

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОМ
БАССЕЙНЕ И МИРОВОМ ОКЕАНЕ
(СПЕЦВЫПУСК)**

ЮЖНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МОРСКОГО РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА И ОКЕАНОГРАФИИ
(ЮГНИРО)



Р. В. Боровская, П. Д. Ломакин, Б. Н. Панов,
Е. О. Спиридонова, Б. Г. Троценко

**ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЮГНИРО В АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОМ БАССЕЙНЕ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИИ С ИСЗ**

КЕРЧЬ – 2009

УДК 551.46.07:629.783(262.5+262.54)

Боровская Р. В., Ломакин П. Д., Панов Б. Н., Спиридонова Е. О., Троценко Б. Г. Океанографические исследования ЮгНИРО в Азово-Черноморском бассейне с использованием информации с ИСЗ : Труды ЮгНИРО, т. 48 : спецвыпуск. – Керчь: ЮгНИРО, 2009. – 78 с.

На базе спутниковой информации, а также традиционных данных океанографических наблюдений выявлены закономерности динамических процессов, ледовых условий, гипоксии как факторов среды, влияющих на био- и рыбопродуктивность Чёрного и Азовского морей. Оценено воздействие указанных характеристик водной среды на формирование промысловых скоплений рыб.

Показана возможность контроля и прогноза гидрофизических явлений, рыбопромысловых и гидробиологических показателей на основе спутниковых данных.

Основные результаты работы могут найти дальнейшее применение в следующих прикладных задачах: повышение эффективности работы добывающего флота и оперативного поиска промысловых объектов; промысловое прогнозирование и экология; навигационное обеспечение и безопасность судоходства...

Для специалистов, деятельность которых связана с Чёрным и Азовским морями.

Borovskaya, R.V.; Lomakin, P.D.; Panov, B.N.; Spiridonova, E.O.; Trotsenko, B.G. Oceanographic researches of the YugNIRO in the Azov-Black Sea Basin with the use of the information from the AES : YugNIRO Proceedings, V. 48 : Special edition. – Kerch: YugNIRO, 2009. – 78 p.

On the basis of satellite information, and also conventional oceanographic data the regularity of dynamic processes, ice-reinforced conditions and hypoxia as environmental factors, which influence bio- and fishery productivity of the Black and Azov Seas were detected. Impact of the indicated characteristics of water environment on formation of commercial fish accumulations was estimated.

The possibility of control and forecasting of hydrophysical phenomena, fishery and hydrobiological objects on the basis of the satellite data was shown.

The main results can find further application in following applied problems – increase of the efficiency of the fishing fleet and operational search of fishery objects; the problems of the fisheries forecast and ecology, the navigation support and navigation safety...

For persons, whose activity is connected to the Black and Azov Seas.

Рецензенты:

Суходей Викторина Фёдоровна, доктор географических наук, профессор

Одесский государственный экологический университет
профессор кафедры «Океанология и морское природопользование»

Губанов Евгений Павлович, доктор биологических наук
Керченский государственный морской технологический университет
профессор кафедры «Экология моря»

Утверждено к печати РИСО ЮгНИРО

© Южный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии, 2009

© Боровская Р. В., Ломакин П. Д., Панов Б. Н., Спиридонова Е. О., Троценко Б. Г., 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение | 4 |
| Глава 1. Прибрежный черноморский апвеллинг и межгодовая изменчивость его параметров. Влияние интенсивности апвеллинга на формирование промысловых скоплений шпрота | 6 |
| 1.1. Исходный материал и методика выделения зон прибрежного апвеллинга в Черном море | 6 |
| 1.2. Районирование прибрежных акваторий Черного моря по типовым признакам апвеллинга. Характеристика выделенных районов. Межгодовые колебания параметров прибрежного апвеллинга в различных районах Черного моря | 9 |
| 1.3. Влияние атмосферных факторов и колебаний интенсивности апвеллинга на формирование промысловых скоплений шпрота | 18 |
| Глава 2. Возможность контроля циркуляции вод и переноса взвешенного вещества в Керченском проливе на базе спутниковой информации. Изменения в системе течений пролива, вызванные сооружением дамбы в тузлинской промоине | 21 |
| 2.1. Особенности термохалинной структуры, загрязнения и оптических свойств вод, взаимодействующих в Керченском проливе. Течения и взвесь, возможность их идентификации со спутника | 22 |
| 2.2. Изменения в циркуляции вод Керченского пролива, источниках и перемещении взвеси, возникшие после сооружения дамбы в тузлинской промоине | 30 |
| Глава 3. Особенности современного состояния ледовых условий в Азовском море и Керченском проливе | 36 |
| 3.1. Режим ледовых условия в Азовском море и их связь с био- и рыбопродуктивностью | 36 |
| 3.2. Ледовая обстановка в Азовском море и Керченском проливе 1991-2006 гг. | 38 |
| 3.3. Особенности ледовой обстановки в Азовском море и Керченском проливе в условиях холодной зимы 2005-2006 гг. | 46 |
| Глава 4. Гипоксия и заморы рыбы в Азовском море по спутниковым и контактными данным. Возможность прогноза этих явлений | 50 |
| 4.1. Гидрометеорологические предпосылки гипоксии в Азовском море | 51 |
| 4.2. Связь придонной гипоксии и заморы рыбы в прибрежных водах Азовского моря | 58 |
| Заключение | 69 |
| Перечень ссылок | 71 |

в инфракрасном, и видимом диапазонах. Эти данные были получены с помощью станции приема спутниковой информации SU-8 (фирма «Fuguro») и обработаны специалистами ЮгНИРО (г. Керчь), также использованы (в главе 2) спутниковые снимки, принятые в Отделе дистанционных методов исследования МГИ НАН Украины, данные океанографических, целенаправленно выполненных подспутниковых полигонных океанографических съемок и материалы океанографических наблюдений из архива ЮгНИРО.

Авторы благодарны профессору В. А. Брянцеву (ЮгНИРО) за реальную помощь и профессиональную поддержку на этапах подготовки данной работы, а также старшему научному сотруднику С. В. Станичному (МГИ) за любезно предоставленную им серию спутниковых снимков с ИЗС «TERRA» и инженеру ЮгНИРО Л. А. Лексиковой за активное участие в сборе и обработке спутниковой информации.

ГЛАВА 1

ПРИБРЕЖНЫЙ ЧЕРНОМОРСКИЙ АПВЕЛЛИНГ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЕГО ПАРАМЕТРОВ. ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ АПВЕЛЛИНГА НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОМЫСЛОВЫХ СКОПЛЕНИЙ ШПРОТА

К особо актуальным проблемам промысловой океанографии относятся исследования процессов водообмена между шельфом и глубоководной частью океанов и морей. Наиболее эффективные механизмы, реализующие подобного рода водообмен, связаны с прибрежным апвеллингом, который приводит к формированию локальных областей высокой биологической продуктивности.

Черноморский апвеллинг, как и апвеллинг в других морях и океанах, обусловлен компенсационным притоком глубинных вод к берегу при оттоке поверхностных вод в мористую область вследствие сгонных ветров или течений. Подъем вод более интенсивен в прибрежной зоне. Развитие апвеллинга, в свою очередь, вызывает соответствующей силы биологические последствия в виде изменений состава населения в зоне его влияния. Районы постоянно действующего активного черноморского апвеллинга отличаются высокой биологической продуктивностью, здесь обитают плотные скопления рыб и других объектов промысла.

В последнее время появился ряд работ [35, 38, 43, 44, 48, 55, 56, 93, 96, 99], в которых на базе спутниковых данных исследован апвеллинг различных регионов океанов и морей. Аналогичные публикации имеются и для Черного моря.

Так, в статьях [11, 12, 22-24, 69-71, 83] по летним выборкам спутниковых наблюдений в инфракрасном диапазоне за отдельные годы была рассмотрена структура апвеллинга в районах северо-западной части Черного моря и у побережья Крыма. Выявлены периоды его интенсификации на различных участках рассматриваемого побережья. Оценено влияние апвеллинга на структуру термохалинного поля. Отслежены параметры струй, которые распространяются из зон подъема вод у берега на участки открытого моря.

В настоящей главе изложены результаты исследования апвеллинга в прибрежных водах Черного моря по всему его периметру, которые получены на основе данных спутниковых дистанционных зондирований. Предложены методические приемы, позволившие выделить области прибрежного апвеллинга. Разработана схема районирования исследуемой акватории по типовым признакам апвеллинга. Получены статистические характеристики, отражающие режим апвеллинга в каждом из выделенных прибрежных районов и определены периоды многолетних 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.

1.1. Исходный материал и методика выделения зон прибрежного апвеллинга в Черном море

В качестве основных материалов для исследования апвеллингов в Черном море использовалась информация с искусственных спутников Земли серии NOAA в формате АРТ в инфракрасном и телевизионном диапазонах. Эти данные были получены станцией приема и обработки спутниковой информации SU-8 (фирма «Furuno») в ЮгНИРО с 1988 по 2004 г. В 1999 г. прием информации не выполнялся. Общее количество обработанных снимков – 1964, на 1140 отслежены апвеллинги. Дешифрирование зон подъема вод проводилось согласно принятым методикам [65, 89]. Обобщение и анализ материалов вы-

полнены с учетом времени существования и степени развития апвеллингов по семи районам Черного моря, имеющим рыбохозяйственное значение: западная часть моря, север и восток северо-западной части, а также феодосийский, ялтинский, новороссийский и турецкий районы (рис. 1.1).

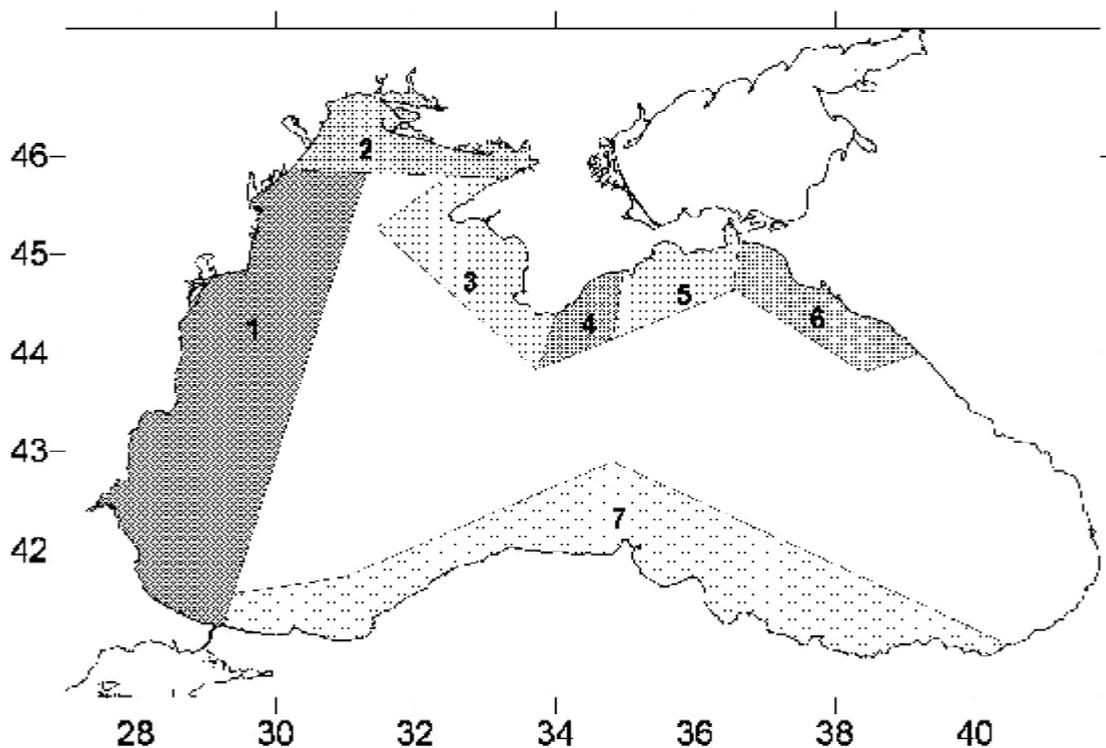


Рисунок 1.1. Схема районирования акватории Черного моря по интенсивности прибрежного апвеллинга: 1 – западный, 2 – север северо-западный, 3 – восток северо-западный, 4 – ялтинский, 5 – феодосийский, 6 – новороссийский и 7 – турецкий районы

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

Наличие апвеллинга определялось (условно) по картам температуры поверхности моря по разнице между минимальной температурой воды в прибрежной зоне и температурой окружающих вод. Если эта разница превышала 1°C и сохранялась на 2-3 снимках, то явление рассматривалось как результат прибрежного апвеллинга. Зоной апвеллинга считалась акватория с относительно низкими значениями температуры поверхности моря, ограниченная внешней границей температурного фронта.

По каждому району апвеллинга ежедневно определялись наименьшая ($Ш_{\min}$) и наибольшая ($Ш_{\max}$) его ширина, протяженность ($Па_{\text{пв.}}$), минимальная температура (T_{\min}) и температура окружающих вод ($Токр.$). Выделялись также районы, где отмечались выходы вод апвеллинга далеко в море. Для каждого случая апвеллинга рассчитывались площади ($Са_{\text{пв.}}$) и условный показатель – «холодозапас» апвеллинга ($Хзап.$) по формулам:

$$Са_{\text{пв.}} = Ш_{\text{ср.}} \times Па_{\text{пв.}},$$

где $Ш_{\text{ср.}}$ – средняя ширина зоны апвеллинга.

$$Ш_{\text{ср.}} = (Ш_{\min} + Ш_{\max})/2$$

$$Хзап. = (Токр. - T_{\min}) \times Са_{\text{пв.}}$$

Затем, для каждого из семи отмеченных на рис. 1.1 районов рассчитывались среднемесячные величины площади и «холодозапаса» апвеллингов и для каждого параметра по всей совокупности исследуемой по району многолетней информации определялись минимальные, средние и максимальные значения.

В качестве дополнительного независимого от спутниковых данных показателя развития прибрежных апвеллингов использовались данные о температуре поверхности моря гидрометеорологической станции (ГМС) «Одесса». Рассчитывался условный показатель активности апвеллингов (ПАА).

ПАА определялся по формуле:

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

где D – аномалии среднемесячной температуры воды в Одессе относительно многолетней нормы, $\sum_{\text{XII}}^{\text{II}} \Delta$ – показатель степени охлаждения вод в зимние месяцы. ПАА не является показателем теплового фона поверхности моря в летние месяцы, как $\sum_{\text{VI}}^{\text{IX}} \Delta$, а характеризует интенсивность подъема вод к поверхности в прибрежной зоне моря.

Дополнительно проводился сравнительный анализ изменений среднемесячных величин «холодозапаса» апвеллингов, аномалий температуры воды на морских ГМС и промысловых нагрузок (вылов за час траления) на промысле шпрота по крымскому району и району о. Змеиный отдельно для 2002 и 2003 гг. Для крымского района использовались величины «холодозапаса» северного и восточного апвеллинга северо-западной части Черного моря, а также ялтинского апвеллинга; аномалии среднемесячной температуры воды по Одессе, Черноморскому, Евпатории и Ялте. Для района о. Змеиный использовались величины «холодозапаса» по западному апвеллингу и аномалии температуры воды по Одессе.

При исследовании влияния атмосферной циркуляции на интенсивность черноморского апвеллинга использованы методические приемы, разработанные В. А. Брянцевым и другими исследователями [22-28, 34, 49], которые нашли широкое применение в промысловой океанографии. В качестве основного материала для оценки многолетних изменений атмосферной циркуляции (АЦ) взяты ежедневные значения приземного атмосферного давления (минус 1000 мб) в точках стандартного поля [22]. Каждое поле описывалось полиномом Чебышева. Из полученных коэффициентов разложения поля использовались следующие: A_{00} – физически отражающий среднее значение поля, A_{10} – интенсивность атмосферного переноса (АП) по направлению юг-север и A_{01} – интенсивность атмосферного переноса запад-восток при правой системе координат. Полученные многолетние ряды для каждого района и суммарного для всех районов значения «холодозапаса» коррелировались с соответствующими рядами показателя ПАА и указанных коэффициентов разложения барического поля, осредненными по двум периодам: июнь-август и январь-июнь.

1.2. Районирование прибрежных акваторий Черного моря по типовым признакам апвеллинга. Характеристика выделенных районов. Межгодовые колебания параметров прибрежного апвеллинга в различных районах Черного моря

Полученная в результате обработки исходной информации и последующего анализа схема районирования акватории Черного моря по характерным признакам апвеллинга представлена на рис. 1.1. Ниже приведено описание ряда особенностей апвеллинга для выделенных районов Черноморского побережья.

Апвеллинги в Черном море, наблюдаемые вдоль различных участков побережья, заметно различаются по времени существования, степени развития, а также по влиянию на промысел рыбы. В результате районирования, выполненного с учетом этих свойств, вся рассматриваемая акватория прибрежной части Черного моря была условно разделена на семь районов: западная часть моря, вдоль берега Болгарии и Румынии; северные участки северо-западной части моря; восточная область северо-западной части моря, которая ограничена с востока западным побережьем Крымского полуострова; акватории у Ялты, Феодосии, Новороссийска, а также обширные акватории вдоль турецкого побережья. Исключением является восточная часть Черноморского побережья, для которой апвеллинг не характерен. Учитывая замкнутость исследуемого бассейна, можно считать, что у восточного побережья Черного моря преобладает нисходящая циркуляция вод.

По сумме «холодозапаса» за весь период наблюдений наиболее интенсивным оказался апвеллинг в турецком районе. Несколько менее значим по этому критерию апвеллинг в северном районе северо-западной части моря. Наименее интенсивны из семи выделенных районов процессы апвеллинга у побережья Новороссийска (рис. 1.2).

Структуре прибрежного черноморского апвеллинга свойственна особенность, которая проявляется в виде пространственной неоднородности при его усилении в качестве «центра апвеллинга». Чаще всего «центр апвеллинга» расположен у берега, к примеру, в северной части Каркинитского залива, 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 в среднем 4-6 °С у берегов Турции и 3-4 °С – в других районах, где проявляется апвеллинг.

На более поздних стадиях развития прибрежного очага холодных вод от него в сторону открытого моря распространяются холодные струи, которые обладают хорошо выраженными фронтальными признаками. Протяженность таких фронтальных образований до 70 миль. Наиболее часто они наблюдаются в районе м. Тарханкут, м. Сарыч и у

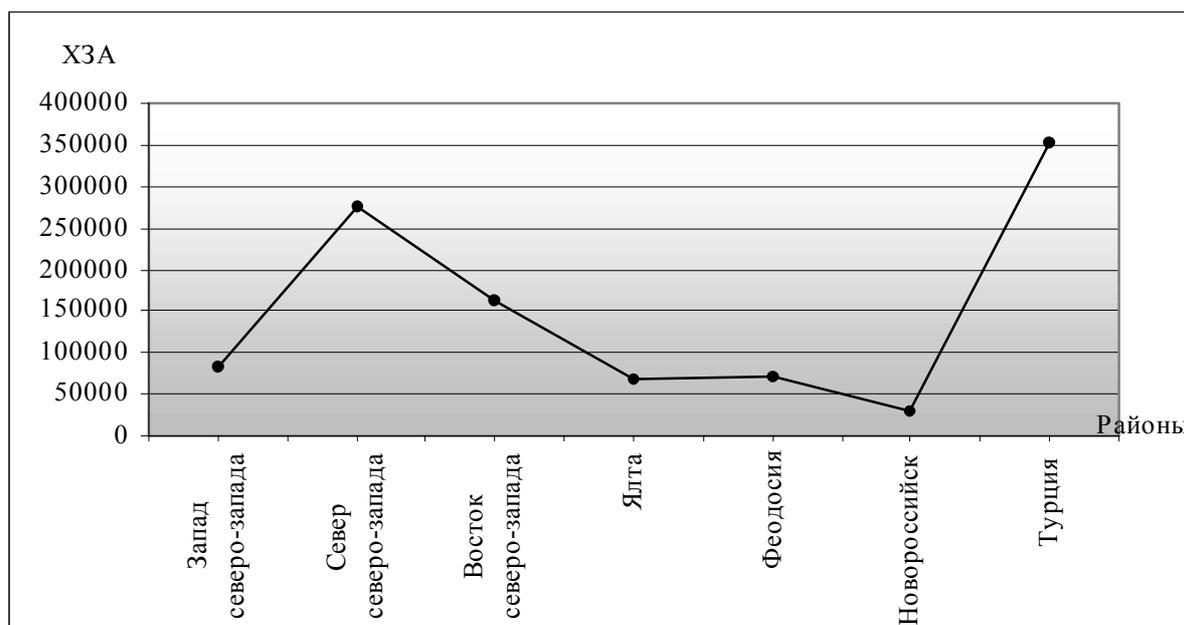


Рисунок 1.2. Суммарный холодозапас апвеллинга за период с 1988 по 2004 г. для каждого из условно выделенных районов Черноморского побережья

Феодосии. Фронты ориентированы здесь, как правило, соответственно на северо-запад, юго-запад и юг. В результате глубинные и подповерхностные воды с низкими значениями температуры и высокой концентрацией биогенных элементов выносятся в поверхностном слое на значительные расстояния от берега.

Это свойство проиллюстрировано серией спутниковых снимков, представленных на рис. 1.3-1.5. Здесь показана эволюция апвеллинга у берегов Крыма продолжительностью около суток 3 июля 2003 года.

На каждом из рисунков помещена пара снимков Крымского полуострова: верхние снимки – ИК-изображения рассматриваемой акватории, нижние – позволяют выделить фронтальные зоны, которые обусловлены ядрами апвеллинга. Термические фронты на снимках, связанные с апвеллингом, получены в результате видоизменения информации верхних снимков с помощью специальной компьютерной программы. Программа предусматривает выделение термических фронтов практически любого пространственного масштаба для любой климатической зоны Мирового океана или любого конкретного водоема по данным ИК-изображения его акватории. Она разработана специалистами Отдела дистанционных методов исследования МГИ НАН Украины и помещена на официальном сайте [94].

На рис. 1.3 видно, что в 7 часов утра 3 июля 2003 г. у побережья Крыма существовали два хорошо выраженных очага (центра) апвеллинга с перепадом температуры около 3 °С. Они располагались на участках между Феодосийским заливом и мысом Меганом и от этого мыса до Алушты. Менее выраженный очаг апвеллинга наблюдался у мыса Тарханкут.

Примерно через час холодные воды были зафиксированы уже вдоль всего побережья от Алушты до Керченского пролива. В открытое море в южном-юго-восточном направлении от берега распространились две холодные струи (подобные структурные образования иногда называют «клиньями апвеллинга») протяженностью в несколько десятков миль. Также отмечено растекание холодных вод на восток вдоль южного побережья полуострова Тарханкут. На нижнем снимке видны очаги апвеллинга, сформировавшиеся у южного берега Крыма, и связанные с ними фронтальные струи, направленные в открытое море в юго-западном направлении.

