

Р.В.Боровская, Б.Н.Панов, Е.О.Спиридонова,  
Л.А.Лексикова, М.В.Кириллова

*Южный научно-исследовательский институт  
морского рыбного хозяйства и океанографии, г.Керчь*

### **ПРИБРЕЖНЫЙ ЧЕРНОМОРСКИЙ АПВЕЛЛИНГ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЕГО ИНТЕНСИВНОСТИ**

На основе данных спутниковых дистанционных зондирований получены характеристики апвеллинга в прибрежных водах Черного моря и выявлены периоды межгодовых колебаний его интенсивности. Показано, что между параметрами атмосферного переноса и интенсивностью апвеллинга существует достаточно тесная корреляционная связь с прогностическими возможностями. Исследовано влияние апвеллинга на показатели промысла шпрота.

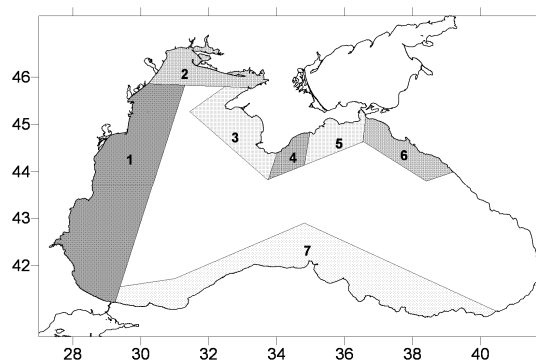
Прибрежный апвеллинг представляет собой наиболее исследованный и характерный вид локального подъема глубинных вод [1 – 3]. В Черном море, так же как и в других районах Мирового океана, возникновение апвеллинга обусловлено компенсационным притоком глубинных вод к берегу при оттоке поверхностных вод от берега вследствие сгонных ветров или течений. Подъемы вод определяют локальные изменения гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических процессов в поверхностном слое, которые способствуют росту его био- и рыбопродуктивности.

Очевидно, что наиболее полное представление об апвеллингах можно получить с помощью аэрокосмических методов исследований. Из известных нам публикаций наиболее изученными с помощью спутниковых данных представляются апвеллинги Балтийского моря [4 – 6]. Черноморские апвеллинги наиболее исследованы у Южного берега Крыма [7, 8], но использование материалов искусственных спутников Земли (ИСЗ) в этих работах ограничено.

Целью исследований, результаты которых изложены в данной работе, является определение закономерностей развития прибрежных апвеллингов в Черном море с привлечением данных ИСЗ и оценка влияния апвеллингов на рыбопродуктивность отдельных районов Черного моря.

В качестве основных материалов использовалась информация дистанционного зондирования Земли с ИСЗ серии NOAA в формате APT в инфракрасном и телевизионном диапазонах. Эти данные получены станцией приема и обработки спутниковой информации SU-8 (фирма «Furuno») в ЮгНИРО с 1988 по 2004 гг. Общее количество обработанных снимков составило 1964, на 1140 из них были отслежены апвеллинги. Дешифрирование зон подъема вод проводилось согласно существующим методикам [9, 10]. Обобщение и анализ материалов выполнен с учетом времени существования и степени развития апвеллингов по семи районам Черного моря, имеющим рыбохозяйственное значение: север и восток северо-западной части, западная часть, а также феодосийский, ялтинский, новороссийский и турецкий районы (рис.1).

© Р.В.Боровская, Б.Н.Панов, Е.О.Спиридонова, Л.А.Лексикова,  
М.В.Кириллова, 2005



Р и с . 1 . Районирование апвеллингов в Черном море: западный (1), север (2) и восток (3) северо-запада, ялтинский (4), феодосийский (5), новороссийский (6), турецкий (7).

Поиск апвеллингов велся постоянно, но в связи с тем, что в температурном поле поверхности моря они проявлялись наиболее четко с мая по сентябрь, особое внимание было уделено именно этому периоду.

