случаях. Несколько большей соленостью, за исключением горизонта 100 м, характеризовались водные массы в летне-осенний период. Особенно отчетливо это проявилось на поверхности и горизонте 200 м, где превышение солености относительно весеннего сезона составило 0,60 и 0,83‰ соответственно.

Общей закономерностью в пространственном распределении солености является ее повышение с северо-запада на юго-восток, а также понижение на устьевых взморьях черноморских рек, особенно в периоды прохождения паводков (рис. 6). В отдельные годы исследуемого периода имели место случаи иного пространственного распределения, когда максимальные значения солености отмечались в северо-восточной части акватории, что было обусловлено особенностями режима течений. Средняя соленость за весенний период колебалась от 17,19 до 19,34‰, в летне-осенний период – от 17,79 до 20,17‰.

В распределении солености по вертикали (на глубоководных станциях) обнаруживается значительная стратифицированность водной толщи, нарушаемая в отдельных случаях (весна 2001 г.) выходом на поверхность вод, имеющих соленость выше 18‰ (рис. 5). Изучение изменчивости осредненных за десятилетний период градиентов солености позволило заключить, что в весенний период наблюдалось заметное превышение их значений по сравнению с показателями летне-осеннего периода. Особенно это проявилось на горизонте 10 м, где превышение градиента составило $0,029\text{‰}/\text{м}$.

Изменение среднего значения прозрачности воды в весенний период 2001–2010 гг. происходило в диапазоне от 4,4 (2004 г.) до 8,4 м (2002 г.), в осенний – от 7,6 м (2007 г.) до 12,1 м (2010 г.). Минимальные значения прозрачности отмечались в сугубо прибрежной полосе исследуемого района, а максимальные – в мористых его районах. Цвет воды в исследуемый период варьировал в среднем от 6 (зеленовато-голубой оттенок шкалы цветности) до 8 (голубовато-зеленый оттенок).

В заключение необходимо отметить, что описанный рост температуры водной среды, связанный с потеплением климата, способствовал увеличению продолжительности вегетационного периода развития фито- и зоопланктонных сообществ, что в целом позитивно сказалось на формировании биологической