В 11 часов (рис. 1.4) апвеллинг достиг своей максимальной стадии развития. Отдельные центры слились в обширные области, простирающиеся от южного берега Крыма до Керченского полуострова, а также вдоль южного побережья полуострова Тарханкут. Температура в этих областях, вследствие смешения холодных подповерхностных вод с прогретыми поверхностными, стала несколько выше температуры в очагах начальной азы рассматриваемого процесса. Максимального развития и пространственных масштабов достигли распространявшиеся в открытое море струи апвеллинга. В области влияния апвеллинга наметились очаги формирования замкнутых ячеек циркуляции прибрежных вод. На нижнем снимке отчетливо видны многочисленные фронты, имеющие различную ориентацию в пространстве, интенсивность и широкий спектр пространственных масштабов от нескольких сотен метров до десятков миль.

В 13 часов на исследуемой акватории уже наметилась тенденция затухания апвеллинга. Температурный фон в целом стал менее контрастным при сохранении основных признаков структуры поля температуры и, соответственно, циркуляции вод, которые наблюдались на предшествующей стадии максимального развития апвеллинга. Отмечена трансформация наиболее масштабных струй апвеллинга. Сформировались отдельные вихри, а также фронтальные разделы различного масштаба и ориентации в простран-

стве. К концу суток 3 июля к 23 часам «жизненный цикл» рассматриваемого апвеллинга был близок к завершению. Его следы были отмечены только в местах зарождения – в Феодосийском заливе, на участке между мысом Меганом и Алуштой, у южного берега Крыма и у мыса Тарханкут (рис. 1.5).

Проиллюстрированная выше закономерность структуры черноморского апвеллинга, заключающаяся в формировании струй подповерхностных холодных вод на участках шельфовой зоны, имеет важное прикладное значение. Анализ имеющейся в нашем распоряжении информации свидетельствует о том, что фронтальные разделы струй холод-

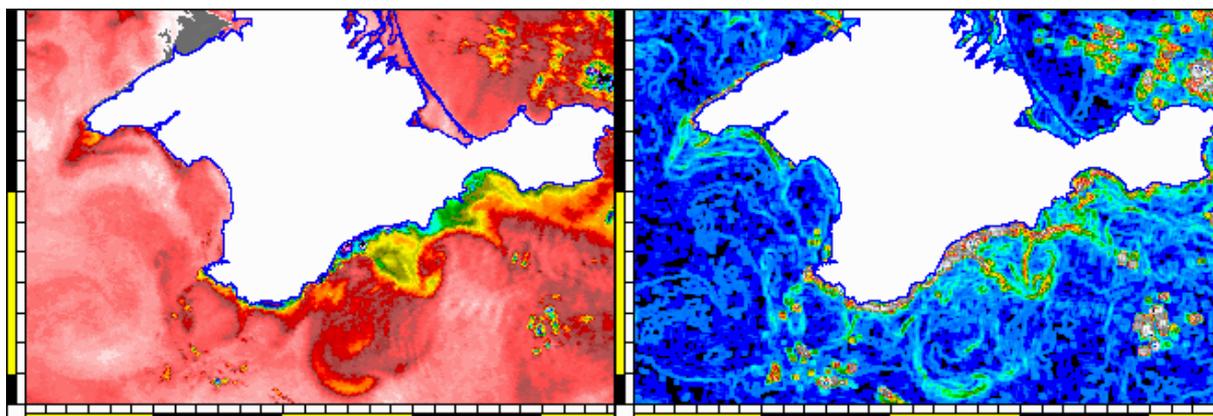


Рисунок 1.3. Очаги апвеллинга у побережья Крыма 3 июля 2003 года, 7 часов GMT

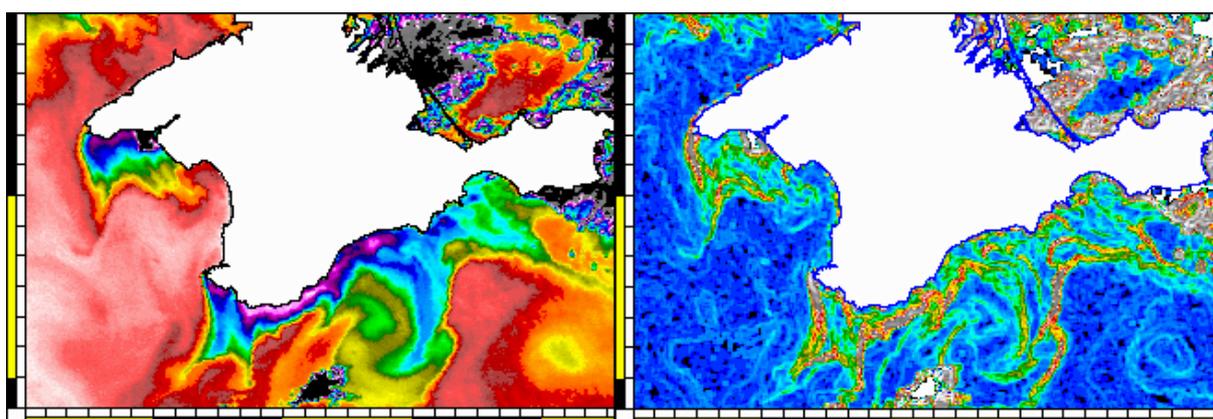


Рисунок 1.4. Максимальная стадия развития апвеллинга и связанных с ним фронтов у побережья Крыма 3 июля 2003 года, 11 часов GMT

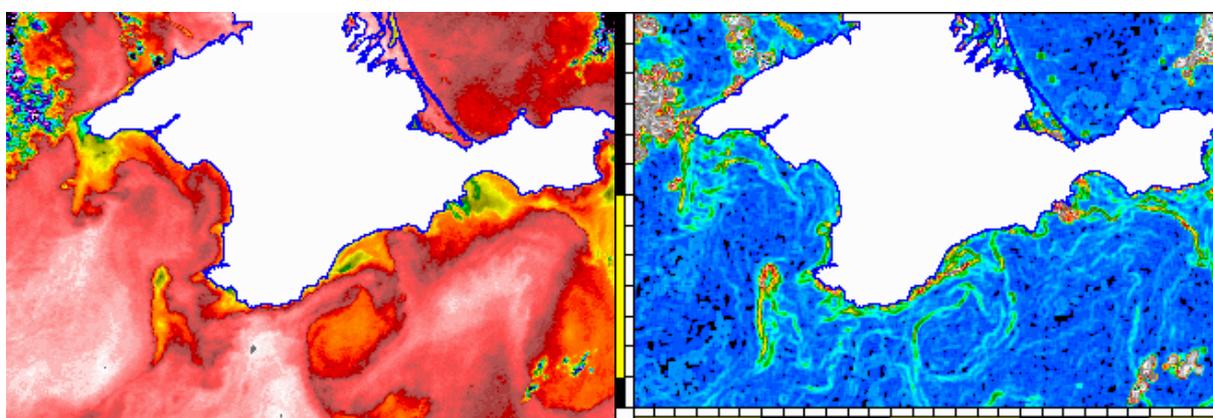


Рисунок 1.5. Следы апвеллинга на последних фазах его затухания у побережья Крыма 3 июля 2003 года, 23 часа GMT

ной воды, связанных с апвеллингом, на шельфе Крыма, могут влиять на концентрацию шпрота. Сведения о положении этих струй, которые, как показано выше, хорошо фиксируются на спутниковых снимках, весьма полезны для оценки перспектив промысла шпрота.

Промысловая значимость апвеллинговых и других локальных фронтов в Черном море и возможность использования информации о них в целях оперативного рыбного поиска и эффективного промысла показана в работах [42-44, 73, 74, 100].

Обширные зоны относительно холодных поверхностных вод и фронтальные зоны, формируемые апвеллингами, оказывают на биоценозы пелагиали влияние, отличное от влияния фронтальных зон, формируемых собственно поверхностными водами, поэтому роль апвеллингов в формировании промысловых скоплений рыб должна исследоваться особо.

Наиболее часто апвеллинги наблюдаются на северо-западе Черного моря. Отличительная особенность этого района – наличие широкого шельфа. Обширное мелководное пространство обуславливает быструю реакцию водной толщи на изменение в поле ветра.

Реже зоны подъема вод отмечаются в районе Ялты, Феодосии и гораздо реже – у берегов Турции. Для этих районов в отдельные годы характерно отсутствие апвеллингов.

Однако следует отметить, что у берегов Турции в те годы, когда наблюдался апвеллинг, величины «холодозапаса» были наибольшими по сравнению с другими районами и достигали 165000 миль² x град. На фазе своего максимального развития турецкий апвеллинг выносит в поверхностные слои наибольшие объемы обогащенных питательными солями вод.

Второй по величине «холодозапаса» (47775 миль² x град) – апвеллинг северной части северо-западного региона моря.

Наименьшие величины «холодозапаса», как уже отмечалось, типичны для апвеллинга в районе Новороссийска (см. рис. 1.2).

При анализе изменений площадей апвеллингов выявлено, что их максимальные колебания в пределах от 1890 до 2600 миль² наблюдались в районе Новороссийска и Феодосии; 4550-6825 миль² – в районе Ялты и на северо-западе моря. У берегов Турции наибольшие площади, на которые распространяется апвеллинг, достигали 20625 миль².

Аналогичное региональное соотношение прослеживается и для условного показателя «холодозапаса».

Средние значения площадей распространения апвеллинга изменяются от 298 до 4256 миль².

Среднемесячные значения площадей и «холодозапаса» апвеллингов на западе, севере и востоке северо-западной части составляют 533 миль² и 2267 миль² x град; 1188 миль² и 5225 миль² x град; 830 миль² и 3385 миль² x град. В районе Ялты, Феодосии, Новороссийска значения этих величин соответственно достигают 567 миль² и 2382 миль² x град, 410 миль² и 1511 миль² x град, 295 миль² и 999 миль² x град. У берегов Турции средние значения среднемесячных площадей и «холодозапаса» оцениваются в 4014 миль² и 29318 миль² x град.

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

Протяженность распространения холодных вод вдоль берега также колеблется в значительных пределах. На востоке северо-западного района, в районе Ялты и Феодосии наименьшая протяженность зон апвеллинга до 3-5 миль; на западе, севере северо-запад-

ной части моря и в районе Новороссийска – 10-15 миль; у берегов Турции – 40 миль. Максимальная протяженность участков, на которые распространяется апвеллинг, отмечена на западе моря и у берегов Турции, соответственно 280 и 330 миль. Средние значения протяженности апвеллинга на западе, севере и востоке северо-западного региона моря соответственно равны 132, 85, 63 милям; в районе Ялты, Феодосии и Новороссийска – 38, 39, 51 миль соответственно и 167 милям – у берегов Турции.

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 апвеллинг наблюдается в июле, в районе Новороссийска – в июне и августе.

В результате анализа временной изменчивости «холодозапаса» выявлена 2-3-летняя и 10-12-летняя цикличность в колебаниях интенсивности апвеллинга практически для всех районов моря. Наличие ярко выраженной квазидвухлетней гармоникой в межгодовом ходе параметров апвеллинга в выделенных районах Черноморского побережья иллюстрируют графики (рис. 1.6-1.12).

Видно, что все они практически идентичны и выявляют ярко выраженный квазидвухлетний цикл, характерный для межгодового хода параметров метеорологических процессов, что, в свою очередь, свидетельствует о значимой роли глобальных атмосферных факторов в формировании апвеллинга в Черном море.

Эта закономерность была нарушена лишь в области турецкого апвеллинга в промежуток времени с 1997 по 2002 г., когда апвеллинги у берегов Турции не наблюдались (рис. 1.12).

Практически повсеместно на прибрежной акватории Черного моря наиболее мощные апвеллинги по критерию «холодозапаса» отмечены в 1993 и 2003 гг.; наименее ин-

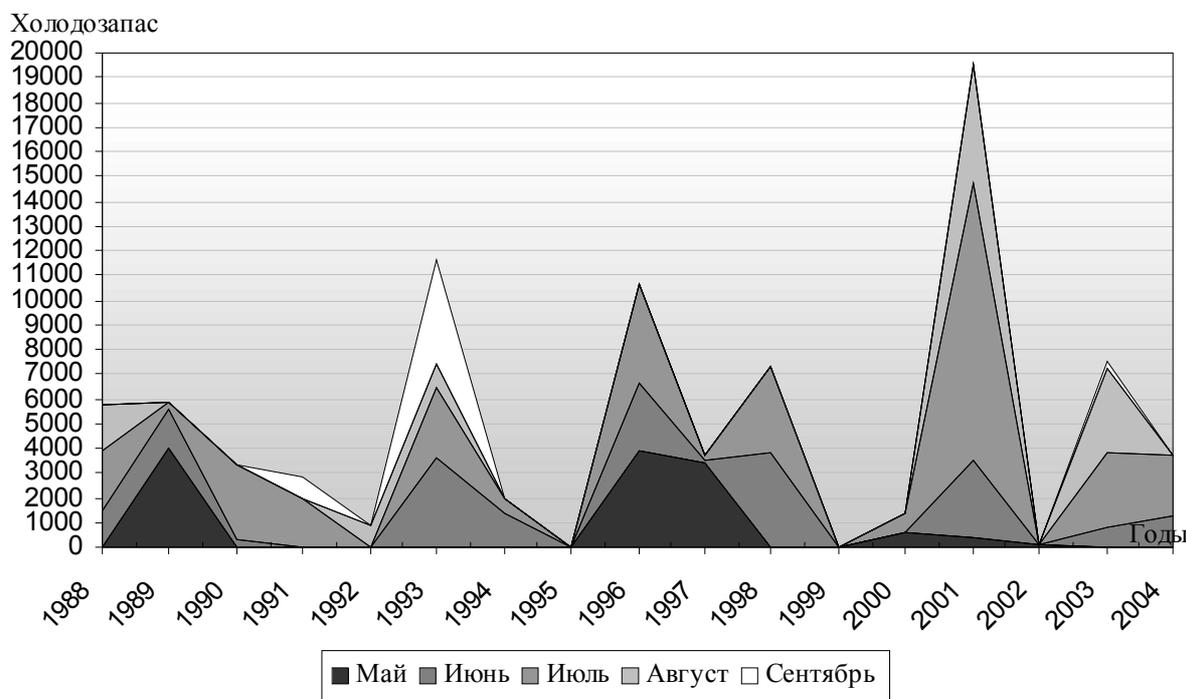


Рисунок 1.6. Межгодовая изменчивость условного показателя холодозапаса апвеллинга у западных берегов Черного моря (в 1999 г. наблюдения не велись)

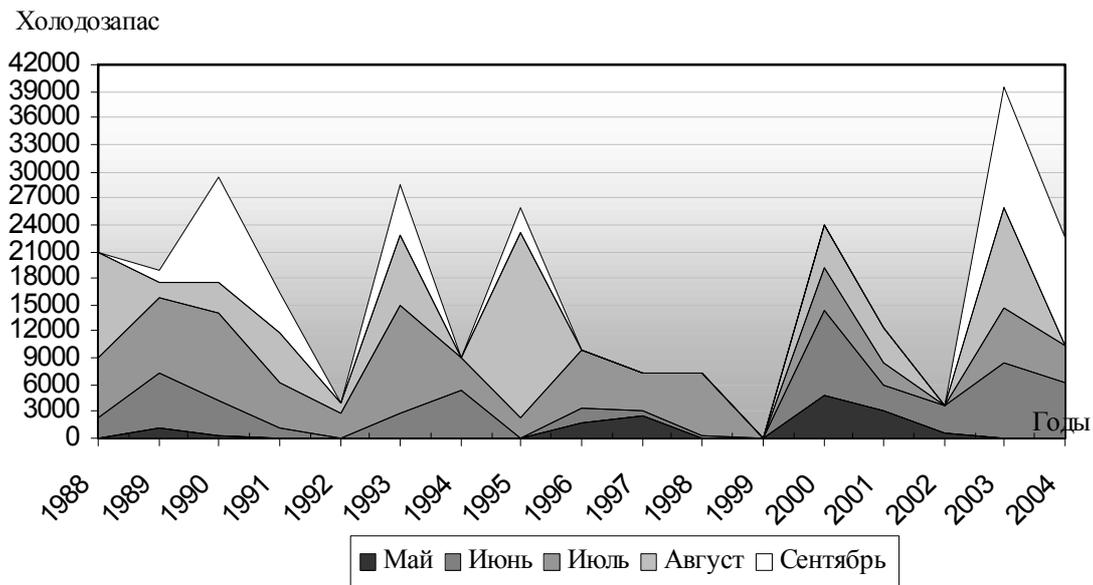


Рисунок 1.7. Межгодовая изменчивость условного показателя холодозапаса апвеллинга у северных берегов северо-западной части Черного моря (в 1999 г. наблюдения не велись)

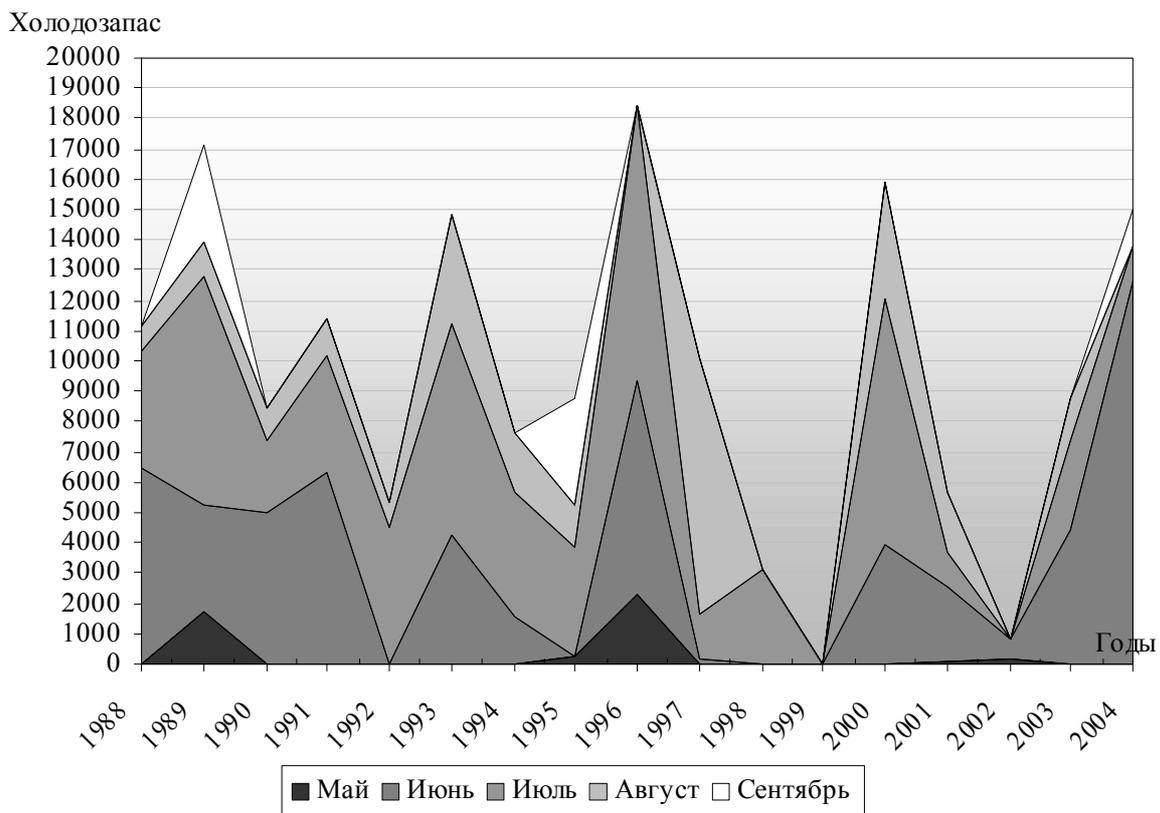


Рисунок 1.8. Межгодовая изменчивость условного показателя холодозапаса апвеллинга у восточных берегов северо-западной части Черного моря (в 1999 г. наблюдения не велись)

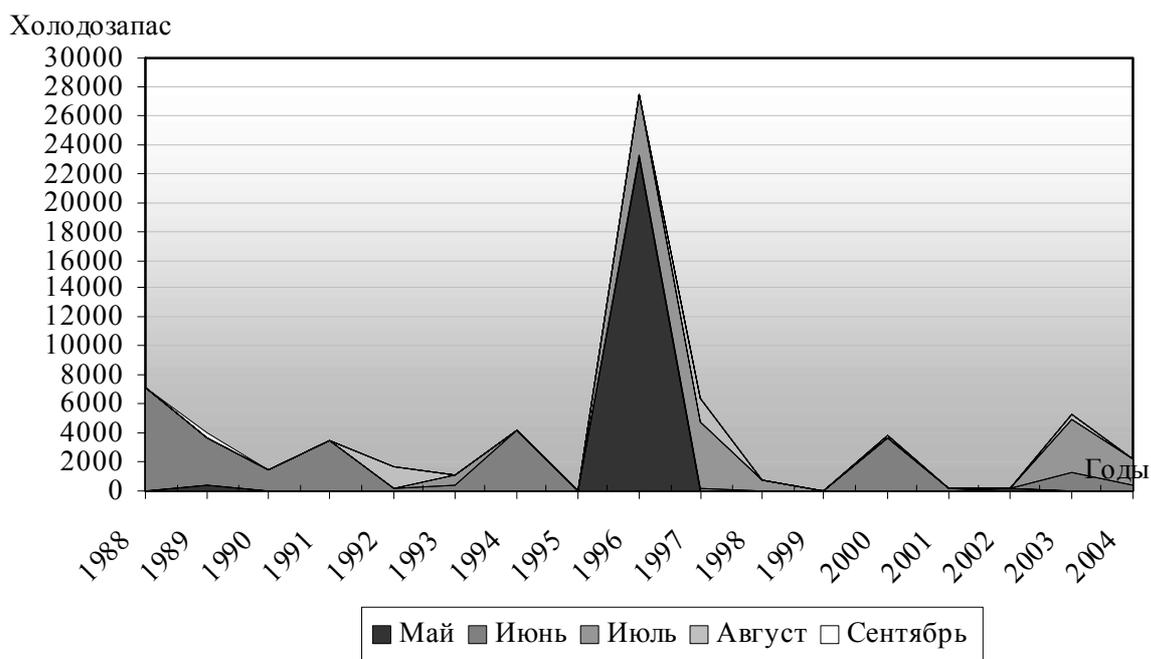


Рисунок 1.9. Межгодовая изменчивость условного показателя холодозапаса апвеллинга у берегов Ялтинского района Черного моря (в 1999 г. наблюдения не велись)

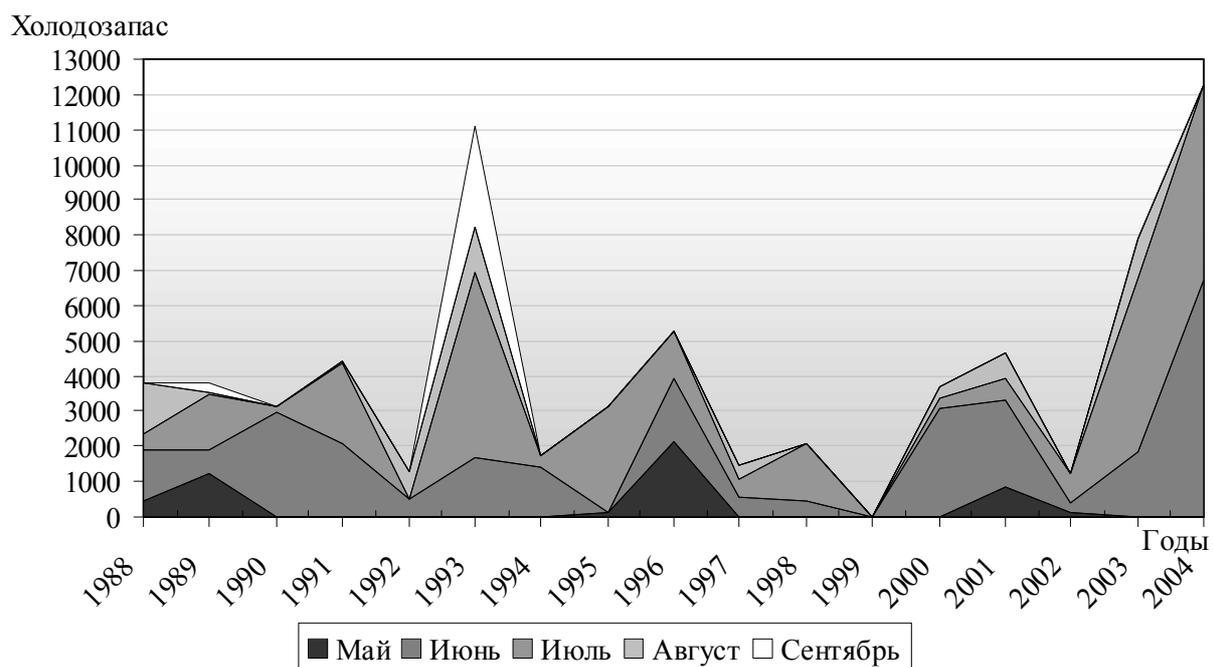


Рисунок 1.10. Межгодовая изменчивость условного показателя холодозапаса апвеллинга у берегов Феодосийского района Черного моря (в 1999 году наблюдения не велись)

тенсивные – в 1992 и 2002 гг. У берегов Турции указанные экстремальные явления зафиксированы также, соответственно, в 1996 и в 1997-2002 гг.