На всех снимках и по каждому апвеллингу определялась наименьшая  $Ш_{min}$  и наибольшая  $Ш_{max}$  его ширина, протяженность  $П_{анв}$ , минимальная температура в центре апвеллинга  $T_{min}$  и температура окружающих его вод  $T_{окр}$ . Выделялись также

районы, где отмечалось распространение вод апвеллинга далеко в море. Для каждого апвеллинга рассчитывалась его площадь  $S_{анв}$  и условный показатель – «холодозапас»  $X_{зан}$  апвеллинга по формулам:

$$S_{анв} = Ш_{cp} \times П_{анв}, X_{зан} = (T_{окр} - T_{min}) \times S_{анв}$$

где  $Ш_{cp} = (Ш_{min} + Ш_{max})/2$  – средняя ширина зоны апвеллинга.

Затем рассчитывались среднемесячные величины площади и «холодозапаса». Для каждого района и параметра по всему набору данных определялись минимальные, средние и максимальные значения.

Также была выполнена оценка связи между среднемесячными значениями «холодозапаса», аномалиями температуры воды и промысловой нагрузкой (вылов за час траления) шпрота по крымскому рыбопромысловому району и району о.Змеиный отдельно для 2002 г. и 2003 г. Для крымского района использовались величины «холодозапаса» ялтинского, северного и восточного апвеллинга северо-западной части Черного моря и аномалии температуры поверхности моря в Одессе, Черноморском, Евпатории и Ялте. Для района о.Змеиный использовались величины «холодозапаса» западного апвеллинга и аномалии поверхностной температуры воды в Одессе.

По ряду температуры морской воды в порту Одесса рассчитывался условный показатель активности апвеллингов (ПАА).

ПАА определялся по формуле:

$$ПАА = \sum_{VI}^{IX} \Delta - \sum_{XII}^{II} \Delta,$$

где  $\Delta$  – аномалии среднемесячной температуры поверхности моря п.Одесса,  $\sum_{XII}^{II} \Delta$  – показатель снижения температуры вод в зимние месяцы. ПАА не является показателем теплового фона поверхности моря в летние месяцы, как  $\sum_{VI}^{IX} \Delta$ , а характеризует интенсивность подъема вод к поверхности в прибрежной зоне моря.

Для оценки характера атмосферной циркуляции использованы ежедневные значения приземного атмосферного давления (– 1000 мб) в узлах принятой нами стандартной сетки поля приземного атмосферного давления [11]. Каждое поле описывалось полиномом Чебышева. Из полученных коэффициентов разложения поля использовались следующие:  $A_{00}$  – физически

отражающий среднее значение поля,  $A_{10}$  и  $A_{01}$  – интенсивность атмосферного переноса по направлению юг – север и запад – восток соответственно при правой системе координат.

Ряды значений среднего «холодозапаса» для каждого района и среднего «холодозапаса» для всего моря коррелировались с соответствующими рядами показателя ПАА и коэффициентов разложения барического поля, осредненными по двум периодам: июнь – август и январь – июнь.

