



УДК 551.46

© 2010

С. Г. Демьшев, академик НАН Украины В. А. Иванов, Н. В. Маркова

## Особенности глубинной климатической циркуляции Черного моря

*Проведено аналіз кліматичних полів температури і течій Чорного моря нижче основного пікнокліна. Встановлено, що в порівнянні з навколишніми водами в антициклонічних вихорах формуються області більш холодної води, а в циклонічних — більш теплої. Під Севастопольським антициклоном нижче 500 м спостерігається циклонічний кругообіг. Було виявлено глибинну струменеву течію, що починається в районі кримського узбережжя, направлена проти Основної чорноморської течії та продовжується вздовж континентального схилу до району м. Батумі.*

Промышленная разработка ресурсов Черного моря и прибрежных его территорий, транспортировка различных грузов требуют экологического мониторинга и прогноза состояния морской среды. Поэтому существует необходимость в информации о вероятной гидродинамической ситуации в различных частях моря и на различных глубинах. Использование только архивных массивов данных измерений (без привлечения моделей динамики) не позволяет восстановить трехмерное поле течений и непрерывную по времени и в пространстве картину изменчивости гидрофизических полей.

В работах [1, 2] была предложена процедура построения непрерывных климатических полей Черного моря, основанная на ассимиляции архивных среднемесячных климатических полей температуры и солености в трехмерной нелинейной модели [3]. На ее основе получен модельный климат Черного моря и частично проведен его анализ [4, 5]. В настоящей работе представлены результаты исследования особенностей глубинной климатической циркуляции Черного моря.

**Постановка задачи.** Решалась система уравнений в приближении Буссинеска и несжимаемости морской воды, которая включала полные уравнения движения, неразрывности и гидростатики, уравнения адвекции-диффузии тепла и соли с учетом ассимиляционного слагаемого. Подробно уравнения модели, краевые условия, параметры и метод решения задачи изложены в статье [4].

При постановке задачи на поверхности моря учитывались ветер, потоки тепла, осадки, испарение, на боковых границах — проливы Босфор и Керченский, а также реки Дунай,

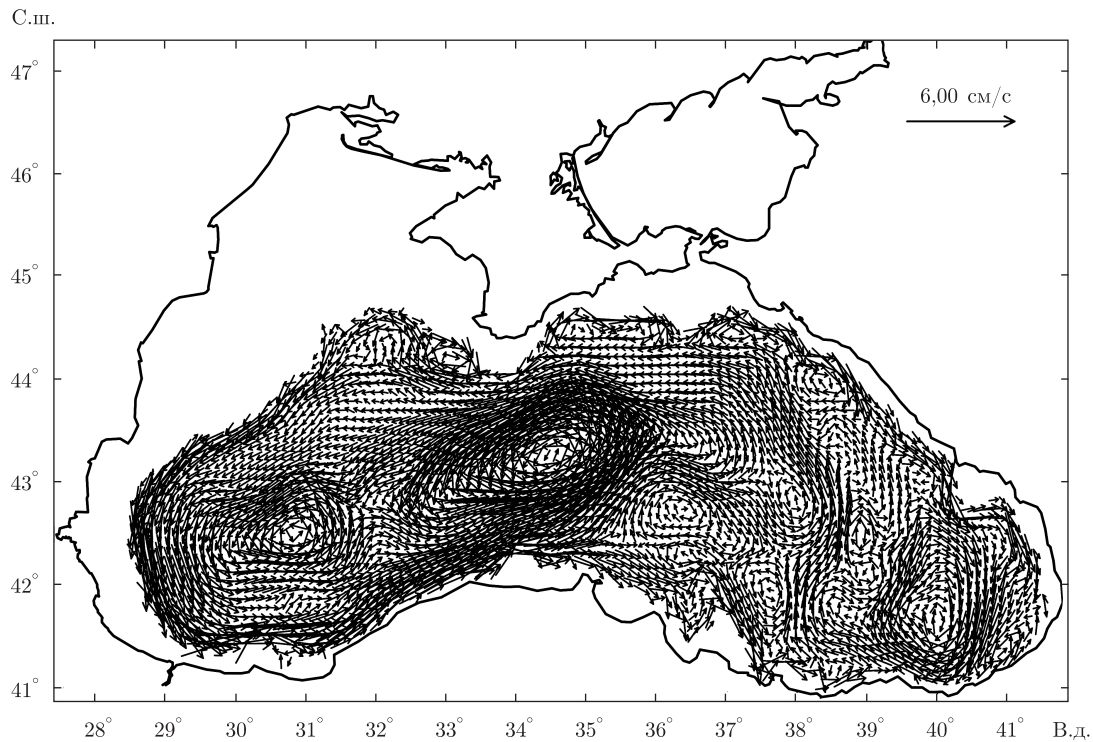


Рис. 1. Поле течений на горизонте 500 м (рассчитанное на 6 марта)