Гармоники, обнаруженные авторами работы [53] в результате исследования спектрального состава межгодовых колебаний в ряде атмосферных и гидрофизических характеристик в трех точках крымского побережья, выявили колебания с периодом 1,8-2,9 года.

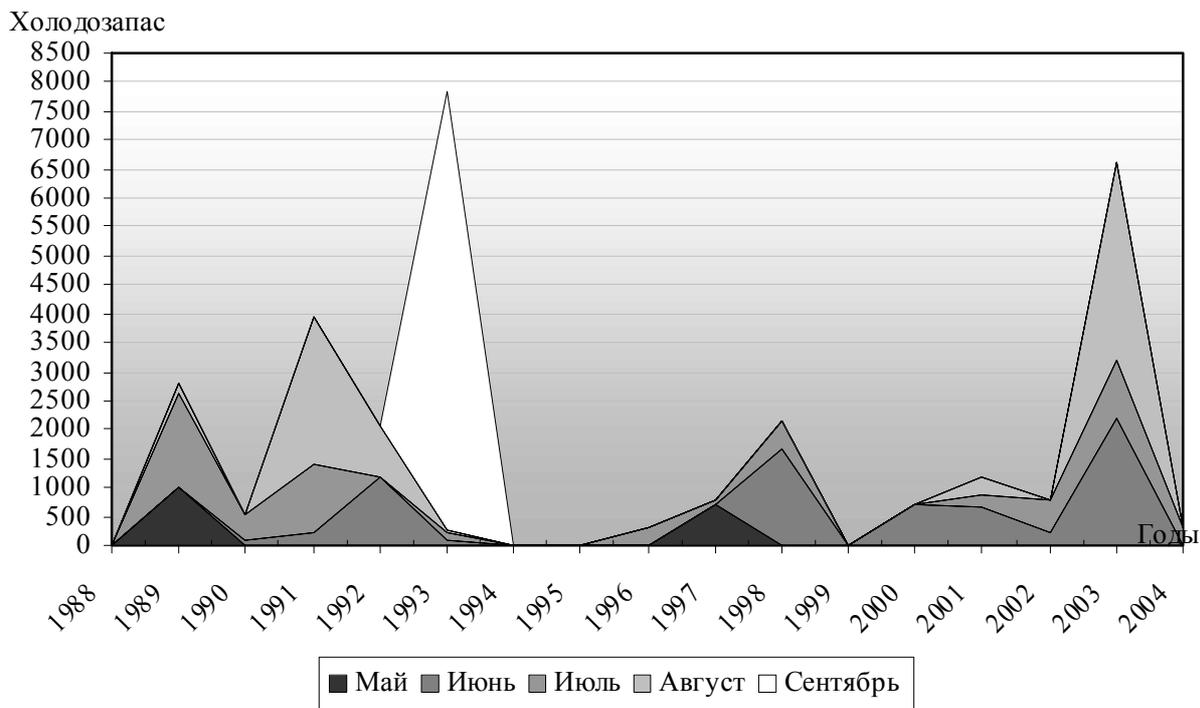


Рисунок 1.11. Межгодовая изменчивость условного показателя холодозапаса апвеллинга у берегов Новороссийского района Черного моря (в 1999 году наблюдения не велись)

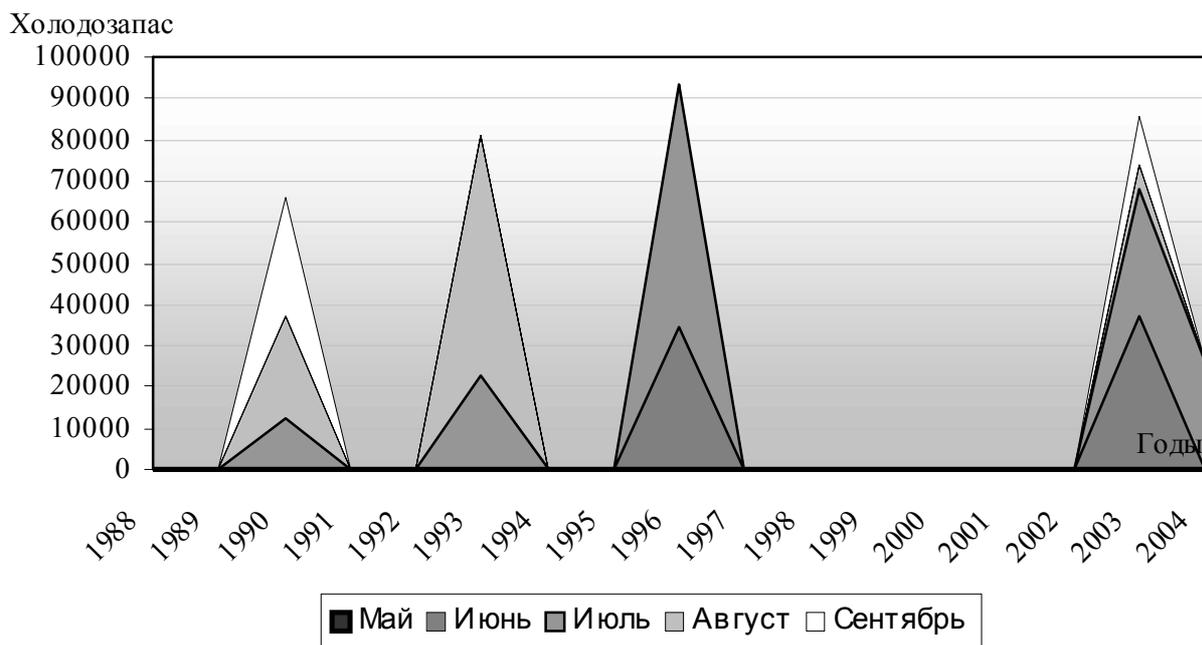


Рисунок 1.12. Межгодовая изменчивость условного показателя холодозапаса апвеллинга у берегов Турецкого района Черного моря (в 1999 г. наблюдения не велись)

То есть, практически те же составляющие, что были обнаружены при исследовании длиннопериодных колебаний интенсивности апвеллинга для различных областей побережья Черного моря.

По мнению авторов статьи [47] подобные колебания связаны с изменением знака обратной связи с периодом около полугода во взаимодействующей системе «океан-ат-

мосфера». До недавнего времени считалось, что этот механизм более или менее отчетливо может проявляться только на значительных пространственных масштабах и в существенно меньшей степени на региональных. Однако анализ спектрального состава длиннопериодных колебаний уровня моря в шести пунктах украинского Черноморского побережья [68] также показал, что 2-летняя цикличность отчетливо проявляется на локальных участках в прибрежных водах Черного моря.

Приведенные выше факты подтверждают достоверность квазидвухлетней гармоничности, обнаруженной в межгодовом ходе интенсивности апвеллинга на различных участках прибрежной зоны в Черном море.

Анализ межгодовых колебаний интенсивности апвеллинга по ряду, представленному на графике (рис. 1.13), выявил 10-12-летнюю цикличность. Этот результат расценивается нами как весьма приближенный. Методы спектрального анализа в данном случае, вследствие короткой выборки эмпирических данных, на наш взгляд корректно не применимы. Вместе с тем, в пользу достоверности полученного результата свидетельствуют сведения о том, что в межгодовом ходе атмосферного давления в районе Крымского полуострова существует 11-летняя цикличность [53]. Цитируемые авторы природу этой гармоничности связывают с цикличностью солнечной активности. Влияние солнечной активности на многолетние изменения черноморской экосистемы также исследовано в работах [23, 28]. То есть цикличность с периодом, близким к периоду межгодовых колебаний (10-12 лет), выявленных нами во временном ходе интенсивности апвеллинга, связана с солнечной активностью. Это также указывает на значимость роли глобальных атмосферных процессов в формировании областей подъема вод у берегов Черного моря.

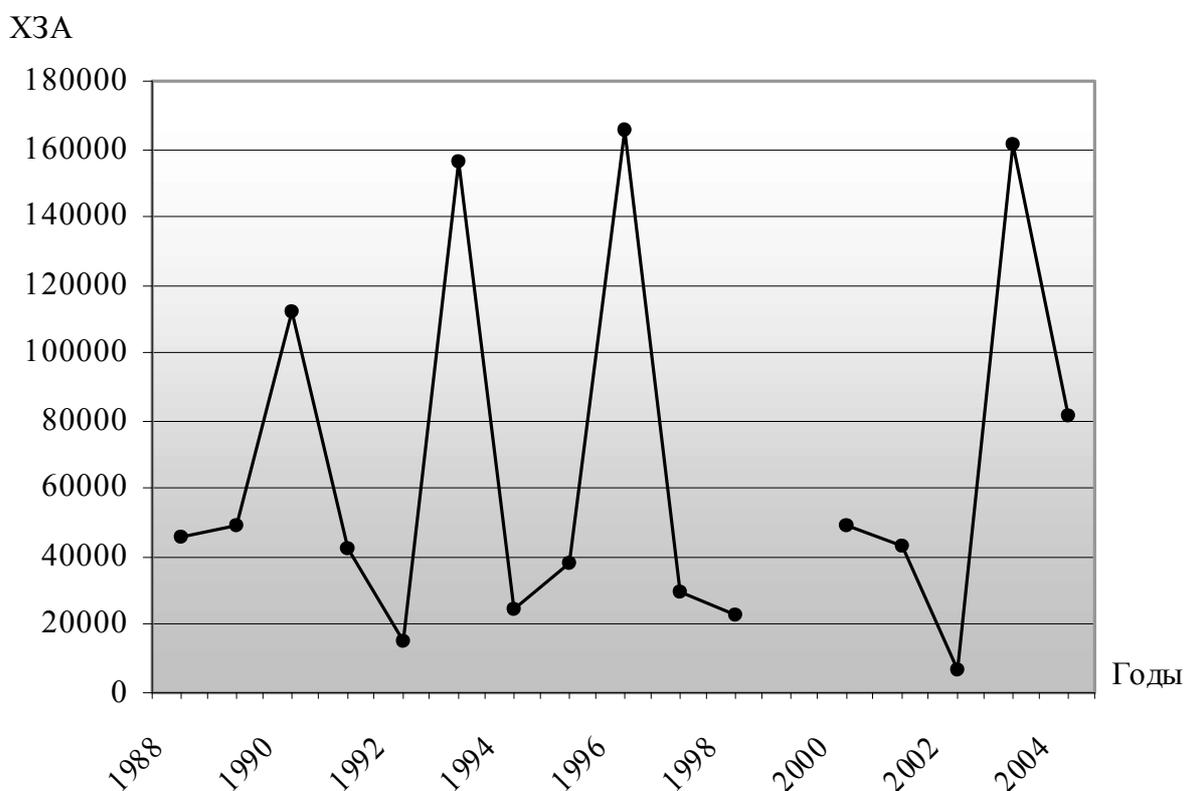


Рисунок 1.13. Межгодовой ход суммарного холодозапаса апвеллинга для всей акватории Черного моря

1.3. Влияние атмосферных факторов и колебаний интенсивности апвеллинга на формирование промысловых скоплений шпрота

Анализ связи величин условного показателя «холодозапаса», аномалий температуры воды (A_w) в портах, значений промысловой нагрузки на промысле шпрота (B) за май-август позволил выявить по крымскому району и району о. Змеиный прямую зависимость между величинами условного показателя «холодозапаса» и аномалиями температуры воды в портах. Этот факт подтверждает репрезентативность спутниковых данных. Видна также и обратная зависимость условного показателя «холодозапаса» и промысловой нагрузки на промысле шпрота. Максимальным среднемесячным значениям условного показателя соответствуют минимальные величины промысловой нагрузки (рис. 1.14, 1.15). Аналогичная ситуация прослежена и по ежедневным наблюдениям.

Результаты корреляционного анализа имеющихся в нашем распоряжении эмпирических выборок свидетельствуют о том, что предложенный показатель активности апвеллингов (ПАА) адекватен реальным апвеллингам на севере (достоверность связи 0,05) и востоке (достоверность связи 0,02) северо-западной части моря. Для июня-августа регрессионные уравнения для этих связей выглядят следующим образом:

$$\text{Хзап.сев.} = 12,321 - 0,561 \times \text{ПАА}$$

$$\text{Хзап.вост.} = 8,202 - 0,414 \times \text{ПАА.}$$

Также выявлена достоверная (с уровнем 0.05) связь «холодозапаса» апвеллингов восточной части северо-западного района для июня-августа с коэффициентом A_{00} за промежуток времени январь-июнь. Уравнение регрессии:

$$\text{Хзап.вост.} = -10,308 + 1,292 \times A_{00 \text{ I-VI}}$$

Это означает, что рост атмосферного давления способствует активизации апвеллинга в данном районе.

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:

$$\text{Хзап.общ.} = 22,377 - 86,029 A_{01 \text{ I-VI}}$$

Это означает, что усиление восточного переноса над морем сопровождается активизацией прибрежных апвеллингов.

Полученные и приведенные выше эмпирические связи имеют прогностическое значение. Они позволяют по данным об атмосферных переносах первого полугодия прогнозировать интенсивность апвеллингов и успешность промысла шпрота в июле-августе.

В завершение отметим одну важную закономерность, касающуюся природы черноморского апвеллинга, которая следует из изложенных в настоящей главе результатов и заключается в следующем: прибрежный апвеллинг по всему периметру Черного моря в основном обусловлен влиянием крупномасштабных атмосферных процессов над регионом и в значительно меньшей степени зависит от режима локальных ветров и систем локальных прибрежных течений.

К аналогичному выводу также пришли авторы работы [58], рассмотрев климатические изменения характеристик апвеллинга у крымского побережья по данным прибрежных контактных наблюдений.

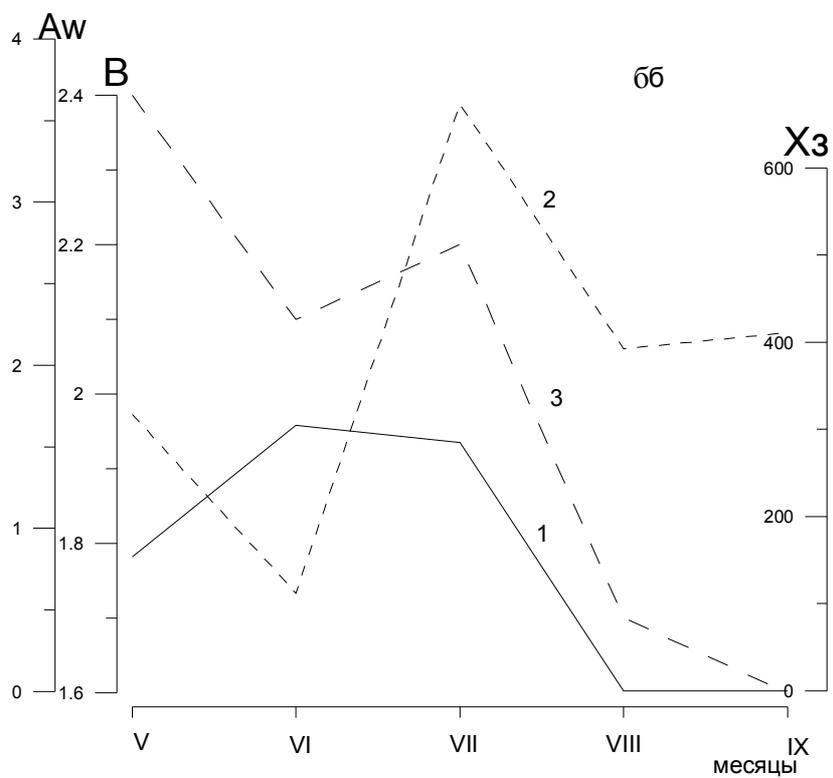
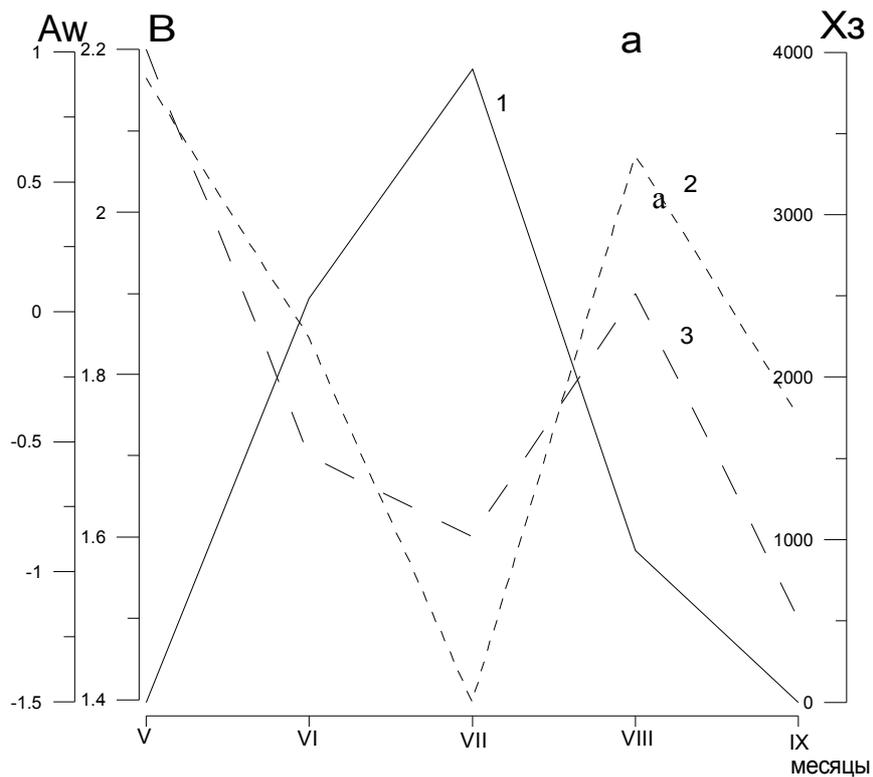


Рисунок 1.14. Изменение условного показателя «холодозапаса» апвеллинга (1), аномалии температуры воды (2) и величин промышленной нагрузки (3) с мая по сентябрь: а) – 2003 г., б) – 2002 г. для Крымского района