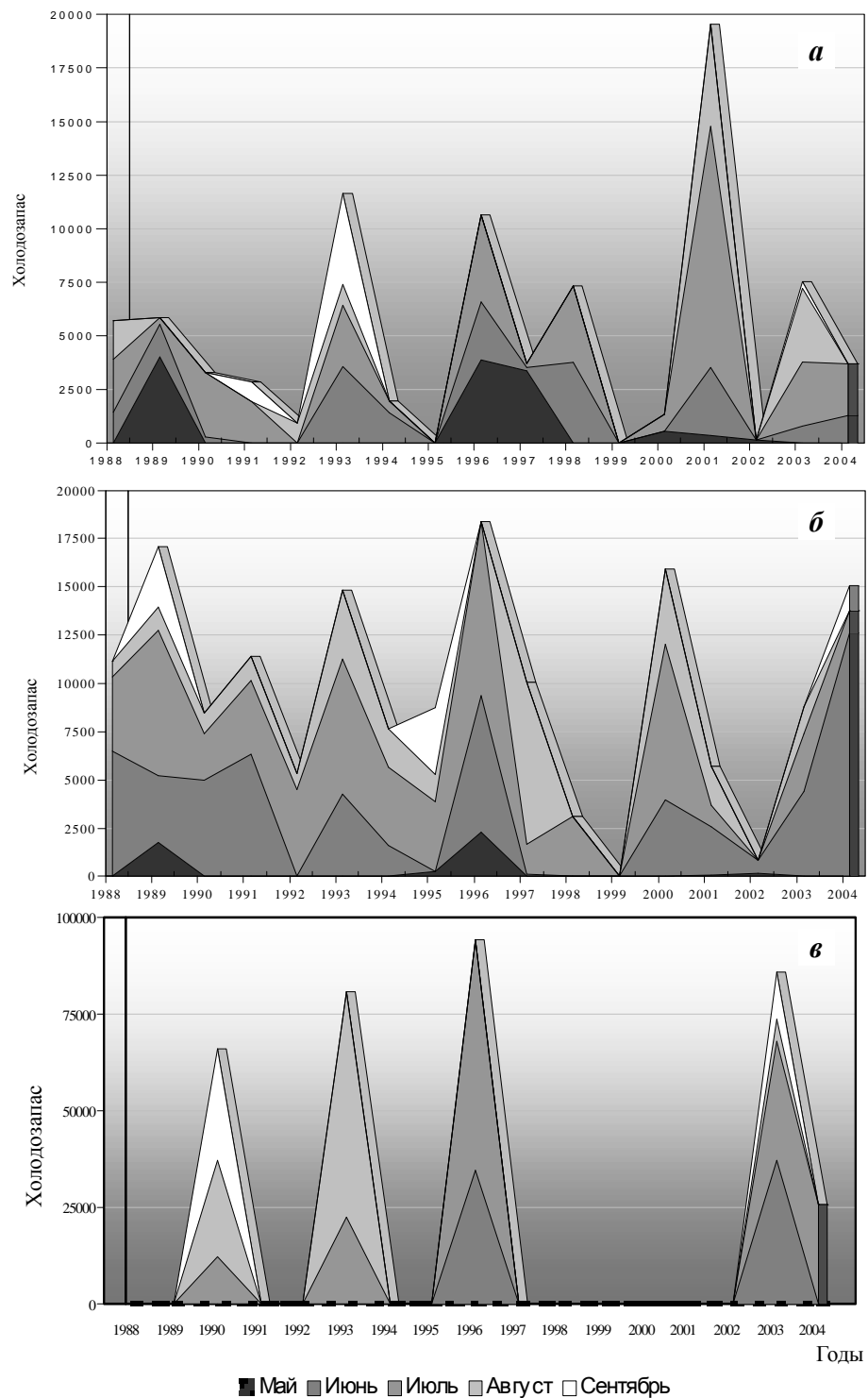
**Обсуждение результатов.** Механизм развития прибрежных апвеллингов по всему морю таков, что холодные воды появляются на поверхности сначала у берега, а затем распространяются в море.

Наиболее часто апвеллинги наблюдаются на северо-западе моря (рис.2). Отличительной особенностью этого района является наличие довольно широкого шельфа. Обширное мелководное пространство обуславливает быструю реакцию водной толщи на изменение ветров. Здесь зоны подъема вод прослеживаются от 1 до 18 дней в месяц. Максимальное их количество отмечается в отдельные годы (1988, 1989, 1990, 1991, 1993, 1996, 2004 гг.) в июле и достигает 10 – 18 дней в месяц. Гораздо реже зоны подъема вод отмечаются в районе Ялты, Феодосии, Новороссийска и особенно у берегов Турции. Для этих районов характерно отсутствие апвеллингов в отдельные годы. Частота их появления составляет 1 – 8 дней в месяц. Продолжительность непрерывного существования апвеллингов колеблется в пределах от 1 до 10 суток. Для северного и восточного района северо-западной части моря, а также турецкого апвеллинга максимальные величины составляют 8 – 10 дней; для западного, феодосийского и новороссийского 5 дней; для ялтинского 3 – 4 дня. Следует также отметить, что у берегов Турции в те годы, когда наблюдается апвеллинг, величины «холодозапаса» достигают наибольших значений по сравнению с другими районами. Исходя из этого, можно предположить достаточно значительную роль апвеллингов в этом районе в обогащении биогенными элементами поверхностного слоя вод всего Черного моря. Вторым по величине «холодозапаса» является апвеллинг северной части северо-западного региона моря. Наименьшие величины «холодозапаса» отмечаются в районе Новороссийска.