Днепр, Днестр и реки турецкого и кавказского побережий. Расчеты проводились на горизонтальной сетке  $5 \times 5$  км; по вертикали были использованы 45 горизонтов со значениями глубин от 2,5 до 2100 м; параметры модели выбирали по результатам специализированных численных экспериментов.

**Результаты численного эксперимента.** В эволюции поля приведенного уровня наблюдаются сезонные осцилляции [2, 4]. В зимний период восточный круговорот более мощный, чем западный, и в продолжение весны ослабевает, западный круговорот к лету становится сильнее восточного. В это же время развивается Батумский антициклонический вихрь, который ослабевает к осени и наименее интенсивен зимой. Сезонные колебания обусловлены изменчивостью поля ветра и взаимодействием Основного черноморского течения (ОЧТ) и Батумского антициклона, развитие которого обеспечивается притоком энергии от ОЧТ. Полученный результат подтверждается анализом доступных данных наблюдений по Черному морю [6].

В верхнем слое моря наряду с крупномасштабным круговоротом формируются синоптические вихри, расположенные около берегов Крыма (Севастопольский антициклон) и восточной части Анатолийского побережья (Батумский антициклон). Вдоль восточной части Анатолии в зимний период образуется цепочка мезомасштабных вихрей, которые перемещаются на восток между ОЧТ и берегом и, достигая юго-востока Черного моря, взаимодействуют с Батумским антициклоном.

На глубинах ниже 300 м формируются синоптические и мезомасштабные вихри различного знака завихренности. В качестве примера рис. 1 иллюстрирует поле течений на горизонте 500 м. В центральной части моря располагается циклонический вихрь диаметром 100–110 км со скоростями до 6 см/с, в центре западной половины бассейна — циклон мас-

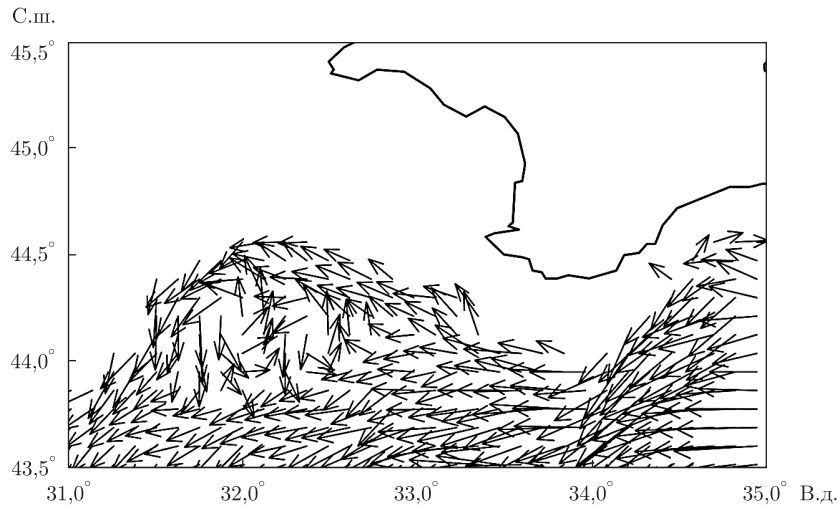


Рис. 2. Циклонические вихри на горизонте 900 м, к юго-западу от Севастополя (рассчитанные на 15 января)