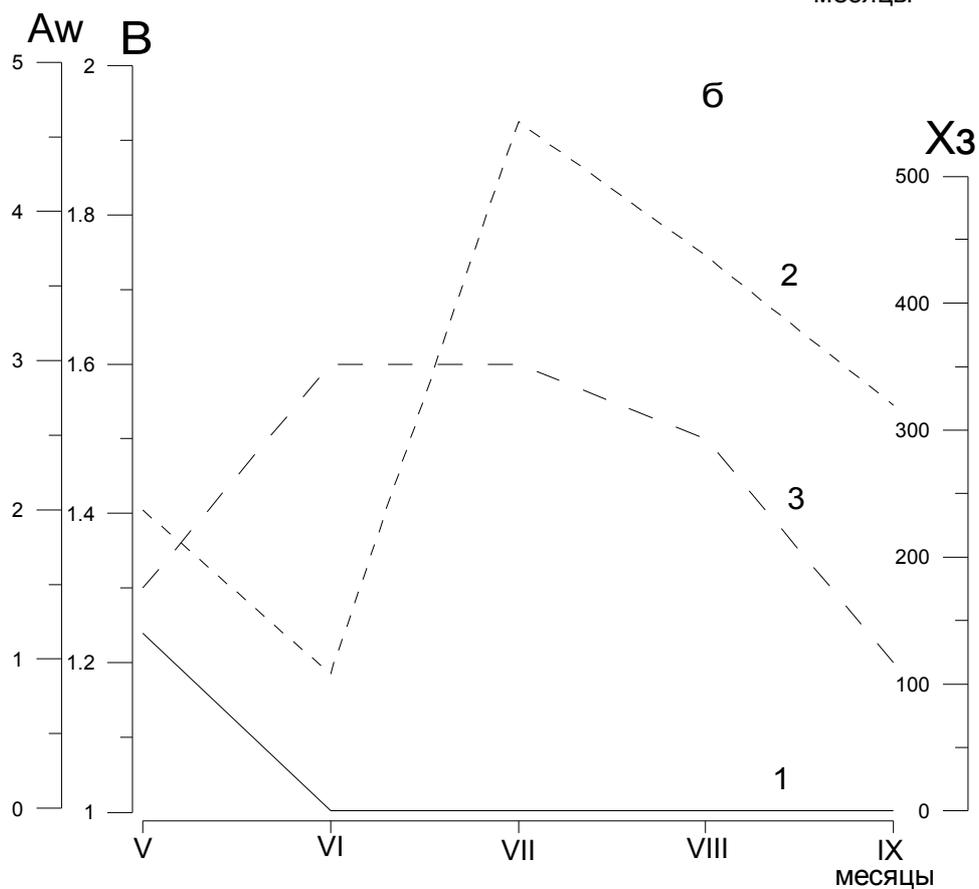
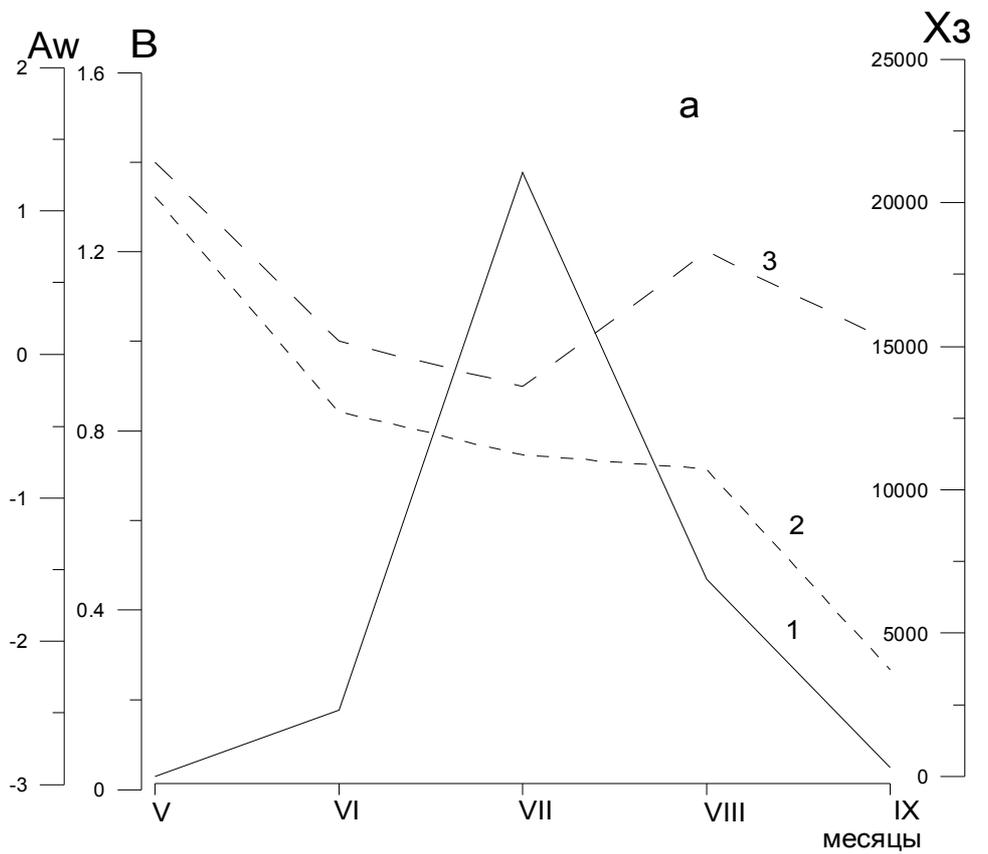


Рисунок 1.15. Изменение условного показателя «холодозапаса» апвеллинга (1), аномалии температуры воды (2) и величин промышленной нагрузки шпрота (3) с мая по сентябрь: а) – 2003 г., б) – 2002 г. для района о. Змеиный

ГЛАВА 2

ВОЗМОЖНОСТЬ КОНТРОЛЯ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД И ПЕРЕНОСА ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ НА БАЗЕ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ. ИЗМЕНЕНИЯ В СИСТЕМЕ ТЕЧЕНИЙ ПРОЛИВА, ВЫЗВАННЫЕ СООРУЖЕНИЕМ ДАМБЫ В ТУЗЛИНСКОЙ ПРОМОИНЕ

В этой главе на основе совместного анализа спутниковых снимков в видимом диапазоне, инструментальных контактных наблюдений за течениями, оптическими свойствами вод и загрязняющими веществами продемонстрирована возможность идентификации и отслеживания системы течений, загрязненных участков, а также источников и путей переноса взвешенного вещества в Керченском проливе на базе спутниковой информации. Рассмотрены изменения некоторых параметров состояния экосистемы Керченского пролива, вызванные сооружением дамбы в тузлинской промоине.

Выявлено, что воды Черного и Азовского морей обладают различными оптическими свойствами. Это позволяет надежно идентифицировать их на спутниковых снимках, отслеживать динамику локальных течений, определять возможные источники и пути распространения взвешенного вещества, участки загрязнения нефтепродуктами и органикой антропогенного происхождения.

Отмеченное выше свойство (различие в оптических характеристиках и, в частности, в природной цветности вод азовского и черноморского происхождения) для идентификации системы течений со спутника в рассматриваемом регионе использовано впервые. В более ранних работах [42, 48, 54, 91, 92] при исследовании течений в Черном море на базе спутниковой информации применялись сведения по альтиметрии и результаты слежения за дрейфтерами.

На основе анализа имеющейся в нашем распоряжении информации показано, что строительство дамбы в Керченском проливе повлекло за собой ряд негативных последствий, связанных с качественными изменениями циркуляции вод, общей интенсификацией системы течений, эрозией острова Тузла, заносимостью Керченской бухты.

Используемые в настоящем разделе спутниковые снимки предоставлены старшим научным сотрудником отдела спутниковой гидрофизики МГИ НАН Украины, кандидатом физико-математических наук С. В. Станичным, за что авторы выражают ему благодарность.

Вся спутниковая информация принята с ИСЗ TERRA, сканер MODIS, комбинация каналов 1 и 2, разрешение 250 м для акватории пролива и 15 м для района острова Тузла.

Наблюдения над течениями в подспутниковых экспериментах, которые анализируются в настоящем разделе, были выполнены при помощи автономных регистраторов течений МГИ-1308. В ходе каждого эксперимента данный прибор вывешивался с борта маломерного заякоренного судна. Регистрация течений на каждой из станций в северной части Керченского пролива осуществлялась на двух горизонтах – у поверхности и у дна с дискретностью 1 минута. Экспозиция прибора – от 10 до 30 минут.

При составлении схем циркуляции вод в проливе также привлекались данные по течениям, заимствованные из работ А. А. Саркисова и А. А. Щипцова (ссылки далее по тексту), которые были получены, главным образом, навигационным методом в ходе производства гидрографических работ после строительства дамбы в тузлинской промоине.

Сведения о распределении суммарного взвешенного вещества, мутности и загрязнении вод нефтепродуктами получены на основе измерений, выполненных оптическим

зондом – автономным измерителем мутности ИМП-2А. Концентрации взвеси определялись в мг/л, мутность и содержание нефтепродуктов – в условных единицах.

2.1. Особенности термохалинной структуры, загрязнения и оптических свойств вод, взаимодействующих в Керченском проливе. Течения и взвесь, возможность их идентификации со спутника

Анализ многочисленных спутниковых снимков акватории Керченского пролива, а также отдельных контактных (синхронных со спутниковыми наблюдениями) определенных оптических характеристик поверхностных вод свидетельствует о том, что воды Азовского и Черного морей, которые взаимодействуют в проливе и определяют его локальную систему течений, существенно отличаются своими оптическими свойствами и, в частности, природной цветностью [59-61, 88].

Для вод Азовского моря, содержащих высокие концентрации взвешенного вещества, типична повышенная мутность и собственная цветность. На цветных изображениях с ИСЗ воды Азовского и Черного морей отчетливо различаются цветовой гаммой (рис. 2.1). На черно-белых снимках они имеют соответственно белый (иногда серый) и

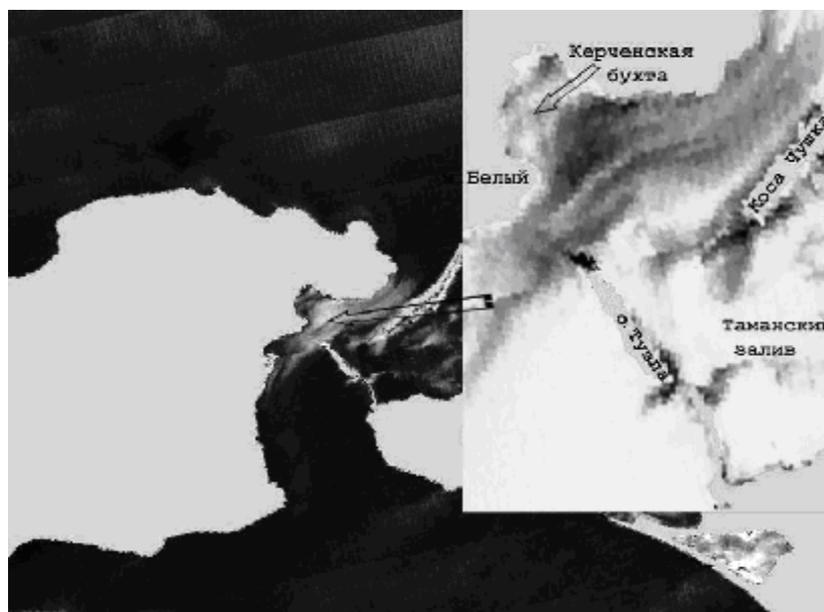


Рисунок 2.1. Пример цветного спутникового снимка района Керченского пролива 15 мая 2005 г. (на врезке – фрагмент этого снимка в реверсном изображении)

черный цвет. Причем яркость белой окраски прямо пропорциональна концентрации суммарного взвешенного вещества в верхнем слое вод. Это свойство, позволяющее выделять соответствующие потоки на спутниковых снимках и отслеживать динамику локальных течений, а также определять источники и пути распространения взвешенного вещества в Керченском проливе, использовано в настоящем разделе.

Для доказательства обозначенных закономерностей ниже приведен анализ серии океанографических экспериментов, которые были реализованы в 2003-2005 гг. на акватории Керченского пролива.

Район контактных океанографических исследований – Керченская бухта и северная часть Керченского пролива (рис. 2.2). Эмпирические сведения, полученные в ходе указанных экспериментов, содержат информацию о векторах течений на поверхности и в придонном слое, о полях температуры, солёности, гидрохимических элементах, оптических свойствах вод, концентрации некоторых загрязняющих веществ. Из семи съемок для комплексного анализа были отобраны две (эксперименты, проведенные 11 ноября 2004 г. и 15 мая 2005 г.), реализованные при безоблачном небе. Подбор был произведен таким образом, чтобы съемки отражали типичные для пролива динамические ситуации; первая была выполнена при генеральном переносе вод из Черного моря в Азовское,

использовано в настоящем разделе.

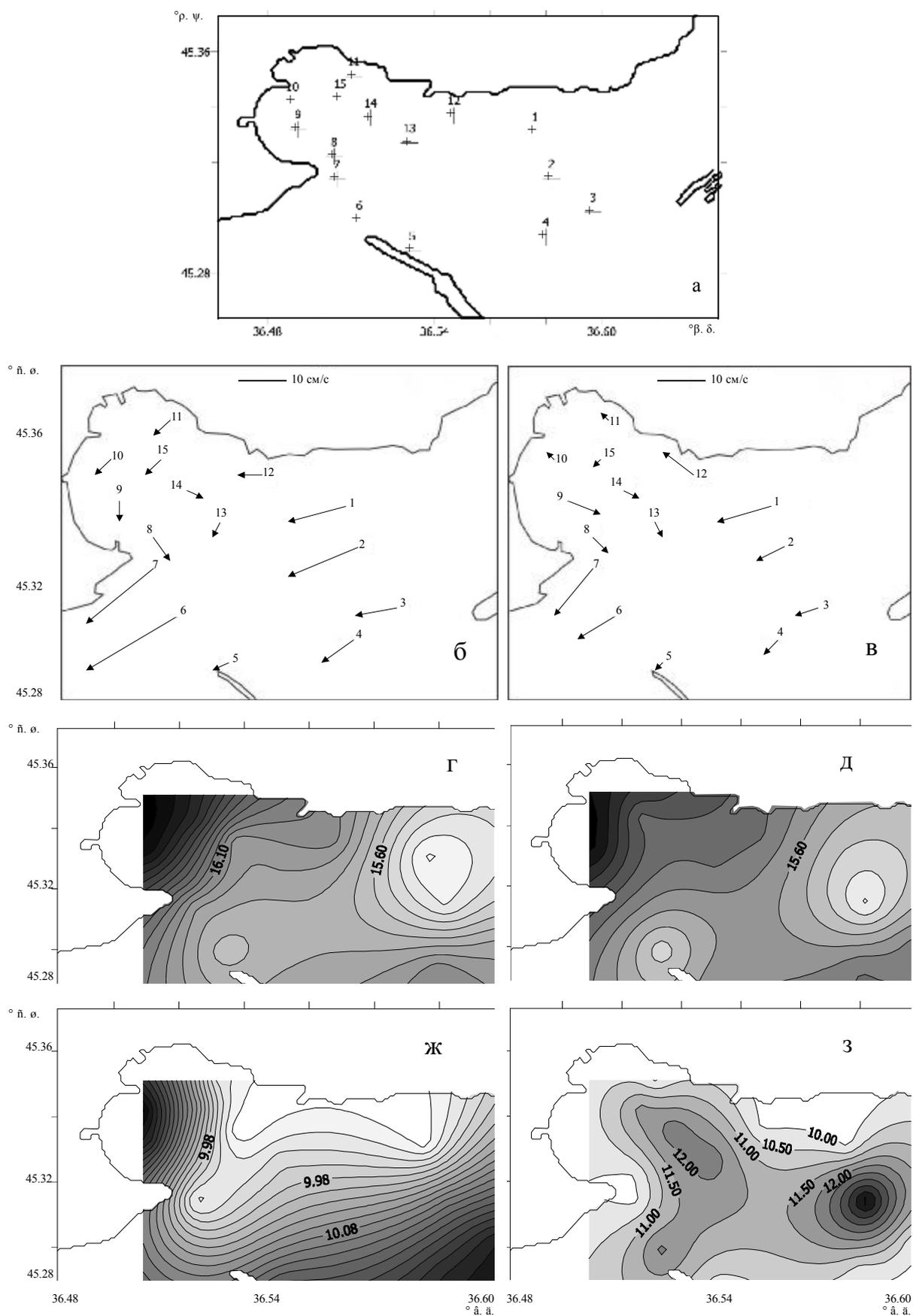


Рисунок 2.2. Схема станций контактного океанографического эксперимента (а) и распределение гидрофизических характеристик на поверхности и у дна: векторы течения (б, в); температура, °С (г, д); соленость, ‰ (ж, з) 15 мая 2005 года

вторая – когда наблюдался поток вод из Азовского моря в Черное. Каждому из этих экспериментов в отделе спутниковой гидрофизики МГИ НАН Украины были подобраны соответствующие космические снимки в видимом диапазоне.

Рассмотрим ситуации детально, начав с более поздней съемки, так как она оказалась наиболее информативной в плане комплексности подспутникового океанографического эксперимента.

Ситуация, зафиксированная 15 мая 2005 года

Анализ *схем течений* для верхнего и придонного слоев вод показал следующее. Генеральный перенос вод в проливе был направлен из Азовского моря в Черное. В центральной части пролива течение было ориентированным, примерно по ветру. Скорость юго-западного течения на поверхности достигала 50-60 см/с и была максимальной вдоль Керчь-Еникальского судоходного канала. В Керченской бухте скорость течения была около 10 см/с. Ветвь азовоморских вод огибала бухту по циклонической траектории и, минуя мыс Белый, выходила в черноморскую часть пролива (см. рис. 2.2 б).

Судя по результатам измерения характеристик течений (см. рис. 2.2 в), у дна динамическая ситуация была совершенно аналогичной ситуации, наблюдавшейся в верхнем слое вод. Однако течения здесь были менее интенсивными.

Спутниковый снимок (рис. 2.3), где в светлом тоне видны потоки мутных азовоморских вод (яркость светлого тона здесь прямо пропорциональна мутности вод), дополняет представленные выше сведения о циркуляции в проливе, которые были получены на базе инструментальных измерений. Здесь отчетливо различаются воды высокой



Рисунок 2.3. Спутниковый снимок акватории Керченского пролива 15 мая 2005 года

мутности, типичные для Азовского моря, которые заполняют западную часть пролива, и прозрачные черноморские воды, наблюдаемые в его восточной части. В частности, видно, что поток азовоморских вод в северной узкости пролива разделен на две ветви – восточную и западную, между которыми существует полоса относительно прозрачной воды. Восточная ветвь азовоморских вод, прижатая к косе Чушка, раздваивается ниже по течению и омывает о. Коса Тузла у его западной и восточной оконечностей.

Более мощная западная ветвь азовоморских вод проникает в Керченскую бухту и омывает ее бе-

рега по циклонической траектории, как было отмечено по данным инструментальных наблюдений (рис. 2.2 б, в). Это течение не захватывает узкую прибрежную полосу, занятую водами достаточно высокой прозрачности. Видно также, что южная часть Керченской бухты занята более прозрачными водами, тогда как поверхностные воды северной ее части отличаются максимальной мутностью (рис. 2.3).

Анализ спутникового снимка (правый нижний угол) обнаруживает также ветвь течения, направленную в Таманский залив (рис. 2.3). Об этом свидетельствует язык мутных вод, наблюдаемый в узкости между восточной оконечностью о. Коса Тузла и дамбой. Он прижат к дамбе и ориентирован на восток северо-восток. Его яркость на снимке убывает в этом направлении. Судя по структуре поля мутности на космическом снимке, в Таманском заливе, как и в Керченской бухте, преобладала циклоническая циркуляция вод.

В узкости между восточной оконечностью о. Тузла и дамбой наблюдались два разнонаправленных потока вдоль ее берегов.

Зафиксированная в ходе анализируемого эксперимента и описанная выше динамическая ситуация отражает динамику вод пролива в современной ситуации – при наличии дамбы в тузлинской промоине. На первый взгляд она достаточно хорошо согласуется с типичной для Керченского пролива картиной течений, полученной по результатам выполненных ранее океанографических климатических исследований системы течений в проливе [7, 36]. Однако более детальный анализ, представленный в следующем подразделе, позволил обнаружить ряд принципиально иных свойств общей циркуляции вод в Керченском проливе, которые возникли в последние годы и могут быть следствием антропогенного вмешательства в экосистему пролива, вызванного строительством дамбы.

Анализ структуры *термохалинного поля* подтвердил существование потока относительно холодных и низко соленых азовских вод в северной части узкости Керченского пролива, который был прижат к берегу северной части Керченской бухты и имел генеральное направление на юго-запад (см. рис. 2.2). Температура в стрежне этого течения 15,2-15,6 °С; соленость 9,9-10,1 ‰. В южной части бухты и мористее указанного потока температура и соленость увеличивались, а его границы довольно отчетливо отслеживались в виде полос повышенного горизонтального градиента обоих термохалинных параметров среды. По T-, S-признакам в южной части Керченской бухты преобладали воды черноморского происхождения, характеризовавшиеся относительно высокими значениями температуры и солености, соответственно равными 17,6 °С и 11,5 ‰ (см. рис. 2.2 г-з).

Верхний слой толщиной 3-5 м был хорошо перемешанным ветровым волнением. Глубже наблюдалась достаточно выраженная вертикальная стратификация температуры и солености. В канале, на глубине 11-13 м, температура воды убывала до 15,1 °С, соленость увеличивалась до 14,1 ‰. То есть наиболее глубокие места рассматриваемой акватории занимали трансформированные воды Черного моря.

Максимум концентрации *суммарной взвеси*, наиболее ярко выраженный в придонном слое вод, согласно оптическим контактным измерениям, был зафиксирован в южной части Керченской бухты, в районе мыса Белый (4, 8 и 15 мг/л в верхнем, промежуточном и придонном слое соответственно) (рис. 2.4 а-в). Возможно, что южная, наиболее изолированная часть бухты, представляет собой природную ловушку, способствующую аккумуляции взвешенного вещества. Наличие ила – отличительная черта южной части Керченской бухты, тогда как на остальной части акватории бухты преобладает твердый грунт в виде песка и ракушки.

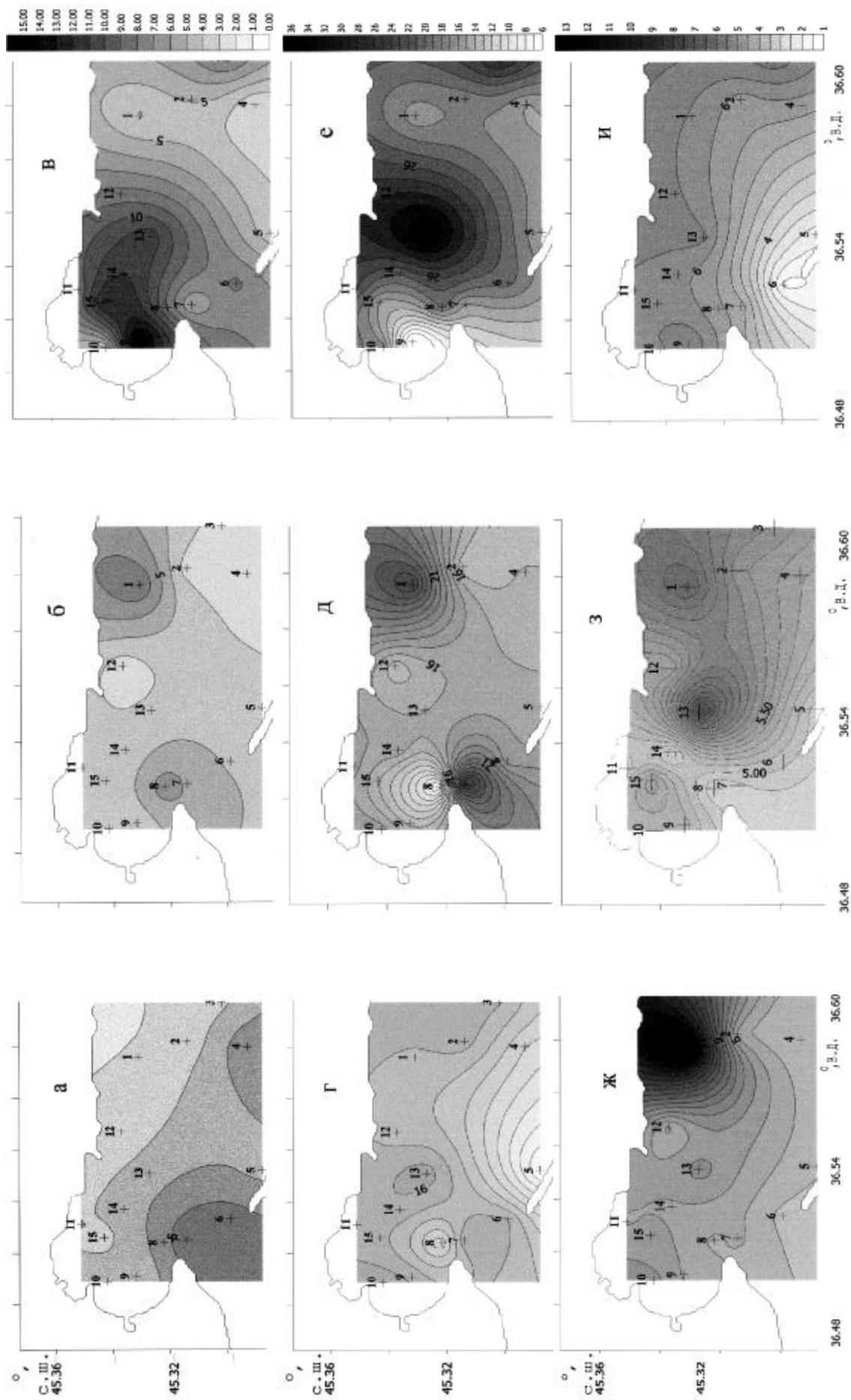


Рисунок 2.4. Распределение суммарного взвешенного вещества, мЛ/л (а-в); растворенного органического вещества, мЛ/л (г-е); растворенных нефтеуглеродов, отн. ед. (ж-и) соответственно на поверхности и у дна 15 мая 2005 г.