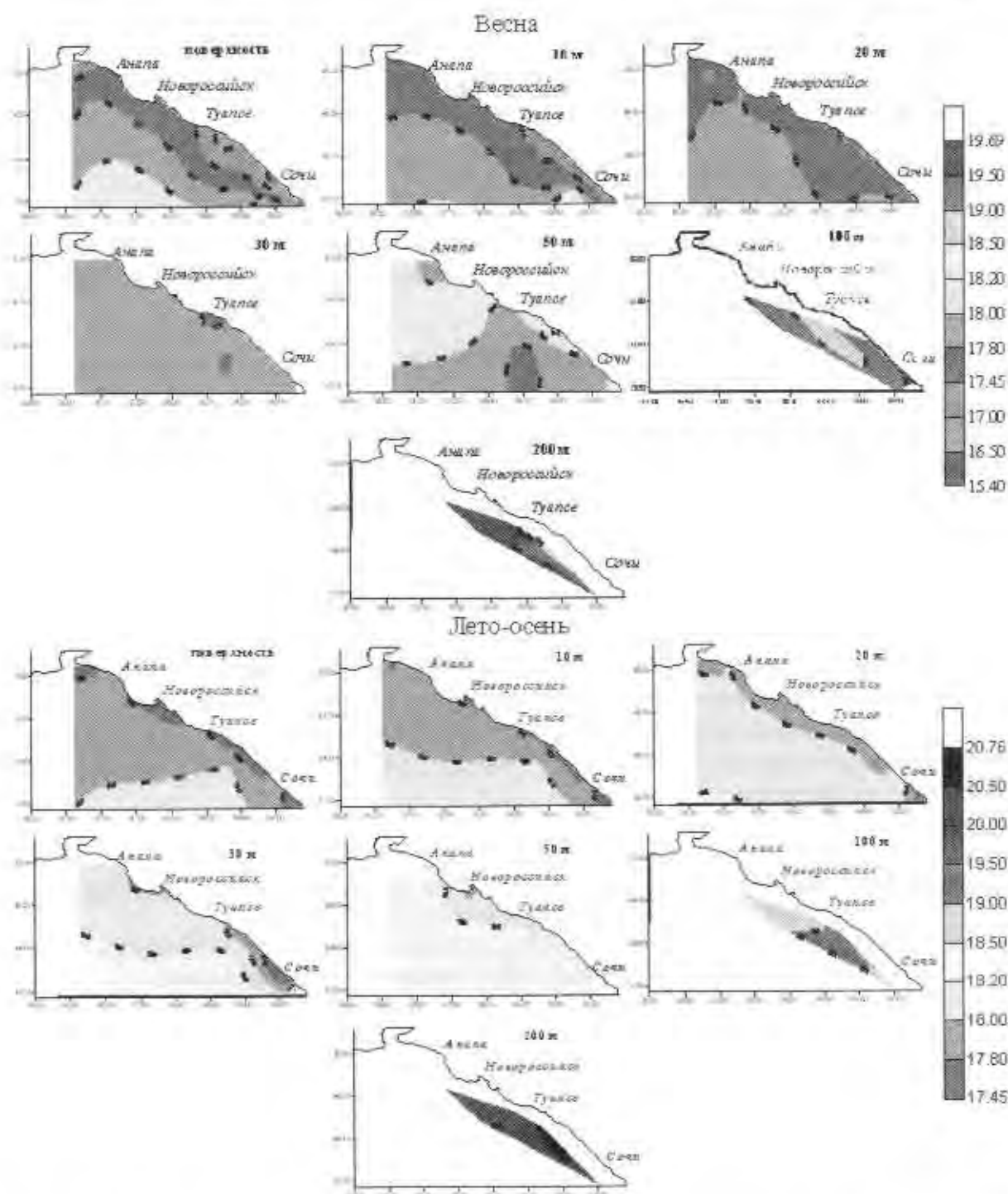


Рис. 6. Пространственное распределение солёности воды северо-восточной части Чёрного моря (по средним значениям весеннего и летне-осеннего периодов 2001–2010 гг.).

Fig. 6. Spatial distribution of water salinity in the north-eastern Black Sea (average values in spring and summer-autumn season, 2001–2010).

продуктивности моря. Наряду с этим отмечаются и негативные последствия потепления. Например, в 2013 г. установлено, что в весенний и летний периоды вследствие интенсивного прогрева водной толщи произошло существенное заглубление изотермы 12°C. Согласно полученному нами уравнению:

$$T = -0.226 H + 14.82 \quad (r = -0.96),$$

где T – температура воды, °C; H – глубина, м, – изотерма 12°C в пределах исследуемой акватории уже в конце мая 2013 г. достигала глубины 12 м, что могло стать причиной оттеснения косяков относительно холодолюбивого шпрота в более мористые районы, затрудняя его промысел.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные исследования позволяют заключить, что при формировании термогалинной структуры северо-восточной части Черного моря за период 2001–2010 гг., происходящем на фоне потепления климата и существенной депрессии ветровой деятельности, проявились более высокие темпы роста теплонакопления в весенний период и замедленные (по сравнению с нормой) выхолаживания в осенний период. Выявленные (как по экспедиционным, так и по данным опорной сети Росгидромета) тенденции в наибольшей степени относятся к верхнему деятельному слою исследуемой акватории Черного моря.

Указанные пределы изменения прозрачности и цвета воды не выходили за рамки традиционных представлений о вариабельности этих параметров.

С точки зрения формирования биологической продуктивности моря, а также организации промысла, факт роста температуры воды имеет как положительные, так и отрицательные стороны.

HYDROMETEOROLOGICAL REGIME OF THE NORTH-EASTERN BLACK SEA (BY RESULTS OF SURVEYS OF 2001–2010)

© 2013 y. S.V. Zhukova, V.M. Shishkin, A.P. Kuropatkin, L.A. Lutynskaya,
I.F. Fomenko, T.I. Podmareva, D.S. Burlachko, V.G. Karmanov

Azov Fisheries Research Institute, Rostov-on-Don, 344002

The materials of research surveys undertaken in the Black Sea in 2001–2010 as well as the data of Russian hydrometeorological service have allowed us to reveal some specific features of the present-day hydrometeorological regime.

Keywords: water temperature, salinity, transparency, water color, long-term period.