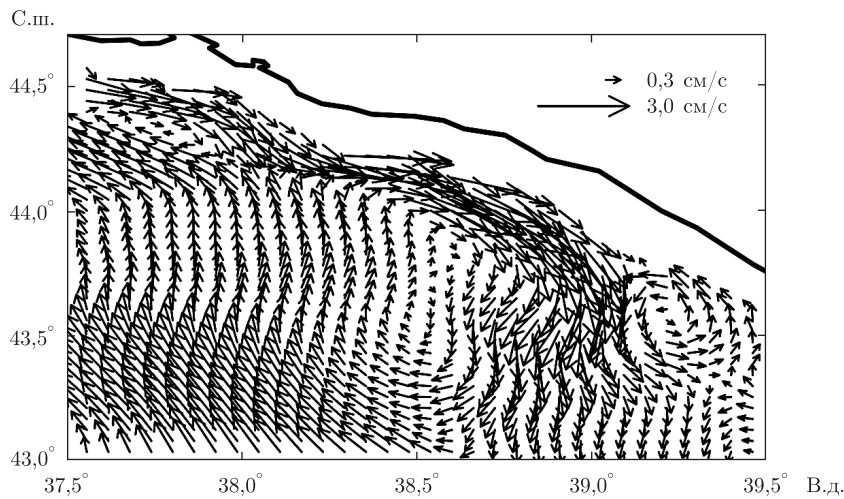


Рис. 3. Течение на горизонте 350 м в районе г. Геленджик (рассчитанное на 15 июня)

штаба 70–90 км, в восточной части моря наблюдаются Батумский антициклон 100–120 км и ряд мезомасштабных вихрей.

Необходимо отметить некоторые особенности глубинных течений: под Севастопольским антициклоном на горизонтах 450–550 м происходит смена знака вращения, ниже 500 м формируется зона циклонической завихренности (рис. 2).

Глубже 300 м в поле скорости обнаружено струйное течение, которое наблюдается в марте–июле и направлено вдоль свала глубин против ОЧТ. Оно возникает в районе восточного берега Крыма и распространяется затем вдоль кавказского побережья. Скорости в стрежне этого течения достигают 8 см/с, что в несколько раз превышает величины скоростей окружающих вод. В районе г. Геленджик течение наблюдается в слое 300–350 м (рис. 3) и имеет ширину до 20 км. Анализ вертикальных скоростей показал, что в районе г. Туапсе, при пересечении приблизительно 44-й параллели, течение заглубляется до 1200–1400 м, распространяясь в юго-восточном направлении и достигая района г. Батуми.

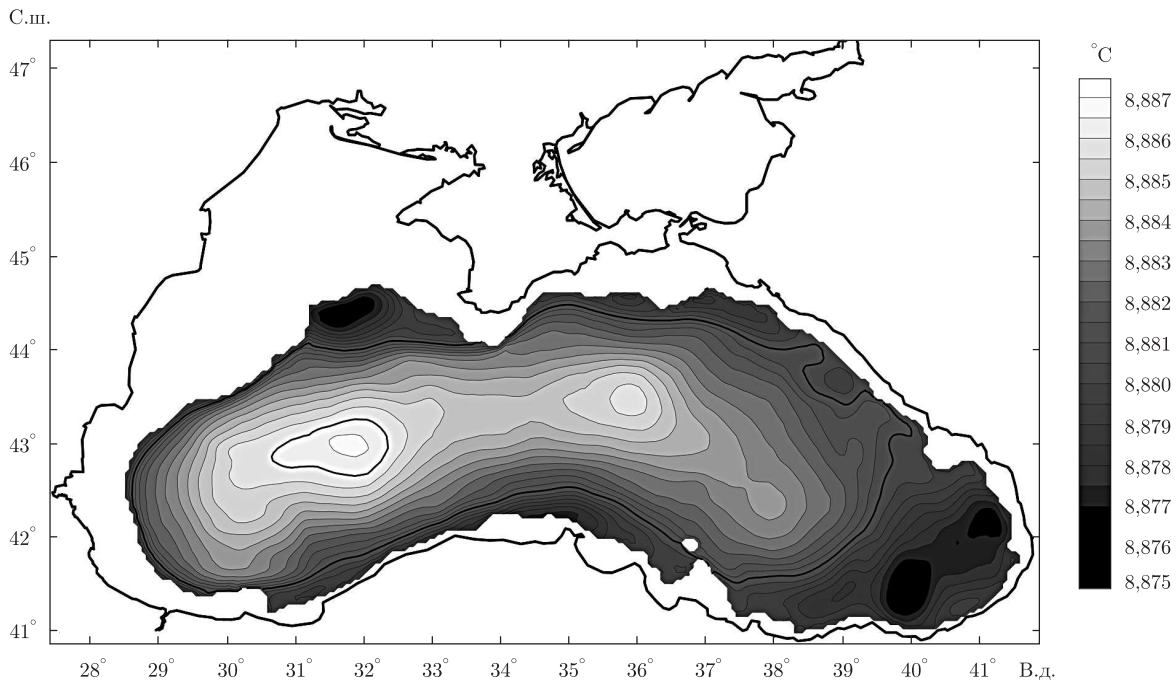


Рис. 4. Поле температуры на горизонте 500 м (рассчитанное на 6 марта)