Отметим, что по спутниковым наблюдениям (см. рис. 2.3) рассмотренная выше особенность в распределении взвеси (мутности) отсутствует. Это связано с тем, что максимум концентрации взвешенного вещества в южной части Керченской бухты расположен у дна, а верхний слой вод имеет относительно небольшую мутность. Спутниковый снимок для данной части бухты (относительно прозрачные воды) также подтверждает предположение, высказанное выше при анализе структуры термохалинного поля о том, что в южной части Керченской бухты преобладали воды черноморского происхождения.

Второй локальный максимум концентрации суммарной взвеси (до 12 мг/л) обнаружен в подповерхностном слое в северной части Керченской бухты, примерно на траверзе поселка Капканы (рис. 2.4 б). Его происхождение интерпретировано далее по тексту при анализе контактных оптических измерений.

Интересный результат получен при рассмотрении особенностей вертикального распределения концентрации суммарной взвеси, по данным зонда-мутномера [90, 95]. Обнаружена тонкая структура поля данной гидрооптической величины, которая оказалась наиболее развитой в южной части Керченской бухты. Здесь выявлены чередующиеся слои мутных и прозрачных вод с вертикальным масштабом от нескольких дециметров до метра.

На поверхности бухты *растворенное органическое вещество искусственного происхождения* распределено более или менее равномерно. Его концентрация убывала по направлению на юг в мористую сторону бухты (от 16 до 11 мг/л), что существенно превышало значения концентраций не только открытых (1,5-2,0 мг/л), но и прибрежных черноморских вод (4-6 мг/л) [85] (рис. 2.4 г).

В подповерхностном и придонном слоях данная характеристика имела хорошо выраженный максимум (до 30 мг/л), который по месту своего расположения примерно совпадал с максимумом концентрации суммарной взвеси (траверз поселка Капканы) (рис. 2.4).

Распределение концентрации растворенных нефтепродуктов в поверхностных и подповерхностных водах качественно аналогично распределению концентрации рассмотренного выше органического вещества антропогенного происхождения. Локальный максимум нефтепродуктов имел концентрации до 18 отн. ед. В придонном слое концентрация растворенных нефтепродуктов уменьшалась до 5 отн. ед. Здесь распределение по акватории Керченской бухты более равномерное с убыванием на юг (рис. 2.4 ж, з, и).

Пятно повышенной концентрации общей взвеси, растворенного органического вещества и нефтепродуктов, обнаруженное в северной части Керченской бухты, было обусловлено антропогенным воздействием.

Данный загрязненный участок прибрежных вод также отчетливо выделяется на спутниковом снимке в виде пятна повышенной яркости на общем фоне потока азовоморских вод. Локальное яркое пятно на спутниковом снимке, отражающее мутные воды, но значительно меньшего масштаба, зафиксировано на акватории Керченского торгового порта (см. рис. 2.3).

Имеются основания предположить, что данное пятно, содержащее достаточно высокую концентрацию растворенной взвеси искусственного происхождения и растворенных нефтепродуктов, имело, скорее всего, адвективное происхождение. В пользу высказанного предположения свидетельствует ряд следующих факторов. Зафиксирована высокая концентрация растворенных нефтепродуктов. Опыт экспериментальных оптичес-

ких исследований бухт крымского побережья по определению концентрации растворенных нефтепродуктов (т. е. тех, которые попали в морскую среду задолго до момента их обнаружения) показывает, что их высокое содержание обусловлено постоянно действующими источниками. Свежие выбросы нефтепродуктов, которые не перешли в растворенное состояние, использованный и описанный здесь оптический метод не фиксирует. Заметная концентрация нефтеуглеродов в растворе морской воды из попавших сюда нефтепродуктов в виде пленки, суспензии, твердых фракций накапливается в течение достаточно длительного промежутка времени. Как правило, пятна со столь значительной концентрацией растворенных нефтепродуктов, обнаруженные в Керченской бухте в мае 2005 г., характерны для достаточно изолированных бухт, где расположены интенсивно эксплуатируемые флотом причальные линии. Например, бухты Южная и Артиллерийская в Севастополе и Балаклавская бухта. Или же это участки, на берегах которых находятся нефтехранилища, такие как Казачья бухта у Севастополя [86-87]. Керченская бухта не относится к изолированным. Она хорошо вентилируется течениями. К тому же обнаруженное здесь пятно находилось в струях ярко выраженного течения из Азовского моря. Судя по его конфигурации, пятно не связано с источником, который мог бы располагаться на берегах бухты.

Анализ исходной информации позволил выделить в пределах рассматриваемой акватории ряд источников взвеси как природных, так и искусственного происхождения. Естественные источники – это, в первую очередь, поток вод из Азовского моря, оконечности кос Чушка и Тузла, размываемые генеральными течениями, узкость между восточной оконечностью косы Тузла и дамбой, а также сама дамба, южная часть Керченской бухты.

Сочетание спутниковых снимков поверхности моря с параллельными контактными определениями мутности вод, как это было проведено в рассматриваемом эксперименте, определяет возможность тарирования спутниковых данных и их приведения к реальным количественным оценкам концентрации суммарной взвеси в верхнем слое вод рассматриваемого региона. Подобного рода методические исследования целесообразно продолжить.

Рассмотрим возможность идентификации системы течений и переноса взвешенного вещества в Керченском проливе на базе спутниковой информации в условиях, когда генеральный поток вод направлен из Черного моря в Азовское. Для этого воспользуемся данными океанографического эксперимента, который был реализован в ноябре 2004 г., и соответствующим ему спутниковым снимком.

Ситуация, зафиксированная 11 ноября 2004 года

Интерпретация видимого изображения на спутниковом снимке в плане определения направления распространения азовоморских и черноморских вод в Керченском проливе выявила картину, которая, хорошо согласуется с течениями на поверхности по данным подспутникового контактного океанографического эксперимента для северной части пролива (рис. 2.5, 2.6).

Спутниковый снимок и соответствующее векторное поле течений на поверхности, полученное инструментально, показывают следующее. Основной поток черноморских вод, который достиг южного побережья Тузлы, проникал в центральную часть пролива через узкость между Тузлой и керченским берегом. Минуя эту узкость, течение разделялось на три ветви, следующие в Таманский залив, в Азовское море и в Керченскую бухту.

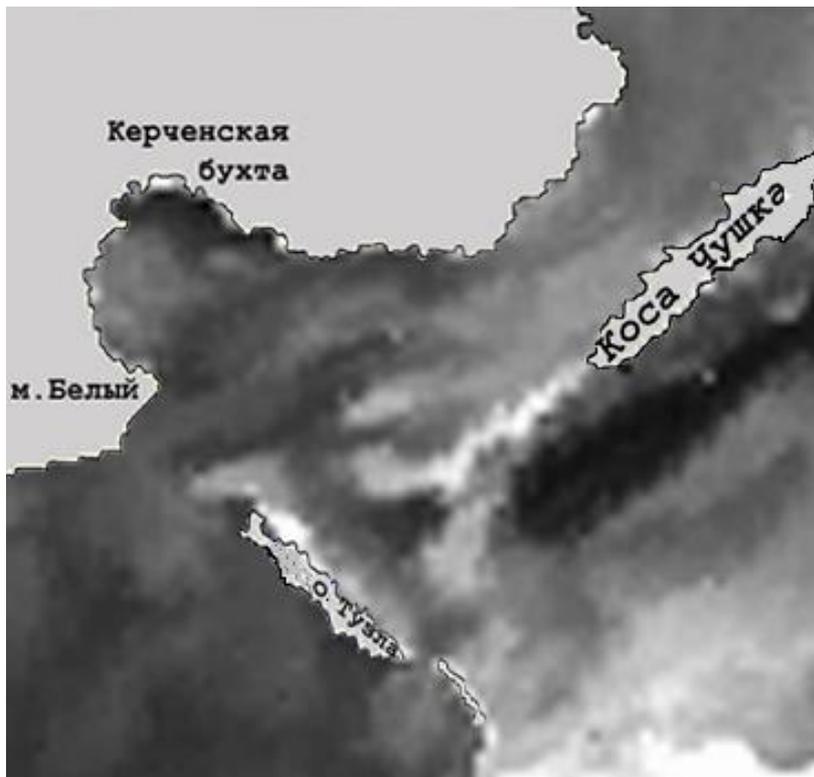


Рисунок 2.5. Спутниковый снимок акватории Керченского пролива 11 ноября 2004 г.

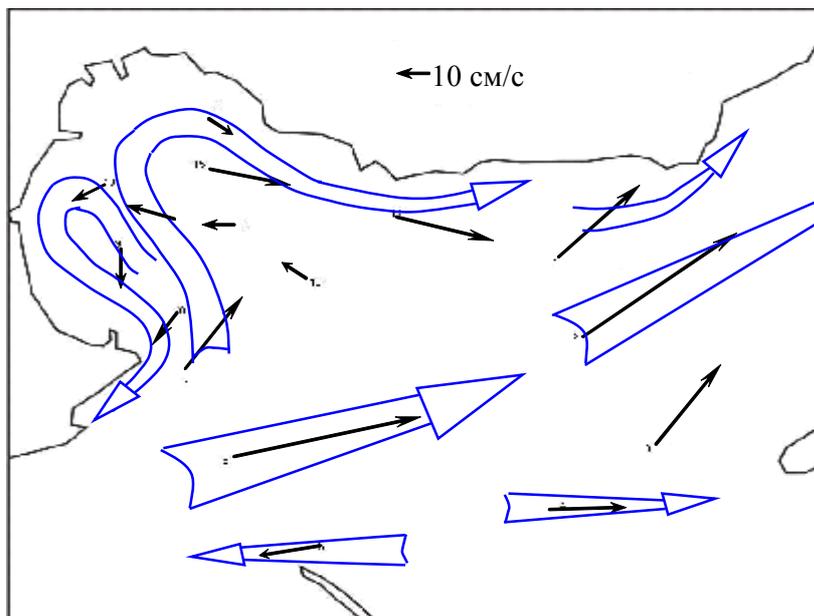


Рисунок 2.6. Векторы течений северной части акватории Керченского пролива 11 ноября 2004 г. по данным инструментальных измерений

отличавшееся присутствием мутной азовской морской воды (рис. 2.5, 2.6).

Как и в первом рассмотренном эксперименте на предыдущем снимке (см. рис. 2.3), на данном снимке (рис. 2.5) хорошо различимы вдольбереговые потоки мутных вод, омывавших косу Чушка, а также факел вод высокой мутности у западной оконечности о. Тузла.

В Таманском заливе прозрачные воды Черного моря омывали восточное побережье косы Чушка. Между о. Тузла и дамбой наблюдался поток мутных вод, который вытекал из этой узкости в южном направлении и распространялся в черноморскую часть пролива. Такая картина позволяет предположить антициклоническую циркуляцию в Таманском заливе. Хотя также вероятно, что наличие ярко выраженных локальных пятен мутной и прозрачной воды может быть обусловлено системой вихрей различного знака (рис. 2.5). Высокая вероятность формирования устойчивых слабых круговых течений в Таманском заливе при наличии дамбы также показана В. А. Брянцевым [29].

Ветвь, направленная в Азовское море и ориентированная, примерно, по центру северной части пролива, имела скорость на поверхности около 80 см/с (рис. 2.5, 2.6).

Третья ветвь, проникшая в Керченскую бухту, формировала здесь два вихревых образования – антициклоническое, которое располагалось в северной части бухты и содержало прозрачную черноморскую воду, и циклоническое в ее южной части, отличающееся присутствием мутной азовской морской воды (рис. 2.5, 2.6).

2.2. Изменения в циркуляции вод Керченского пролива, источниках и перемещении взвеси, возникшие после сооружения дамбы в тузлинской промоине

Осенью 2003 г. в тузлинской промоине Керченского пролива была сооружена дамба, которая примерно на порядок сузила проход между о. Тузла и Таманским берегом. В проливе возник антропогенный элемент, практически перекрывший одну из трех узкостей, через которые осуществлялся водообмен между Черным и Азовским морями. Так как протяженность дамбы оказалась соизмеримой с шириной указанных узкостей, то данное крупномасштабное на фоне естественных морфометрических форм пролива искусственное образование повлекло ряд существенных негативных изменений в экосистеме рассматриваемой акватории.

До строительства дамбы ширина прохода между островом и таманским берегом была около двух миль. Между южной оконечностью о. Тузла и таманским берегом существовала цепь отмелей и банок с глубиной над вершинными поверхностями от 0,4 до 0,9 м при общем фоне глубин 3-4 м [66].

Значительное уменьшение ширины узкости (до 350 м), через которую осуществляется водообмен между Таманским заливом и южной частью Керченского пролива, привело к резкому возрастанию скорости течения и активизации процессов эрозии острова и дна как на близлежащих, так и удаленных акваториях пролива.

Мы располагаем немногочисленными сведениями о течениях непосредственно в новообразованной узкости (проране). Однако практически все они указывают на значительное увеличение скорости течения в этом месте. Согласно инструментальным измерениям, которые были выполнены экспедицией МГИ НАН Украины в марте 2004 г. [46], скорость потока южного направления на поверхности в проране в маловетреную погоду была около 40 см/с. По оценкам В. А. Брянцева [29] после строительства дамбы скорость в проране возросла в 12 раз. Согласно расчетам, которые были получены навигационным методом (по сносу судна и истинному ветру) [76, 77], в ходе выполнения гидрографических работ в узкости между о. Тузла и дамбой отмечены течения со скоростью 260-270 см/с.

Имеются основания полагать, что дамба влияет на циркуляцию вод по всему Керченскому проливу.

Согласно данным проведенного нами статистического анализа по архивной выборке, за время с 1926 по 2002 г. (рис. 2.7), в проливе преобладали слабые течения. Наиболее часто с суммарной повторяемостью 64 %, фиксировались течения со скоростью от 2 до 20 см/с, причем максимум повторяемости в этом интервале (18 %) приходился на течения со скоростью 5-10 см/с. Интенсивные течения со скоростью в 1-2 узла и более (50-110 см/с) наблюдались крайне редко. Их суммарная повторяемость не превышала 2 %.

Достаточно емкой выборки для получения достоверных статистических характеристик по течениям в проливе за время, прошедшее после строительства дамбы, не существует. Вместе с тем, проведенные в последние годы сотрудниками ЮгНИРО и МГИ НАН Украины океанографические съемки акваторий Керченской бухты и северной части пролива [59-61, 46, 76, 77] (частично их результаты помещены в предыдущем подразделе; см. рис. 2.2, 2.6) свидетельствуют об интенсификации всей системы течений.

Так, согласно современным данным инструментальных измерений течений вдоль судоходного Керчь-Еникальского канала преобладает скорость течения в интервале 40-60 см/с. До строительства дамбы скорость течения вдоль оси канала, как правило,

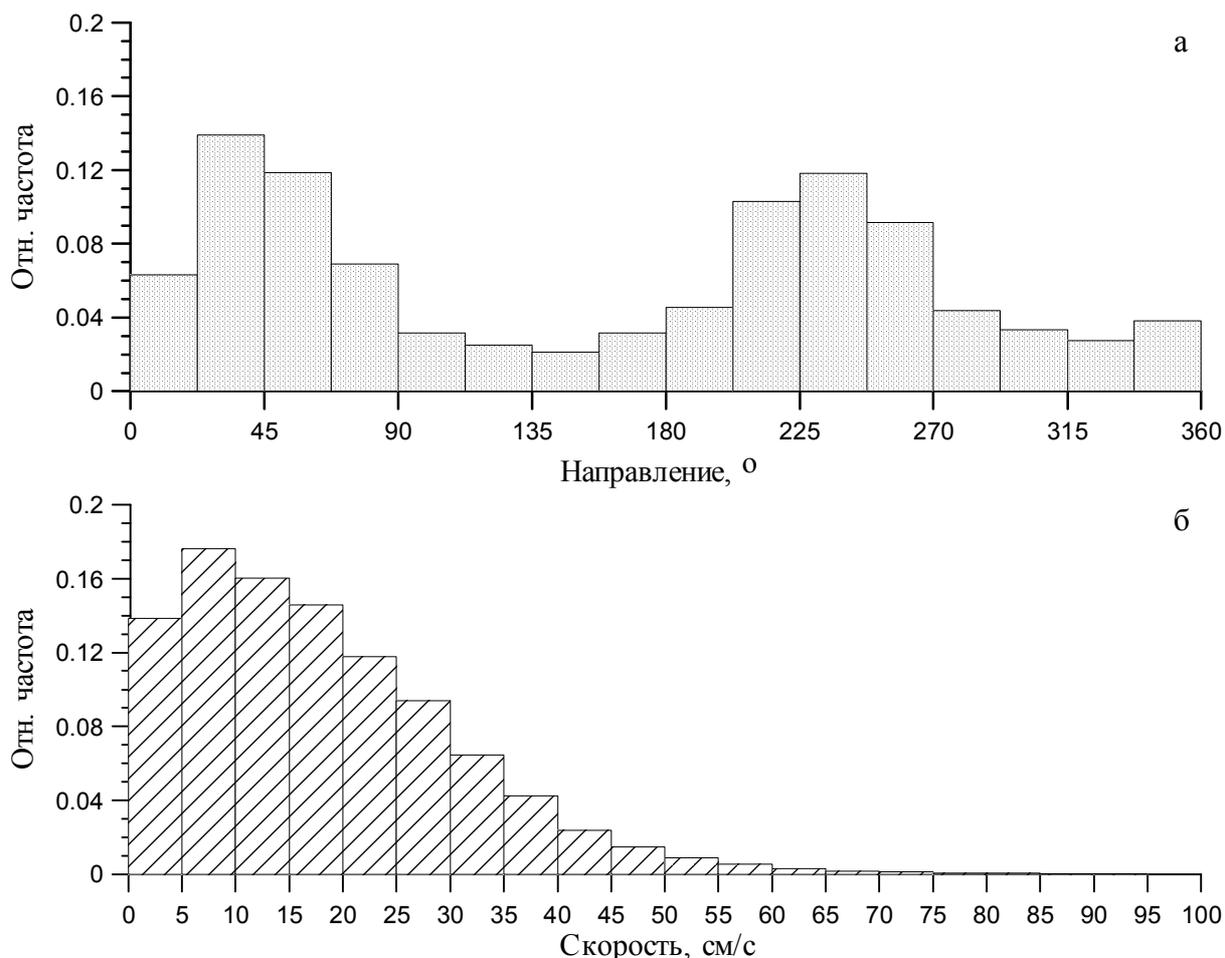


Рисунок 2.7. Гистограммы направления (а) и скорости течений (б) в Керченском проливе до строительства тузлинской дамбы

не превышала 20-30 см/с, а в северной части пролива характерные ее значения оценивались примерно в 10 см/с [7, 36].

В узкости между о. Тузла и керченским берегом, где до сооружения дамбы течение на поверхности усиливалось до 40 см/с [7], в последние годы инструментально отмечены течения со скоростью 80-90 см/с. По оценкам, выполненным навигационным методом, в этой узкости зафиксированы скорости течения до 120 см/с [76, 77].

Сооружение дамбы привело не только к количественным, но и к качественным изменениям в системе течений Керченского пролива. Об этом свидетельствует сравнительный анализ современных схем циркуляции со схемами, которые были получены на основе обобщения всех имевшихся инструментальных наблюдений за течениями за время с 1926 по 1986 г. Последние, предложенные Э. Н. Альтманом [7], изображены на рис. 2.8.

В предыдущем подразделе, а также в литературе [76, 77] показано, что в Керченской бухте и в Таманском заливе система течений в последние годы представлена несколькими вихревыми образованиями различного знака. Тогда как известные исследования Э. Н. Альтмана [7] указывают на существование в Керченской бухте и в Таманском заливе по одному вихревому образованию. Причем в Таманском заливе, независимо от направления генерального переноса вод через пролив, постоянно присутствовал циклонический круговорот (рис. 2.8).