В пределах области существования апвеллинга отмечается пространственная неоднородность, определяющаяся в его общем усилении и в существовании так называемых «центров» апвеллинга. Чаще всего такие районы располагаются у берега. К ним относится северная часть Каркинитского залива, область вокруг м.Тарханкут и м.Инджебурун (Турция). Температура воды на поверхности в очагах подъема понижается в июле – августе до 7 °С. Максимальные различия температуры воды между центром апвеллинга и окружающими водами составляют 9 – 16 °С у берегов Турции и в северо-западной части моря и 7 – 8 °С у Новороссийска, Ялты и Феодосии.

Ширина полосы прибрежного апвеллинга в зависимости от периода развития колеблется в пределах от 2 до 90 миль. Наибольшая ширина распространения апвеллингов отмечается на востоке северо-западной части моря.

Протяженность распространения холодных вод также колеблется в больших пределах. На востоке северо-западного района, в районе Ялты и Феодосии наименьшая протяженность апвеллингов составляет 3 – 5 миль; на западе,



Р и с . 2 . Межгодовая изменчивость условного показателя «холодоза-  
 паса» апвеллингов у западных (*a*), восточных (*б*) берегов северо-  
 западной части и южных (*в*) берегов Черного моря.

севере северо-западной части моря и в районе Новороссийска 10 – 15 миль; у берегов Турции 40 миль. Наибольшая протяженность отмечается на западе северо-западной части и у берегов Турции 280 и 330 миль соответственно.

Существенной особенностью черноморских апвеллингов является наличие локальных выходов холодных вод от побережья в сторону открытого моря в виде струй с фронтальными границами протяженностью до 70 миль. Наиболее часто они наблюдаются в районе м.Тарханкут, м.Сарыч и Феодосии. Ориентированы они соответственно на северо-запад, юго-запад и юг. В результате этих выходов воды с минимальными значениями температуры оказываются удаленными от берега.

Анализ повторяемости апвеллингов показал, что у северных берегов северо-западного района апвеллинги преобладают в июле и августе, у восточных берегов северо-западного района – в июне и в июле, в районе Ялты – в июне, у Феодосии – в июле. В западной части моря и у берегов Турции месяцем апвеллингов является июль, в районе Новороссийска – июнь и август.

Временная изменчивость «холодозапаса» показывает 2 – 3 летнюю цикличность для всех районов (рис.2), кроме турецкого, где с 1997 по 2002 гг. апвеллинги не наблюдались.

Анализ связи величин условного показателя «холодозапаса», аномалий температуры воды  $A_w$  в портах, значений промысловой нагрузки на промысле шпрота  $B$  за май – август дал следующие зависимости по крымскому району и району о.Змеиный: прямая зависимость прослеживается между величинами условного показателя «холодозапаса» и аномалиями температуры воды в портах, что подтверждает репрезентативность спутниковых данных при мониторинге прибрежных апвеллингов и обратная зависимость условного показателя «холодозапаса» и промысловой нагрузки на промысле шпрота. Максимальным значениям условного показателя «холодозапаса» соответствуют минимальные величины промысловой нагрузки (рис.3 – 4).