Характерной особенностью структуры поля температуры ниже 350 м является ее распределение в синоптических вихрях. В центральной части антициклонических круговоротов она ниже температуры окружающих вод, в циклонических — картина обратная (рис. 4). Такой эффект наблюдается в вихрях в районах г. Геленджик (с января по май), г. Сочи (с января по август) и к западу от г. Севастополь (весь год на горизонтах 300–500 м и в зимне-весенний период на глубине 1000 м). К юго-востоку от Крыма на горизонте 1000 м в феврале и марте в области циклонического вихря отмечается теплая вода, с августа по ноябрь в этом районе в поле скоростей имеет место зона антициклонической завихренности, внутри которой показатели температуры ниже температуры окружающих вод. В юго-восточной области моря в течение года наблюдались холодные антициклонические вихри.

Упомянутая выше структура поля температуры в вихрях на глубинных горизонтах объясняется важной особенностью ее поведения в Черном море ниже холодного промежуточного слоя (ХПС). Температура на этих горизонтах повышается с глубиной. Поэтому по сравнению с окружающими водами в антициклонических вихрях формируются области более холодной воды, в циклонических — более теплой.

В результате анализа модельного климата Черного моря ниже основного пикноклина получены новые особенности в полях температуры и течений.

Под Севастопольским антициклоном наблюдается область циклонического вращения вод, которая формируется на глубинах ниже 500 м.

В период с марта по июль вдоль крымского и кавказского побережий отмечается узкое струйное глубинное течение, которое направлено против ОЧТ.

Ниже ~ 100 м (нижней границы залегания ХПС в Черном море) в антициклонических вихрях формируются области более холодных, в циклонических — более теплых по сравнению с окружающими вод. Такое распределение температуры обусловлено ее повышением с глубиной ниже ХПС.

Полученные особенности глубинной климатической циркуляции Черного моря являются результатом численных расчетов, и поэтому для их подтверждения или опровержения планируется проведение экспедиционных исследований.

1. Korotaev G. K., Demyshev S. G., Knysh V. V. Three-dimensional climate of the Black Sea. Black Sea Ecosystem Processes and Forecasting. Database Management System // Report at the Workshop and Project Evaluation Meeting: Material. conf., 15–18 May 2000, Istanbul. – Istanbul, 2000. – P. 1–20.
2. Knysh V. V., Demyshev S. G., Korotaev G. K., Sarkisyan A. S. Four-dimensional climate of seasonal Black Sea circulation // Rus. J. Numerical Anal. and Math. Model. – 2001. – **16**, No 5. – P. 409–426.
3. Демьшев С. Г., Коротаев Г. К. Численная энергосбалансированная модель бароклинных течений океана с неровным дном на сетке C // Численные модели и результаты калибровочных расчетов течений в Атлантическом океане. – Москва: Ин-т вычислит. математики, 1992. – С. 163–231.
4. Демьшев С. Г., Иванов В. А., Маркова Н. В., Черкесов Л. В. Построение поля течений в Черном море на основе вихреразрешающей модели с ассимиляцией климатических полей температуры и солености // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. – Вып. 15. – С. 215–226.
5. Демьшев С. Г., Иванов В. А., Маркова Н. В. Анализ климатических полей Черного моря ниже основного пикноклина, полученных на основе усвоения архивных данных температуры и солености в численной гидродинамической модели // Мор. гидрофиз. журн. – 2009. – № 1. – С. 3–15.
6. Туржилкин В. С., Косарев А. Н. Гидрология и динамика вод Черного и Каспийского морей // Водные массы океанов и морей. – Москва: МАКС-пресс, 2007. – С. 208–237.

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины, Севастополь

Поступило в редакцию 26.10.2009

**S. G. Demyshev, Academician of the NAS of Ukraine V. A. Ivanov, N. V. Markova**  
**Peculiarities of the abyssal climatic circulation of the Black Sea**

*The analysis of the Black Sea model climate temperature and currents below the main pycnocline is carried out. The following features are obtained. Anticyclonic vorticity areas are characterized by colder water, and cyclonic vorticity areas are characterized by warmer water. Such temperature effect can be explained by increasing the temperature with the depth below the Black Sea main pycnocline. A cyclonic rotation area is found to be below the Sevastopol anticyclone vortex. In the Gelendzhik coast area, a narrow stream is found out below 300 m.*