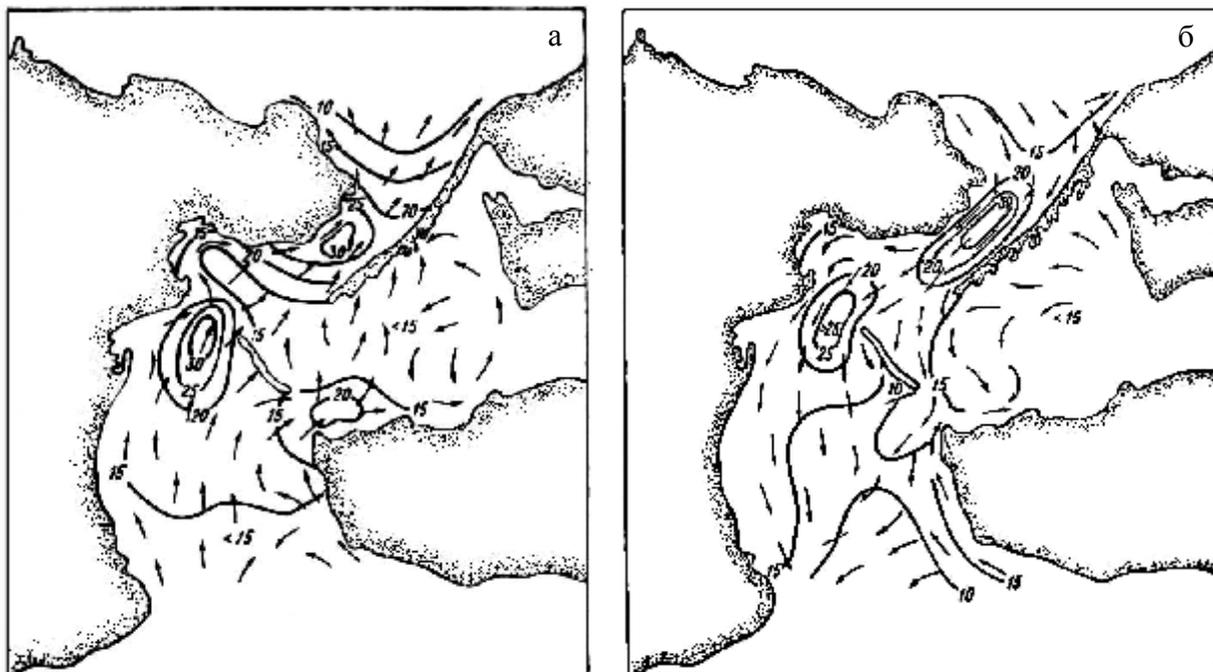


Рисунок 2.8. Типовые схемы циркуляции вод в Керченском проливе до строительства дамбы по Э. Альтману [33]: а – черноморский поток; б – азовский поток

После строительства дамбы при черноморском типе водообмена в Таманском заливе впервые отмечена антициклоническая циркуляция вод и течение южного направления через узкость между о. Тузла и дамбой (см. рис. 2.5, а также [42, 61, 62]).

До строительства дамбы при черноморском типе циркуляции через узкость между о. Тузла и таманским берегом проходила одна из двух основных ветвей течения северного направления и осуществлялся водообмен между южной и северной частями Керченского пролива [7] (рис. 2.8). В настоящее время водообмен в проливе при переносе вод из Черного моря в Азовское обеспечивается лишь одной ветвью течения – через узкость между керченским берегом и о. Тузла.

К северу от этой узкости основной поток разделяется на три ветви, направленные в Таманский залив, к северной узкости Керченского пролива и в Керченскую бухту.

Ветвь течения, проникающая в Таманский залив между о. Тузла и южной оконечностью косы Чушка, которая зафиксирована инструментально (см. рис. 2.5, 2.6), также обнаруживается по спутниковым данным. Об этом свидетельствуют прозрачные черноморские воды, наблюдаемые в западной части Таманского залива (см. рис. 2.5). Данная ветвь, как новый элемент циркуляции, возникший вследствие сооружения дамбы, рассмотрена в [51, 75] при теоретическом исследовании системы течений в проливе в современных условиях.

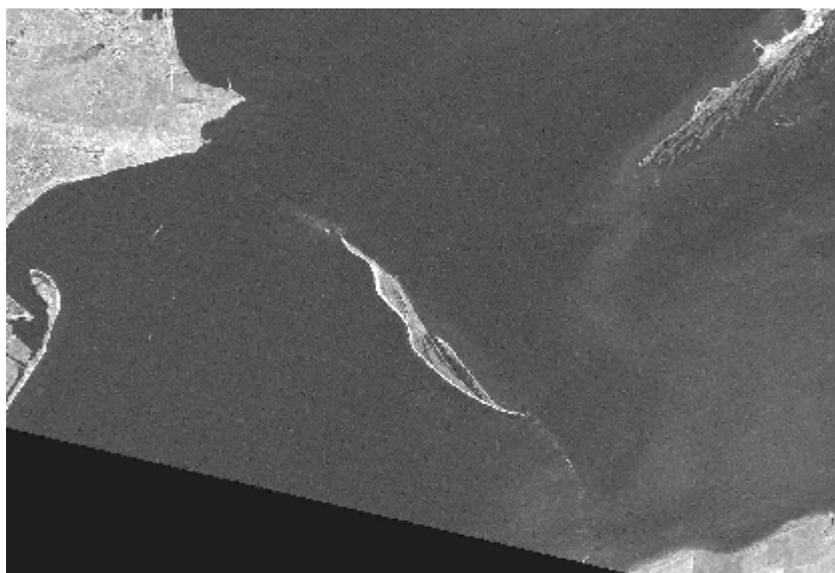
Существование этой ветви, а также потока южного направления через проан из Таманского залива в черноморскую часть пролива (см. рис. 2.5, 2.6), которые не обозначены на схеме [7], дают основания полагать, что после строительства дамбы в Таманском заливе изменился знак циркуляции вод. При черноморском потоке здесь наблюдается антициклоническая циркуляция. Отметим, что поток южного направления через проан, обнаруженный нами на базе спутниковых наблюдений, также зафиксирован путем прямых инструментальных измерений течений экспедицией МГИ НАН Украины в марте 2004 г. [46].

При переносе вод из Азовского моря в Черное в настоящее время наблюдается поток северного направления через узкость между о. Тузла и дамбой, который направлен в Таманский залив (см. рис. 2.3), что не было типичным до строительства дамбы [7] (рис. 2.8).

Строительство дамбы также привело к возникновению мощного источника взвеси в узкости между островом Тузла и дамбой и активной эрозии острова и дна в этом месте. Активизировалась эрозия острова и с его западной оконечности. Это иллюстрируют спутниковые снимки (см. рис. 2.1, 2.3, 2.5). На снимках района до строительства дамбы (рис. 2.9-2.11) столь выраженные потоки взвеси непосредственно у острова отсутствуют. Узкие потоки мутных вод отмечались вдоль таманского берега и у западной оконечности



**Рисунок 2.9. Спутниковый снимок района о. Тузла
09.05.2002 г.**



**Рисунок 2.10. Спутниковый снимок района о. Тузла
05.11.2001 г.**

острова. В настоящее время о. Тузла активно размывается не только с восточной, но и с западной своих оконечностей (см. рис. 2.3, 2.5). Это подтверждают также результаты теоретических исследований [51, 75], где показано, что строительство дамбы стало причиной увеличения скорости течений, омывающих о. Тузла.

Наблюдаемая в последнее время активная заносимость Керченской бухты и акватории керченского морского торгового порта могут также быть следствием рассматриваемого антропогенного вмешательства в экосистему Керченского пролива. Заносимость Керченской бухты отмечалась и до строительства дамбы. Однако имеются сведения о заметной активизации этого процесса в последнее время.

Общая интенсификация течений, значительное ускорение потоков в основных узкостях негативно сказываются на миграции основных видов промысловых рыб.

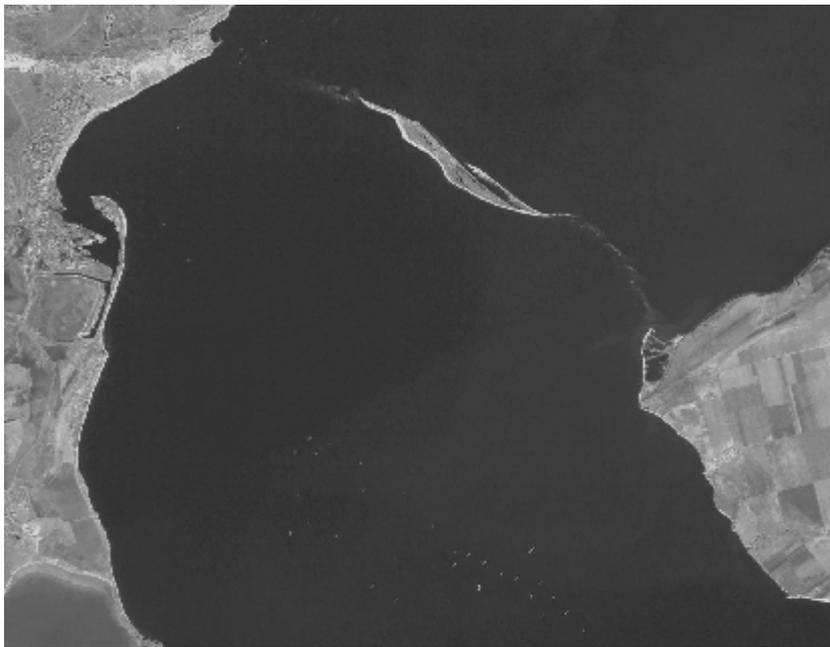


Рисунок 2.11. Спутниковый снимок района о. Тузла 22.09.1999 г.

Трансформация системы течений в Керченской бухте и в Таманском заливе, сопровождаемая формированием более мелких вихревых образований, может привести к их массовой гибели. Эти вопросы детально освещены в работах [10, 29].

Результаты, обобщенные в настоящем разделе, позволяют предложить схемы, отражающие современное состояние системы течений в Керченском проливе. Эти схемы для азовского и черноморского переносов вод представлены на рис. 2.12.

Кратко прокомментируем некоторые их детали.

Из рис. 2.6 следует, что при черноморском переносе течение, проникающее в Керченскую бухту, разделяется на две ветви, формирующие антициклонический и циклонический круговороты, соответственно в ее северной и южной частях. Эта особенность упущена при составлении соответствующей схемы (рис. 2.12, б), где, как и на схеме [7] для черноморского потока, в Керченской бухте показан один антициклонический круговорот. Такой схематический вариант отображения циркуляции в Керченской бухте был

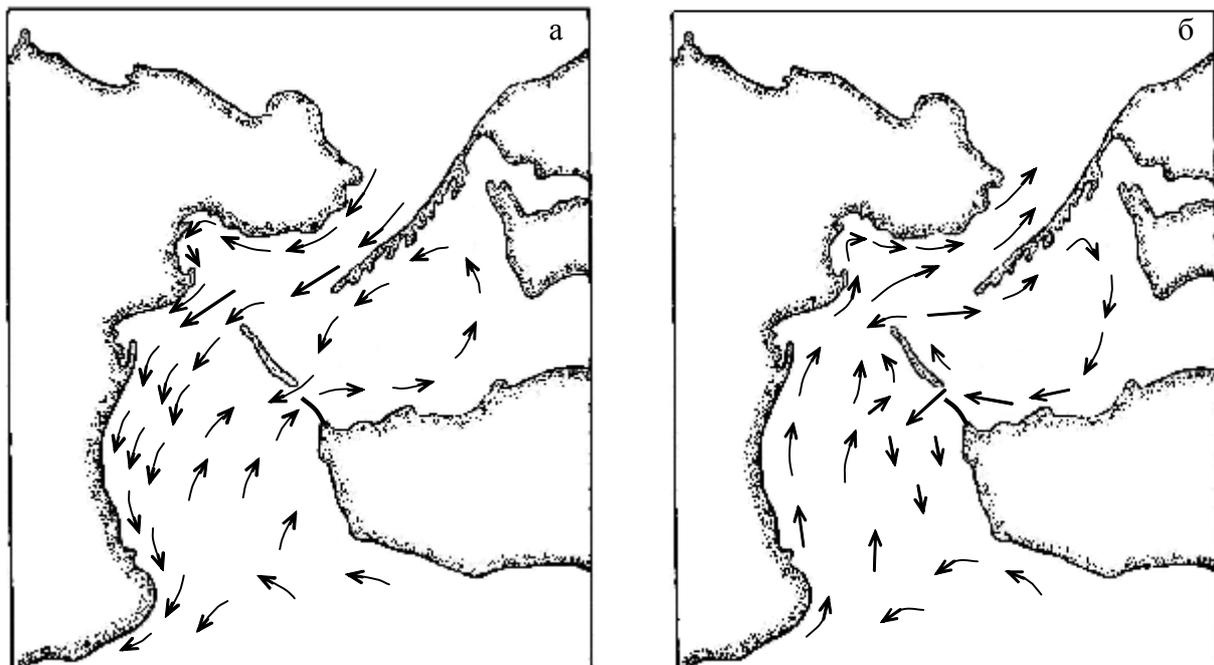


Рисунок 2.12. Типовые схемы циркуляции вод в Керченском проливе после строительства тузлинской дамбы: а – азовский поток, б – черноморский поток

принят нами в результате анализа всех имеющихся в нашем распоряжении эмпирических данных. Он оправдан тем, что в Керченской бухте при генеральном переносе вод из Черного моря наблюдалась циркуляция, как правило, представленная одним или двумя вихревыми образованиями, но в большинстве случаев, с преобладанием антициклонической завихренности.

Анализ спутниковых снимков, а также контактных наблюдений за течениями показал, что в Керченской бухте и в Таманском заливе система течений в последние годы представлена несколькими вихревыми образованиями различного знака. Тогда как в то же время известные исследования Э. Н. Альтмана [7] указывают на существование в Керченской бухте и в Таманском заливе по одному вихревому образованию. Вероятно, что отмеченные изменения не связаны тесным образом с влиянием дамбы, так как реальная система течений в указанных районах гораздо сложнее ее схематического представления. По крайней мере известно (например [10]), что и до строительства дамбы в Таманском заливе локальная система течений включала ряд вихревых образований различного знака.

Вместе с тем оценки [29] показывают, что в условиях дамбы возросла вероятность образования устойчивых слабых круговых течений в Таманском заливе, что также подтверждают результаты спутниковых наблюдений, которые представлены в настоящей главе.

ГЛАВА 3

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В АЗОВСКОМ МОРЕ И КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ

Лед относится к наиболее важным в прикладном отношении параметрам морской среды. Практически ежегодно в Азовском море и Керченском проливе в зимний период года наблюдается образование льдов, что определенно влияет на биологическую продуктивность водоемов, вызывает сложности и реальную опасность для гидротехнических сооружений, судоходства и рыбного промысла.

В настоящее время по ледовому режиму Азовского моря и Керченского пролива имеется достаточно емкая литература, посвященная как физике ледообразования [14-16, 20, 40, 41, 45, 79-81], так и биологическим и ихтиологическим последствиям этого явления [1, 9, 50, 63, 67]. Наиболее полно ледовые условия моря освещены в коллективной монографии [45]. В ней, на основе практически всех имевшихся на то время эмпирических сведений (наблюдения с береговых станций, судов, авиаразведка) представлен детальный анализ формирования и развития ледяного покрова, изменение его толщины, характеристики припая, дрейф и торошение ледяных полей, разрушение и таяние ледяного покрова, тенденции многолетней изменчивости, особенности ледовых условий вдоль основных курсов плавания.

С начала 90-х гг. прошлого столетия внимание исследователей к данной практически важной проблеме снизилось. По крайней мере, работы, где были бы обобщены сведения по ледовому режиму Азовского моря за последние 10-15 лет, нам не известны. Вместе с тем, отметим препринт [54], где помещен раздел, посвященный, главным образом, методике наблюдений со спутника и дешифровке снимков в задачах мониторинга ледовых условий в Азовском море. Результаты спутниковых наблюдений за ледовой обстановкой в Азовском море и Керченском проливе, которые получены в ходе ежедневного (для холодного времени года) контроля и анализа соответствующих характеристик среды, и представлены в настоящей работе, – одна из первых попыток обобщения массовой спутниковой информации в рамках обозначенной выше задачи.

В настоящей главе представлены сведения о некоторых закономерностях ледовой обстановки в Азовском море и Керченском проливе за последние 15 лет, выявленные по материалам спутникового мониторинга. В качестве исходных данных использованы материалы, принятые с искусственных спутников Земли в 1991-2006 гг. в телевизионном и инфракрасном диапазонах станцией приема «Su-8», установленной в ЮгНИРО, а также данные Одесского бюро погоды и оперативная информация с находившихся в море судов.

Рассмотрена межгодовая изменчивость ледовитости, а также выполнен сравнительный анализ современного ледового режима с климатическими данными.

К анализу также привлечены результаты исследования развития придонной гипоксии в Азовском море в летние месяцы с 1994 по 2001 г., полученные в ЮгНИРО [13, 17-19]. Оценено влияние суровости зим на развитие зон заморозов. Обнаружена связь между типами зим и интенсивностью летней придонной гипоксии в Азовском море.

3.1. Режим ледовых условия в Азовском море и их связь с био- и рыбопродуктивностью

Азовское море находится в умеренных широтах и в целом относится к типу замерзающих морей с сезонным ледовым покровом. Оно мелководно. Глубина моря в открытой части не превышает 12-13 м, глубины при входе в Таганрогский залив 7-10 м [40, 41]. Значительная часть акватории моря в холодное время ежегодно покрывается льдами.

Гидрометеорологические условия (температурные, ветровые, ледовые), складывающиеся в зимний период, определенно влияют на биологическую продуктивность водоема и, в первую очередь, на величину биомассы фитопланктона в последующие сезоны года.

В мягкие зимы, например, идет процесс образования органического вещества, происходит развитие фитопланктона. После суровых зим летняя биомасса фитопланктона значительно ниже той, которая бывает в годы с мягкими зимами. Аналогично в зависимости от суровости зим изменяется и биомасса зоопланктона [45, 50, 81].

Совокупность вышеперечисленных связей обусловила интерес к исследованию ледового режима Азовского моря.

Ранее было установлено, что ледовитость Азовского моря (площадь, которая покрывается льдами) хорошо согласуется с суммой средних суточных отрицательных температур воздуха в портах Керчь, Таганрог, Приморско-Ахтарск и Геничеськ [40, 45]. По этому признаку была предложена типизация зим на суровые, умеренные и мягкие. Сумма средних суточных отрицательных температур в мягкие зимы менее 200 °С, в умеренные – 200-400 °С, в суровые превышает 400 °С [45].

Мягкие зимы обуславливаются преобладанием в атмосферных процессах циклонического типа циркуляции. Часто наблюдаются положительные температуры воздуха. Низкие значения сохраняются непродолжительное время, поэтому в мягкие зимы наблюдается неустойчивая ледовая обстановка.

В суровые зимы погода определяется хорошо развитым Евро-Азиатским антициклоном. С материка на акваторию Азовского моря постоянно поступает холодный воздух, способствующий быстрому выхолаживанию вод и интенсивному устойчивому льдообразованию.

В умеренные зимы под влиянием антициклонов со Скандинавского полуострова, а также циклонов с Атлантики и Средиземного моря, формируется неустойчивая погода, определяющая средние показатели ледовых условий [40].

Значительное влияние на распределение льдов оказывает ветер, а также физико-географические особенности самого моря: изрезанность берегов, мелководность, низкая соленость.

Ледовый режим моря характеризуется пространственным разнообразием, поэтому чаще всего его характеристики приводятся отдельно для открытых и прибрежных частей, а также для Керченского пролива и Таганрогского залива. В результате многолетних визуальных наблюдений с берега, с судов и редко с самолета были выявлены следующие общие закономерности распределения льдов по акватории всего Азовского моря [40, 45, 80].

Лед чаще всего появляется в конце ноября-начале декабря в Таганрогском заливе, в северных мелководных бухтах и на востоке моря. Отсюда он распространяется на запад, а позже – в южную часть моря. Практически ежегодно к середине января значительная площадь моря покрывается льдами. В прибрежной части моря, как правило, ежегодно наблюдается припай.

Льды Азовского моря отличаются значительной подвижностью. Сильным ветром и течениями лед выносится в те районы, где льдообразование еще не наступило, способствуя охлаждению вод. В результате дрейфа увеличивается также торосистость льдов. Считается, что дрейфующий лед в Азовском море из северных заливов распространяется, как правило, в направлении на запад, юго-запад, а затем через Керченский пролив в Черное море.

Одна из особенностей льдообразования в Азовском море – формирование на мелководных участках донного льда, которое наблюдается при сильном морозе и штиле.

3.2. Ледовая обстановка в Азовском море и Керченском проливе 1991-2006 гг.

Ниже представлены результаты исследования ледового режима Азовского моря, выполненные нами за последние пятнадцать лет на базе спутниковых наблюдений. Анализ исходной эмпирической выборки свидетельствует о том, что за прошедшее время пять зим относились к типу мягких и семь – к типу умеренных (табл. 3.1). Зима 2005-2006 гг. была наиболее холодной. Она отличалась особыми погодными условиями и ледовой обстановкой, в связи с чем ей посвящен отдельный подраздел.

Таблица 3.1
**Типизация зим в Азовском море
в соответствии с [40, 41]**

| Год | Тип зимы |
|-----------|--------------|
| 1993-1994 | Умеренная |
| 1994-1995 | Мягкая |
| 1995-1996 | Умеренная |
| 1996-1997 | Умеренная |
| 1997-1998 | Умеренная |
| 1998-1999 | Мягкая |
| 1999-2000 | Мягкая |
| 2000-2001 | Мягкая |
| 2001-2002 | Умеренная |
| 2002-2003 | Умеренная |
| 2003-2004 | Очень мягкая |

За рассматриваемое время ледовый сезон в Азовском море начинался с появлением льда в восточной части Таганрогского залива. В мягкие зимы ранняя дата появления льда 8 декабря, поздняя – 9 января. В умеренные зимы дата появления первичных форм льда колебалась от 2 по 22 декабря (табл. 3.2).

Значительно позже лед появлялся в северных мелководных бухтах, в Утлюкском заливе, на востоке моря и в районе Приморско-Ахтарска. В глубоководной части моря в умеренные зимы становление ледового покрова наблюдалось в конце декабря - начале января, в мягкие зимы чаще всего центральная часть моря оставалась свободной ото льда.

Ежегодно, независимо от типа зимы, в прибрежной части Азовского моря формировался припай. В умеренные зимы припайные льды наблюдались вдоль всего побережья, а в мягкие прослеживались на отдельных небольших участках.

Максимальное распространение льдов к югу в мягкие зимы наблюдалось с 10 января (ранняя дата) по 22 февраля (поздняя дата). В умеренные зимы южное положение кромки льдов в разные годы отмечалось практически в течение всего холодного сезона года, с 14 декабря по 01 марта.

Исключительной в этом отношении была зима 2003-2004 гг., когда в течение всего зимнего сезона устойчивый ледовый покров в Азовском море так и не образовался. С 9 по 11 января на северо-востоке моря наблюдались только первичные формы льда.

Таблица 3.2
**Характеристика ледового режима в Азовском море
с 1991 по 2004 г.**

| Характерная дата | Первое появление начальных видов льда | | Максимальное распространение к югу | | Последнее полное очищение | | Число очищений за год | |
|------------------|---------------------------------------|-------|------------------------------------|-------|---------------------------|-------|-----------------------|---|
| | М | У | М | У | М | У | М | У |
| Ранняя | 08.11 | 02.12 | 10.01 | 14.12 | 11.01 | 15.03 | 1 | 2 |
| Поздняя | 09.01 | 22.12 | 22.02 | 01.03 | 23.03 | 11.04 | 3 | 1 |

Примечание: М – мягкая зима; У – умеренная зима.