Результаты корреляционного анализа исследованных рядов свидетельствуют о том, что предложенный показатель активности апвеллингов (ПАА) является достаточно адекватным реальным апвеллингам на севере (достоверность связи 0,05) и востоке (достоверность связи 0,02) северо-западной части моря, причем для периода июнь – август. Регрессионные уравнения для этих связей выглядят следующим образом:

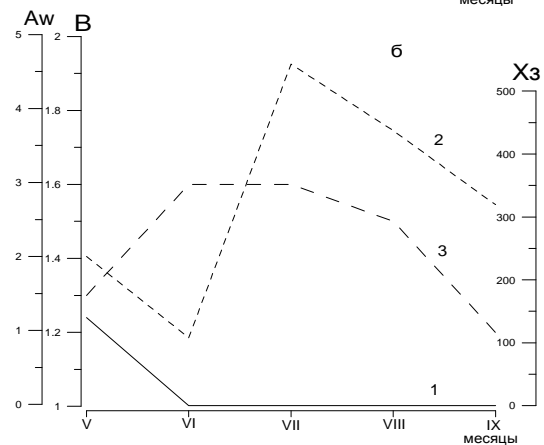
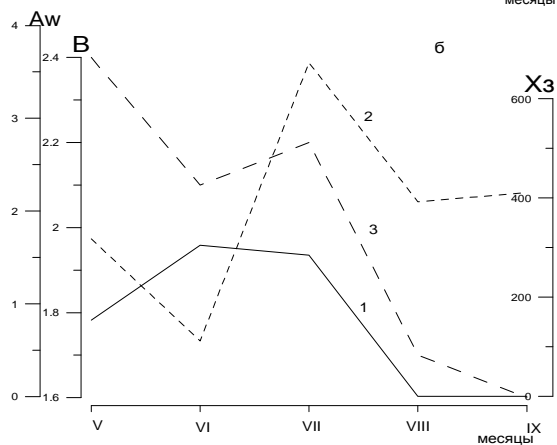
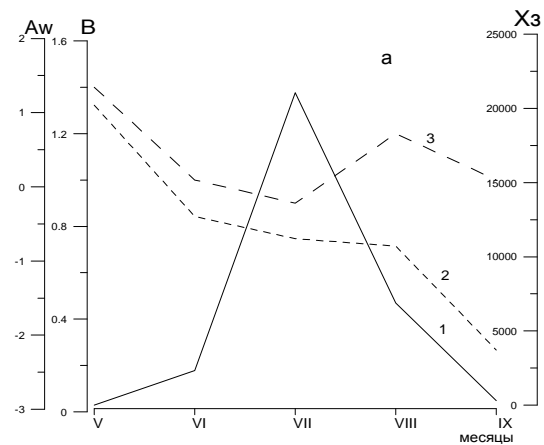
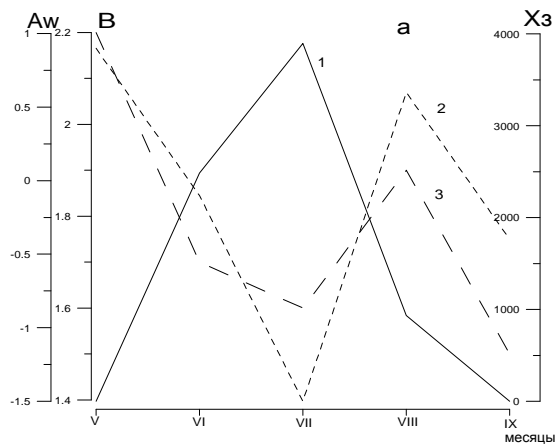
$$X_{\text{зан сев}} = 12,321 - 0,561 \cdot \text{ПАА}, \quad X_{\text{зан вост}} = 8,202 - 0,414 \cdot \text{ПАА}.$$

Также выявлена достоверная (с уровнем 0,05) связь «холодозапаса» апвеллингов восточной части северо-западного района для периода июнь-август с коэффициентом  $A_{00}$  за период январь-июнь. Уравнение регрессии:

$$X_{\text{зан вост}} = -10,308 + 1,292 \cdot A_{00 \text{ I-VI}}.$$

Это означает, что рост среднего атмосферного давления над Черным морем в первом полугодии ведет к активизации летних апвеллингов у западных берегов Крыма.