Сроки полного очищения моря ото льда в мягкие зимы приходились на время с 11 января (ранняя дата) по 23 марта (поздняя дата), в умеренные зимы – с 15 марта (ранняя дата) по 11 апреля (поздняя дата). В умеренные зимы очищение моря ото льда продолжалось примерно в течение месяца. Обычно, в первую очередь

очищалась юго-восточная часть моря, затем – его восточная и южная акватории (рис. 3.1 А). Позже всего освобождалась ото льда западная часть моря и Таганрогский залив.

Исключительной в этом плане оказалась зима 1996-1997 гг. (рис. 3.1 Б). Начиная с конца первой декады февраля, под воздействием западного ветра лед с западной части моря был вынесен на восток. К середине месяца западная половина моря оставалась

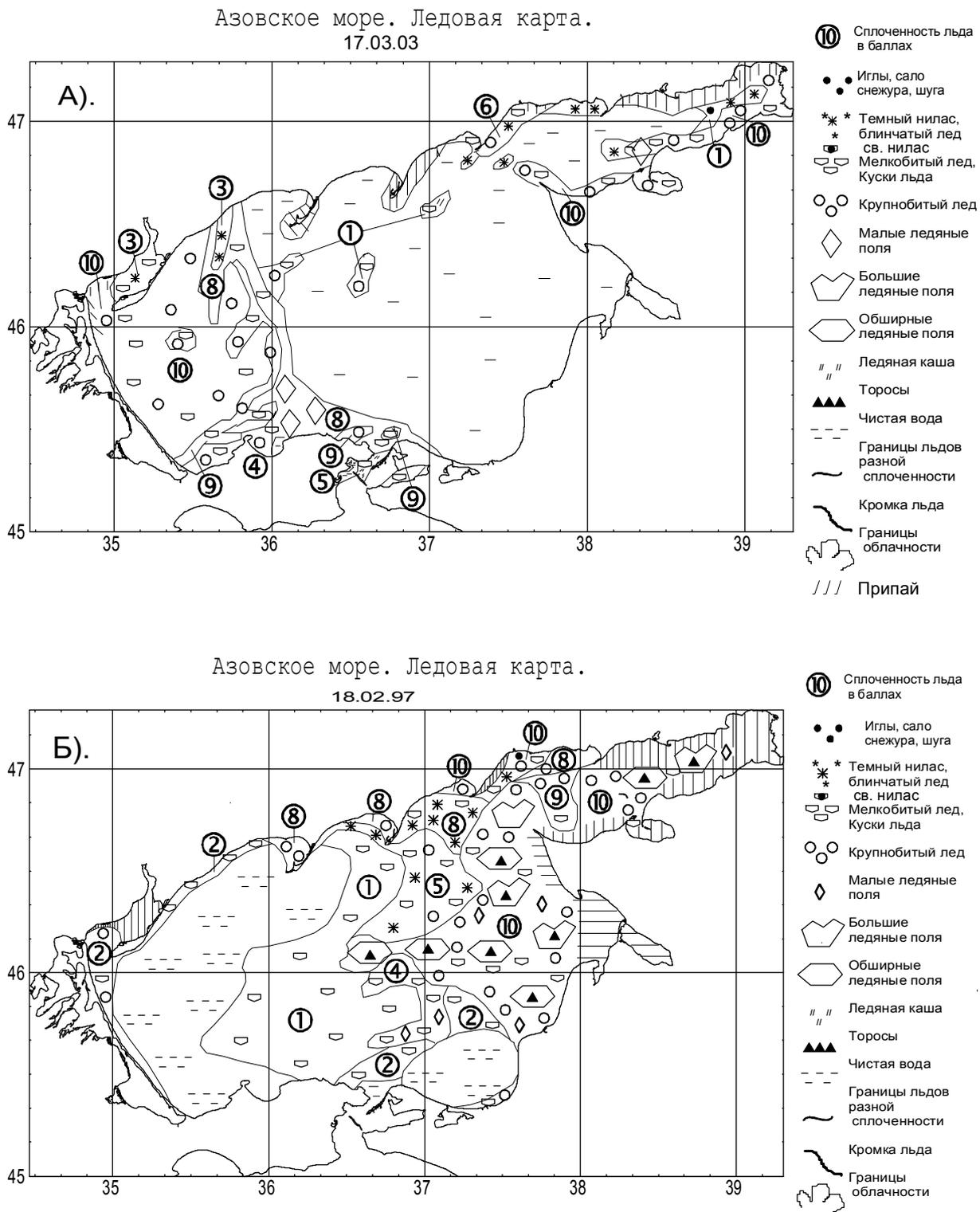


Рисунок 3.1. Распределение льда в Азовском море (А – типичное, Б – аномальное)

покрытой льдами сплоченностью 1-2 балла, за исключением небольших участков вдоль Арабатской стрелки и в центре западного района, где прослеживались более сплоченные льды. На востоке в это время отмечалось уплотнение льдов до 10 баллов. Наиболее масштабный дрейф льдов на восток прослежен 18 февраля. 20-22 февраля под влиянием северо-восточного ветра наблюдался дрейф льдов на юго-запад, а затем снова на восток, где ледовое поле сохранялось до полного таяния. После 18 февраля льды на западе моря не наблюдались. 3 марта произошло практически полное очищение южной части Азовского моря. Восточные акватории моря очистились позже других районов.

Ежегодно, 1-2 раза в течение зимнего сезона Азовское море очищалось ото льда.

Ледяные поля отличались существенной подвижностью. Если ранее какие-либо наблюдения за дрейфом в открытом море отсутствовали, то в настоящее время спутниковые системы позволили проследить дрейф льда по всему морю. Существенные подвижки льда отмечались ежегодно. Их траектории определялись направлением сильного ветра.

Чаще всего наблюдался дрейф льда по северу моря, с северо-востока на юго-запад либо с северо-запада на юго-восток, а также в центральной части моря, в ситуациях, когда имелись открытые ото льда участки. Примером значительных подвижек с запада на восток служит дрейф льда в середине февраля 1997 г., о котором упоминалось выше (рис. 3.1 Б).

Часть льдов в течение зимнего периода под влиянием ветра северных румбов через Керченский пролив выносилась в Черное море.

Необычная ситуация сложилась с 11 марта по 3 апреля 2003 г. С начала второй декады марта восток моря был практически свободен ото льда. Под влиянием северного ветра льды с центральной части Азовского моря поджало к югу. В результате в северной части Керченского пролива и на акватории к северу от пролива длительное время (с 11 по 31 марта) наблюдались непроходимые для судов льды. Ширина полосы «тяжелых» льдов достигала 10-15 миль.

На мелководье и по кромке припая отмечалось сжатие и торошение льда. Эпизодически торосы появлялись в декабре в Таганрогском заливе. Чаще всего они отмечались в феврале на выходе из Таганрогского залива и Керченского пролива, а также в центральной, западной и восточной частях Азовского моря. Высота торосов (по судовым данным) достигала 1 метра.

В результате сравнения ледового режима Азовского моря за анализируемый промежуток времени с климатическими сведениями (средними многолетними) выявлено, что число мягких зим значительно увеличилось, а умеренных и суровых существенно уменьшилось. Типичным было более раннее образование льдов. Также увеличилась вероятность появления льда в декабре как в мягкие, так и в умеренные зимы. В январе в умеренные зимы отмечалась пониженная ледовитость (табл. 3.3).

Зима в целом стала более мягкой, но более затяжной. Если ранее наличие льда в апреле отмечалось только в суровые зимы, то в последние годы лед в апреле наблюдается и в умеренные зимы. Наиболее устойчивый ледовый покров

Таблица 3.3
Вероятность (%) наличия льда в различные по суровости зимы в Азовском море с 1993 по 2004 гг.

| Месяц | Типы зим | |
|---------|-------------|----------------|
| | Мягкая зима | Умеренная зима |
| Ноябрь | 14 | 0 |
| Декабрь | 100 | 61 |
| Январь | 91 | 100 |
| Февраль | 100 | 100 |
| Март | 32 | 87 |
| Апрель | 0 | 12 |

зафиксирован в Таганрогском и Утлютском заливах. Полное замерзание моря происходило эпизодически в умеренные зимы.

Нами была проведена оценка степени влияния суровости зимы на развитие потенциально заморных зон – «теплых пятен», которые отмечались в Азовском море с использованием данных с ИСЗ в июле-августе с 1994 по 2001 г. В результате выявлена качественная связь между типами зим и интенсивностью заморных явлений. Чем мягче зима, тем вероятнее ожидать заморы в следующее за ней лето (рис. 3.2). Исключением стала зима 1997 г., которая, в целом, соответствует типу умеренных, хотя южная половина моря по сумме средних суточных отрицательных температур воздуха в порту Керчь и ледовитости ближе к типу мягкой зимы.

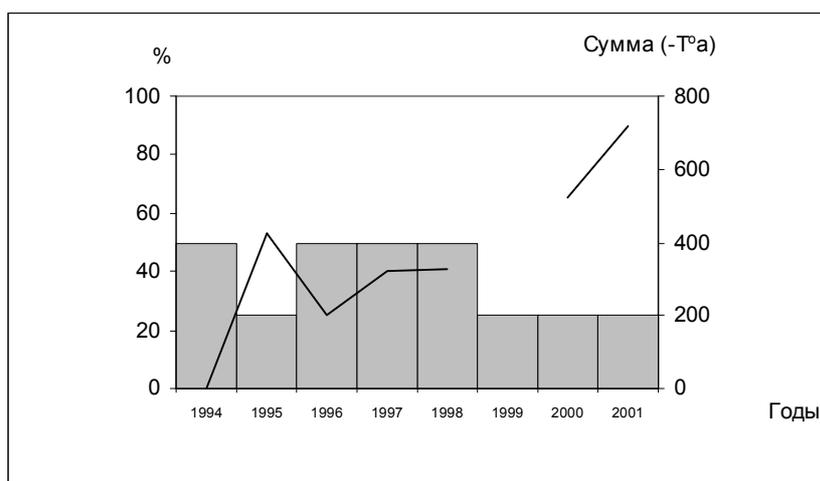


Рисунок 3.2. Показатели состояния экосистемы Азовского моря: 1 – отношение (%) количества дней с «теплыми пятнами» к общему количеству дней с полезной информацией по данным ИСЗ в июле-августе; ■ – типы зим: 0°-200° – мягкая, 200°-400° – умеренная

ваны судов из Черного моря в порты Азовского моря и обратно. Суть этого явления заключается в том, что в зимний период года, когда акваторию Азовского моря покрывают поля плавучих льдов, наблюдаются локальные мощные течения южного направления. Эти течения переносят поля битого льда по направлению к Керченскому проливу со скоростью, которая соизмерима со скоростью движения каравана судов. В условиях ограниченной маневренности «ледовая река» является собою реальный источник навигационной опасности при движении каравана судов и в северном, и в южном направлениях. Данное явление в силу практической значимости требует дальнейшего детального исследования.

В настоящее время не существует детальных обобщений особенностей ледовой обстановки в Керченском проливе для последних нескольких десятилетий. Представленные ниже данные – первая попытка подобного исследования.

В результате выполненной нами типизации выявлено, что по характеру зим за рассматриваемый промежуток времени в районе пролива 1 зима относилась к типу очень мягких, 10 – к типу мягких, 3 зимы – к умеренному типу. Суровых зим не наблюдалось (табл. 3.4, рис. 3.3).

В течение исследуемого периода в Керченском проливе первое появление начальных форм льда в мягкие и умеренные зимы колебалось в довольно широких пределах. Раннее образование льда в умеренную и мягкую зиму отмечалось соответственно 10 и 12 декабря, позднее – 24 января, 11 февраля (табл. 3.5, рис. 3.4).

тости ближе к типу мягкой зимы.

В завершение отметим чрезвычайно важное с позиции безопасности мореплавания и абсолютно неисследованное природное явление, наблюдаемое в Азовском море в холодное время года, которое получило наименование «ледовая река». Об этом явлении нет никаких сведений в современной океанографической литературе. Мы получили информацию о нем от керченских лоцманов, которые сопровождают караваны судов из Черного моря в порты Азовского моря и обратно.

Таблица 3.4

Классификация зим в Керченском проливе

| Годы | Тип зимы |
|-----------|--------------|
| 1991-1992 | Мягкая |
| 1992-1993 | Мягкая |
| 1993-1994 | Умеренная |
| 1994-1995 | Мягкая |
| 1995-1996 | Умеренная |
| 1996-1997 | Мягкая |
| 1997-1998 | Мягкая |
| 1998-1999 | Мягкая |
| 1999-2000 | Мягкая |
| 2000-2001 | Мягкая |
| 2001-2002 | Мягкая |
| 2002-2003 | Умеренная |
| 2003-2004 | Очень мягкая |
| 2004-2005 | Мягкая |

Формирование ледяного покрова начиналось на акваториях Керченской бухты и Таманского залива (рис. 3.5).

В течение зимнего сезона льдами, как правило, покрывалась северная часть пролива. В отдельные годы у восточного и западного берегов пролива прослеживалось образование припая (рис. 3.6). Вдоль западного побережья чаще всего отмечались темные ниласовые льды сплоченностью 5-10 баллов. Вероятность появления льда с ноября по апрель изменялась в зависимости от типа зимы (табл. 3.6).

Максимальное распространение льда к югу, которое наблюдалось 24 января, было характерным для мягкой зимы 2000-2001 гг. и для умеренной зимы 1995-1996 гг. Крайнее южное положение кромки льда в эту зиму было зафиксировано 16 февраля.

Полное очищение пролива ото льда отмечалось с 26 января по 6 марта в мягкие зимы и с 1 марта по 5 апреля – в умеренные.

К характерным особенностям ледового режима в Керченском проливе за исследуемый промежуток времени можно отнести существенные подвижки льдов. Этот процесс наиболее ярко проявлялся в умеренные и мягкие зимы, когда отмечались достаточно обширные пространства чистой воды.

Определена закономерность дрейфа ледовых полей в проливе. При ветрах южных румбов и черноморских течениях наблюдалось проникновение теплых вод в северную часть пролива и, в частности, в Таманский залив между берегом и восточной оконечностью о. Тузла. В результате льды поджимались к северу, и южная часть залива либо полностью очищалась ото льда, либо льды в южной

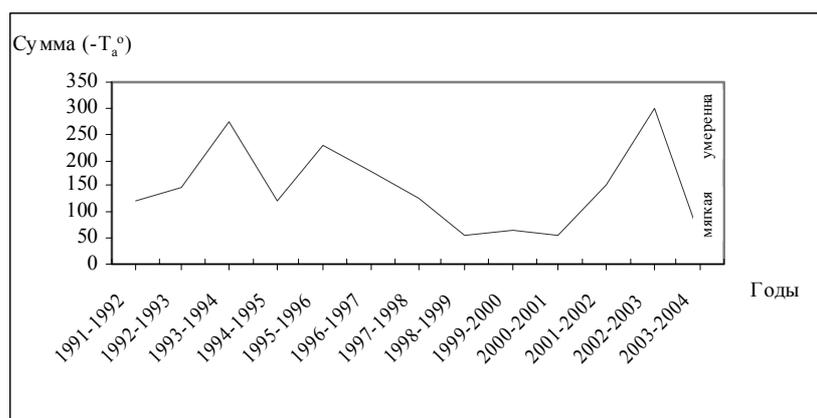


Рисунок 3.3. Суммы отрицательных температур воздуха для Керченского пролива

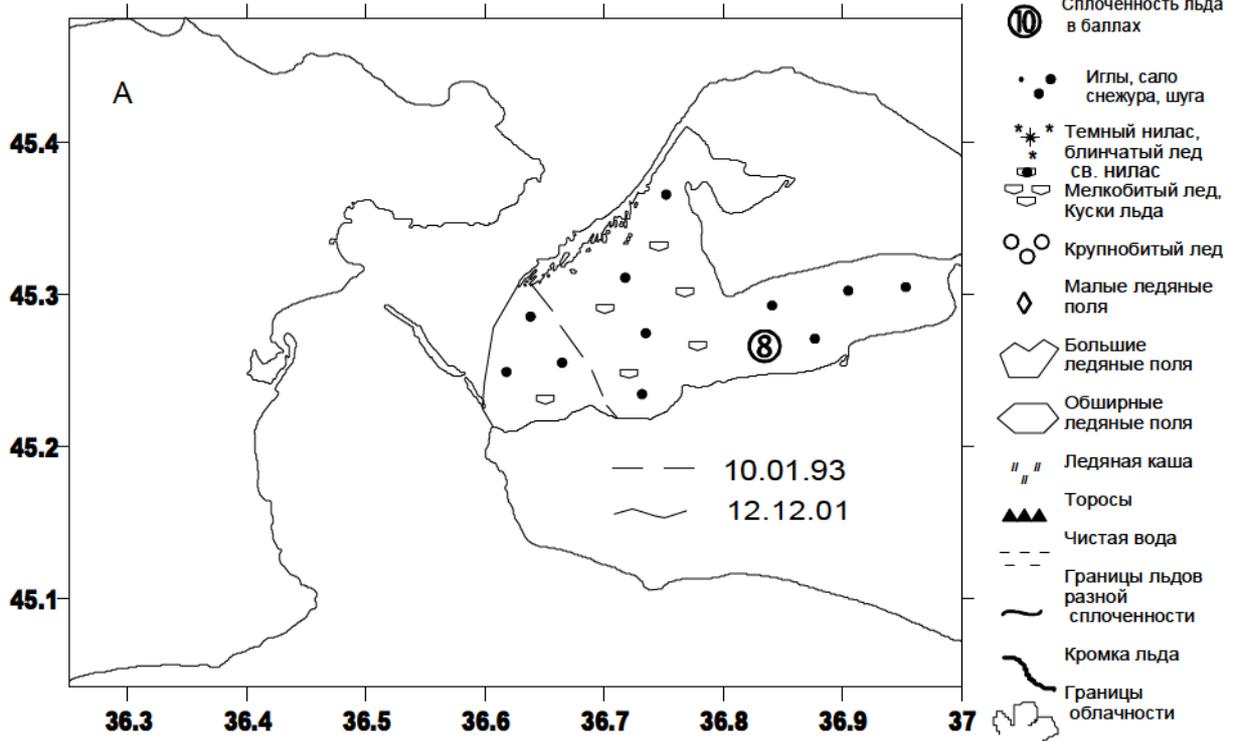
Таблица 3.5

Характеристика ледового режима в Керченском проливе с 1991 по 2005 г.

| Характерная дата | Первое появление начальных видов льда | | Максимальное распространение к югу | | Последнее полное очищение | | Число очищений за год | |
|------------------|---------------------------------------|-------|------------------------------------|-------|---------------------------|-------|-----------------------|---|
| | М | У | М | У | М | У | М | У |
| Ранняя | 12.12 | 10.12 | 18.01 | 19.12 | 26.01 | 01.03 | 1 | 3 |
| Поздняя | 24.01 | 11.02 | 02.02 | 28.03 | 06.03 | 05.04 | 3 | 2 |

Примечание: М – мягкая зима; У – умеренная зима.

Керченский пролив. Ледовая карта.



Керченский пролив. Ледовая карта.

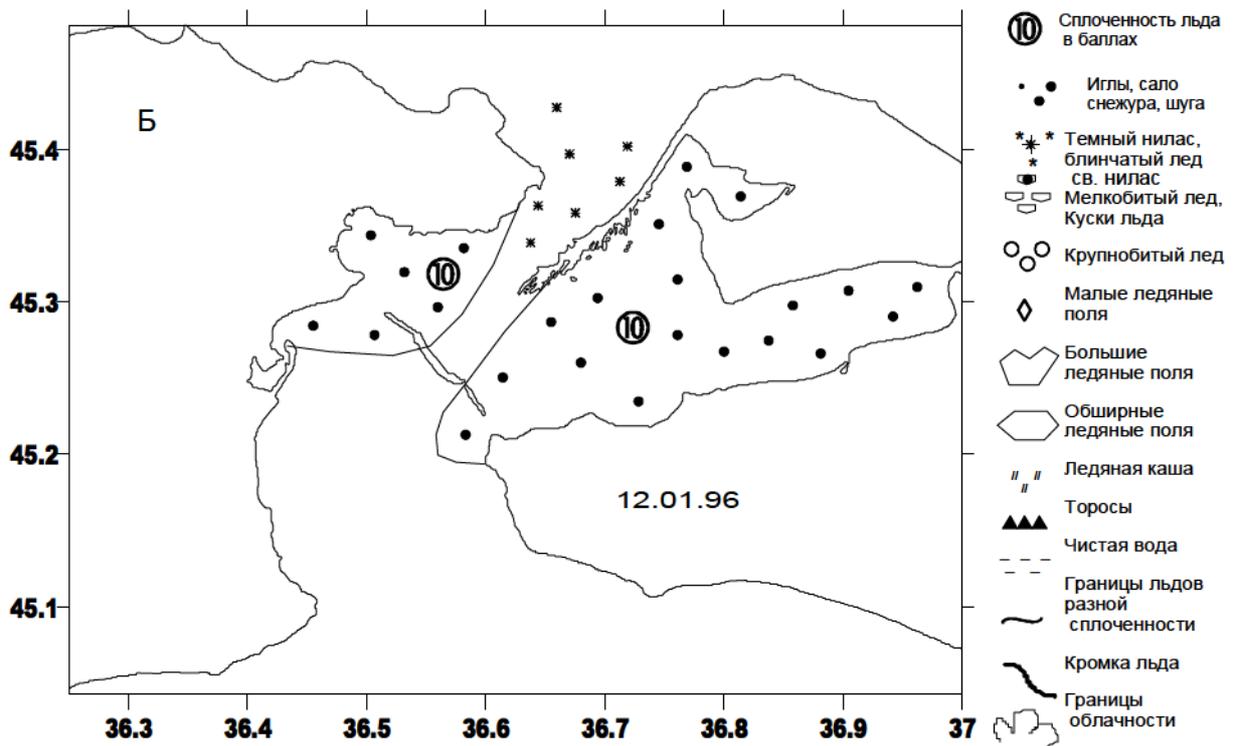


Рисунок 3.4. Начало льдообразования (А – мягкая зима, Б – умеренная зима)

части залива становились менее сплоченными. Такие подвижки отмечены в 1996, 1997 и 2002 гг. Ветры северных румбов способствовали значительной подвижке льдов из Азовского моря в Керченский пролив (2003 г.). На мелководье и по кромке припая в это время наблюдалось сжатие и торошение льда (рис. 3.6).