**Заключение.** Выполненные исследования показали особенности режима апвеллингов на различных участках побережья и их связь с особенностями атмосферной циркуляции. Разработаны показатели, характеризующие прибрежные апвеллинги как по контактному, так и по дистанционному измерениям температуры поверхности моря.



Р и с. 3. Изменение условного показателя «холодозапаса» апвеллинга (1), осредненных аномалий температуры воды в портах (2) и величин промышленной нагрузки (3) с мая по сентябрь: 2003 г. (а, в), 2002 г. (б, г) для Крымского района (а, б) и района о.Змеиный (в, г).

Предложенный показатель активности апвеллингов (ПАА) является достаточно адекватным реальным апвеллингам на севере и востоке северо-западной части моря. Установлено, что увеличение среднего над Черным морем атмосферного давления в январе – июне ведет к активизации апвеллингов на востоке северо-западного района моря. Усиление восточного переноса над морем в январе – июне активизирует апвеллинги по всему морю.

Для мая – августа выявлена обратная связь показателя среднемесячных значений «холодозапаса» в апвеллингах Крыма и западного побережья с промышленными нагрузками на промысле шпрота.

С суммарным показателем «холодозапаса» по всему морю в июне-августе установлена достоверная (с уровнем 0,04) связь с коэффициентом  $A_{01}$  за период январь – июнь. Уравнение регрессии:

$$X_{\text{зап общ}} = 22,377 - 86,029 \cdot A_{01 \text{ I-VI}}$$

Это означает, что именно восточные атмосферные переносы, развивая в первом полугодии соответствующую циркуляцию вод, усиливают интенсивность прибрежных апвеллингов в Черном море в летние месяцы.

Эти связи позволяют по данным об атмосферных переносах первого полугодия прогнозировать интенсивность апвеллингов и успешность промысла шпрота в июле – августе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буйницкий В.Х. Спутниковая океанология.– вып.2.– Л.: ЛГУ, 1980.– С.47-60.
2. Использование спутниковой информации в исследовании океана и атмосферы. Тезисы докладов (апрель 1969 г., Звенигород).– М., 1969.– С.14-16.
3. Кочиков В.Н. Локальные подъемы вод и их влияние на биопродуктивность различных районов Мирового океана.– М.: ЦНИИТЭИРХ, 1980.– 47 с.
4. Бычкова И.А., Викторов С.В. Интерпретация и систематизация зон апвеллинга в Балтийском море по спутниковым данным // Океанология.– 1987.– 27, № 2.– С.218-223.
5. Horstmann U. Distribution patterns of temperature and water colour in the Baltic Sea as recorded in satellite images: indicators for phytoplankton growth.– Ber. Inst. F. Meeresk. Keil., 1983.– 106.– 145 p.
6. Журбас В.М., Ступа Т., Малки П., Пака В.Т., Кузьмина Н.П., Скляр В.Е. Мезомасштабная изменчивость апвеллинга в юго-восточной Балтике: ИК-изображения и численное моделирование // Океанология.– 2004.– 44, № 5.– С.660-669.
7. Блатов А.С., Иванов В.А. Гидрология и гидродинамика шельфовой зоны Черного моря.– Киев: Наукова думка, 1992.– 242 с.
8. Власенко В.И., Иванов В.А., Стацук Н.М. Генерация квазиинерционных колебаний при апвеллинге у Южного берега Крыма // Океанология.– 1996.– 36, № 1.– С.43-51.
9. Методические указания по комплексному использованию спутниковой информации для изучения морей.– Л.: Гидрометеиздат, 1987.– С.40-49.
10. Чернышов И.В., Черкащенко Н.В., Карпенко Г.П. Методические указания по построению карт ТПО.– Керчь, 1989.– 30 с.
11. Брянец В.А. Методические рекомендации по гидрометеорологическому прогнозированию для основных объектов промысла в Черном море.– Керчь: АзЧерНИРО, 1987.– 168 с.

Материал поступил в редакцию 9.02.2005 г.  
После доработки 11.05.2005 г.