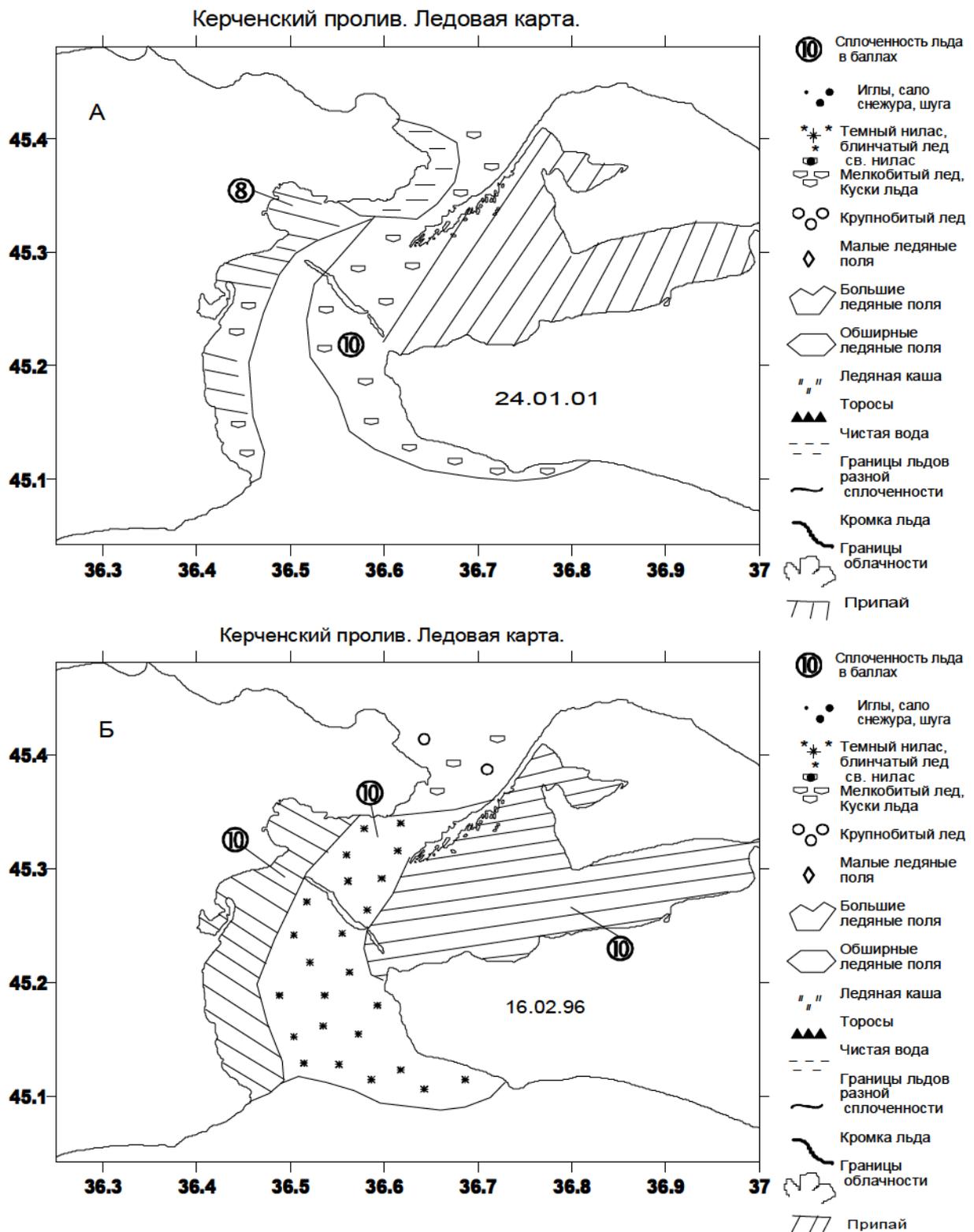


Рисунок 3.5. Максимальное распространение льда к югу
(А – мягкая зима, Б – умеренная зима)

Частота очищений пролива ото льда в каждую зиму составляла 1-2 раза.

В результате сравнения зимних условий и ледовой обстановки в районе Керченского пролива за последние 15 лет с данными среднеголетних наблюдений установлено, что число мягких зим значительно увеличилось, умеренных – уменьшилось, а суровых зим не было. За последние годы отмечено более раннее образование льдов. Возросла

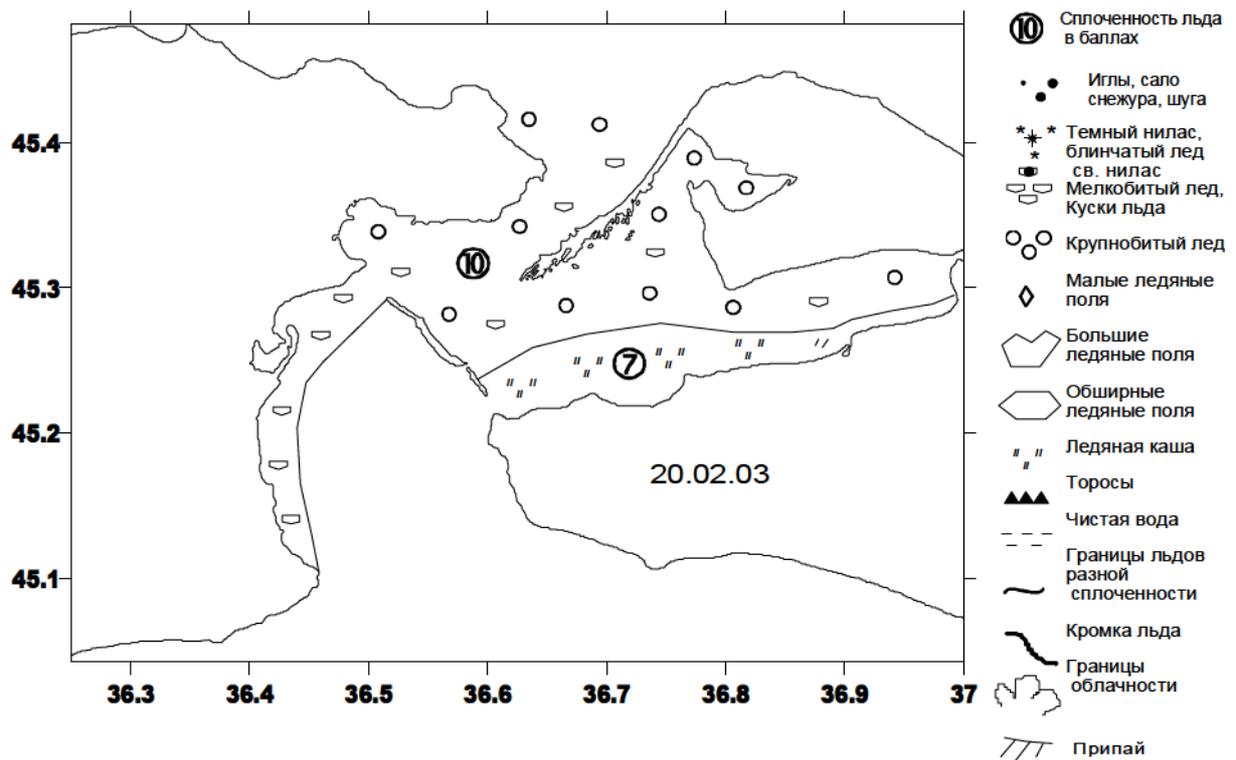
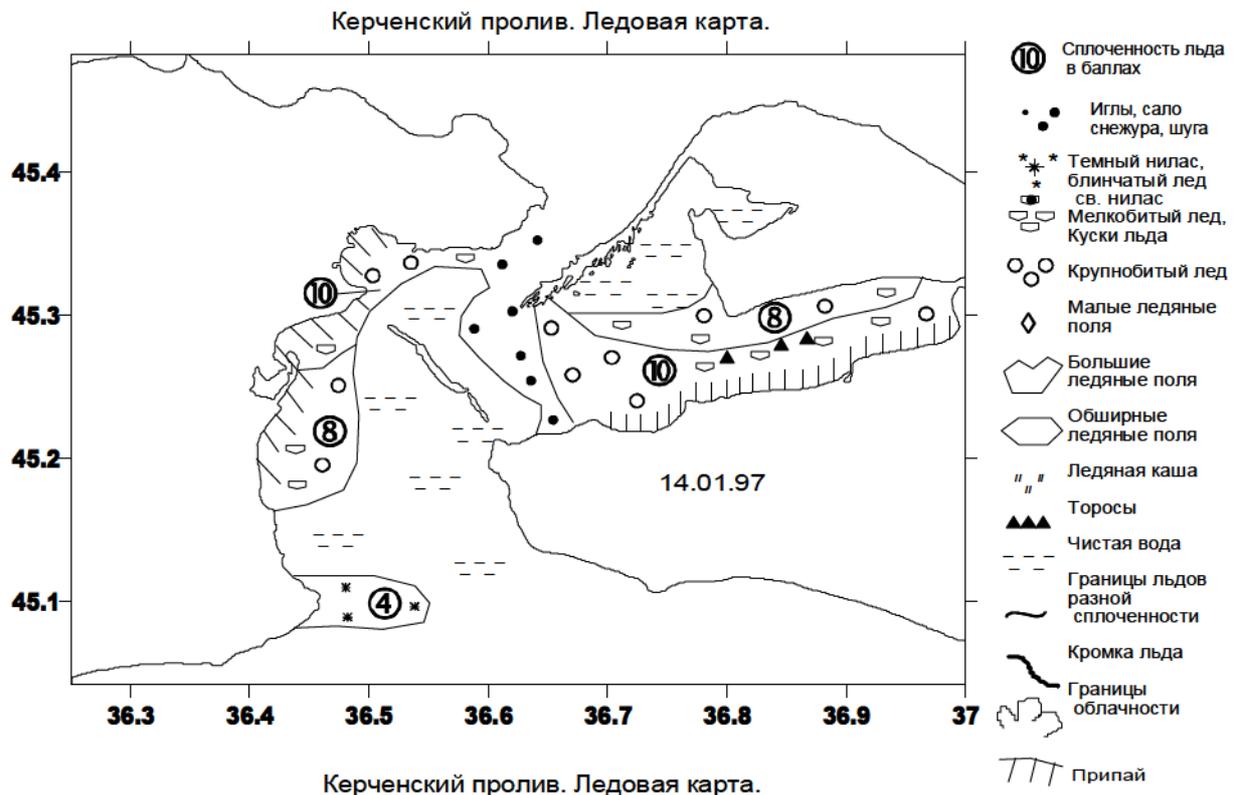


Рисунок 3.6. Распределение льда в Керченском проливе

вероятность образования льда в декабре и в мягкие, и в умеренные зимы. Для января в умеренные зимы в настоящее время стала типичной пониженная ледовитость. Зима стала более мягкой, но затяжной. Если ранее наличие льда в апреле отмечалось только в суровые зимы, то за последние годы лед в апреле наблюдался и в умеренные зимы.

Таблица 3.6

**Вероятность (%) наличия льда
в различные по суровости зимы
в Керченском проливе с 1991 по 2004 г.**

| Месяц | Мягкая зима | Умеренная зима |
|---------|-------------|----------------|
| Ноябрь | - | 19-25.1993 |
| Декабрь | 3 | 13 |
| Январь | 15 | 29 |
| Февраль | 25 | 68 |
| Март | 2 | 10 |
| Апрель | - | 3 |

Эту закономерность можно рассматривать как проявление тенденции ослабления водообмена в проливе.

Отметим, что в течение трех последних лет рассмотренного периода обнаружена тенденция к увеличению ледовитости Таманского залива. В частности, зафиксированы ситуации, когда при подвижках льда из Азовского моря в заливе заметно повышалась сплоченность и торосистость ледовых полей. Одной из вероятных причин, вызвавших это явление, может быть тузлинская дамба, которая стала препятствием для свободного проникновения теплых вод из Черного моря в Таманский залив.

проникновения теплых вод из Черного моря в Таманский залив.

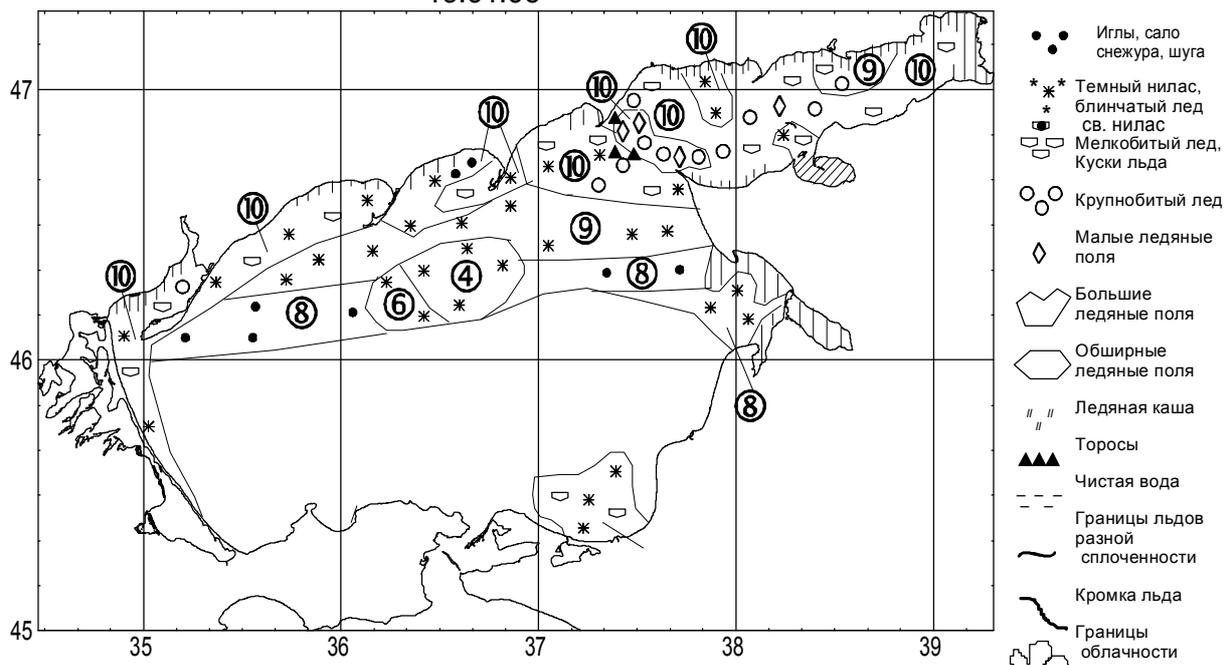
**3.3. Особенности ледовой обстановки в Азовском море
и Керченском проливе в условиях холодной зимы 2005-2006 гг.**

Зима 2005-2006 гг. была наиболее холодной на фоне всех предшествовавших за рассматриваемый промежуток времени зим и, соответственно, отличалась особенными ледовыми условиями и в Азовском море, и в Керченском проливе. Особенность данного зимнего сезона заключалась в том, что в течение января погода над территорией Украины определялась несколькими мощными ультраполярными вторжениями арктических воздушных масс. В то же время зима 2005-2006 гг. по критерию суммы среднесуточных отрицательных температур воздуха в четырех пунктах Азовского моря (Керчь, Геническ, Таганрог, Приморско-Ахтарск) отнесена к типу умеренных зим.

Ниже представлено описание синоптических, погодных и ледовых условий в эту зиму.

Льдообразование в Азовском море в зимний период 2005-2006 гг. началось 9 января в результате понижения температуры воздуха 6 января до 3° мороза. Начальные формы льда в этот период прослеживались в прибрежной части Таганрогского залива, у кос по северу моря, в Утлюткском заливе и на юге Ясенского залива. С 11 по 14 января над Восточной Европой установился мощный антициклон. Среднесуточная температура воздуха удерживалась около 1-3° мороза. В Таганрогском заливе и по северу моря продолжался процесс льдообразования. С 15 по 18 января в Поволжье с севера распространяется циклон, в тыл которого с района о-вов Новой Земли стал поступать арктический воздух – ультраполярное вторжение. Температура воздуха над Азовским морем снизилась до 2-7° мороза. 19 января отмечено кратковременное потепление (акватория моря находилась в теплом секторе «южного» циклона). 20 января в тыл уходящего циклона «обрушился» арктический воздух. Температура воздуха в течение нескольких часов понизилась на 20-25°. В течение суток все Азовское море и северная часть Керченского пролива покрылась льдами сплоченностью 10 баллов (рис. 3.7). В Таганрогском, Ясенском, Утлюткском заливе, вдоль Арабатской стрелки, от косы Долгая до Приморско-Ахтарска, в районе Темрюка, в Таманском заливе и в Керченском проливе образовался припай. 23 января в Керчи зафиксирован новый абсолютный минимум января, который составил 22,7° мороза (предыдущий 22,4° был зафиксирован в 1940 г.). В результате действия в этот период ветра северных румбов по северу Белосарайского и Бердянского заливов отмечается «отжатие» льда от берега и от кромки припая, а также образование торосов в местах сжатия. В течение суток свободные ото льда участки снова покрылись первичными формами льда сплоченностью 8 баллов. Ослабление морозов и повышение температуры воздуха днем, например в Керчи до +1°, произошло только в конце января.

Азовское море. Ледовая карта.
19.01.06



Азовское море. Ледовая карта.
21.01.06

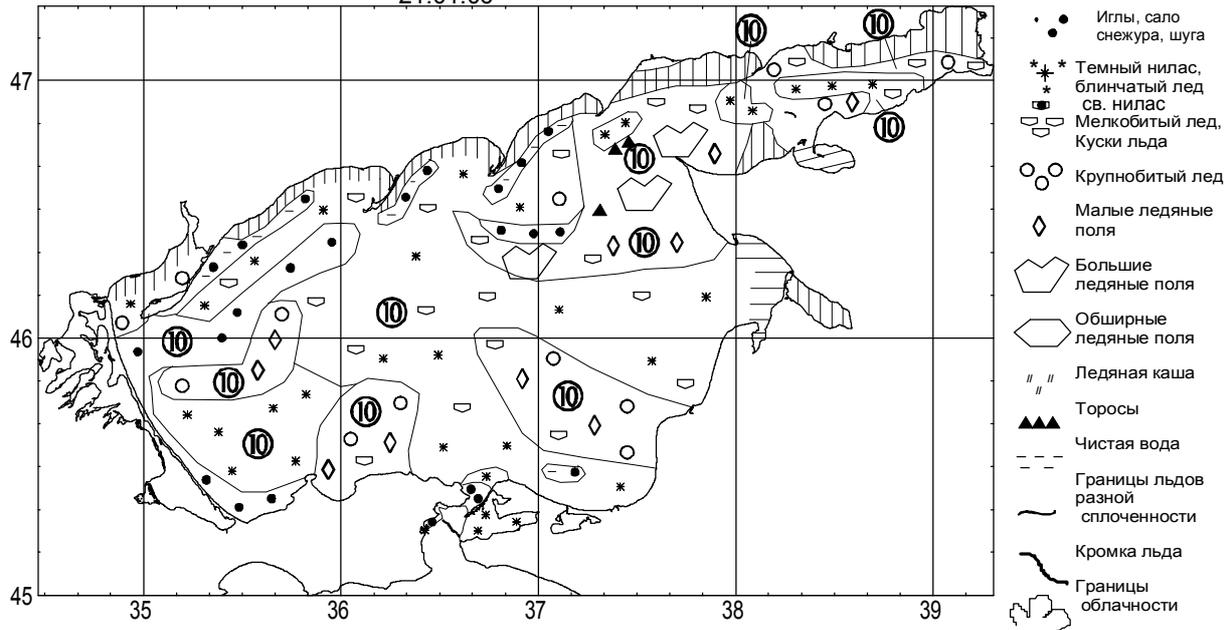
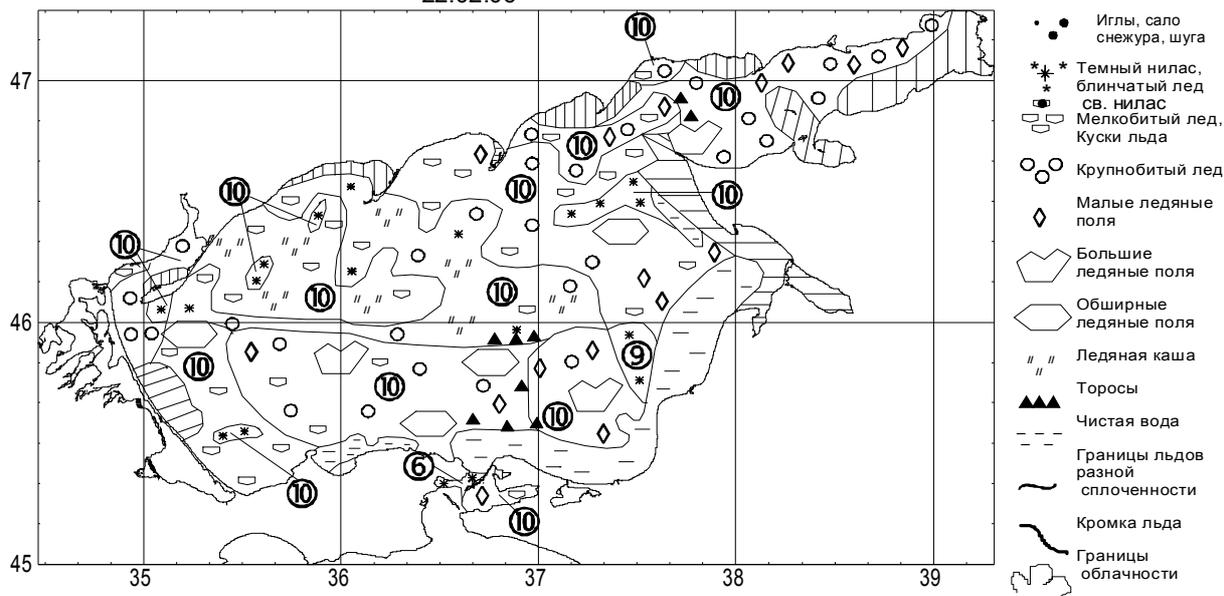


Рисунок 3.7. Распределение льда в Азовском море

Февраль, также как и январь, был холоднее обычного, особенно его первая и вторая декады. В течение месяца все море и северная половина Керченского пролива была покрыта льдами. Незначительные подвижки льда отмечались 1, 3, 6, 7, 13 и 14 февраля под влиянием ветра северных румбов на западе и на севере моря, а также с 17 по 22 февраля под влиянием ветра южных румбов на юго-востоке моря и в Керченском проливе (рис. 3.8). В феврале толщина льда в море достигла максимальных величин. По данным проходящих судов толщина льда в Таганрогском заливе возросла до 70 см, на остальной акватории она была около 25-40 см. На трассе Мариуполь – Керчь отмечена значительная торо-

Азовское море. Ледовая карта.
22.02.06



Азовское море. Ледовая карта.
06.03.06

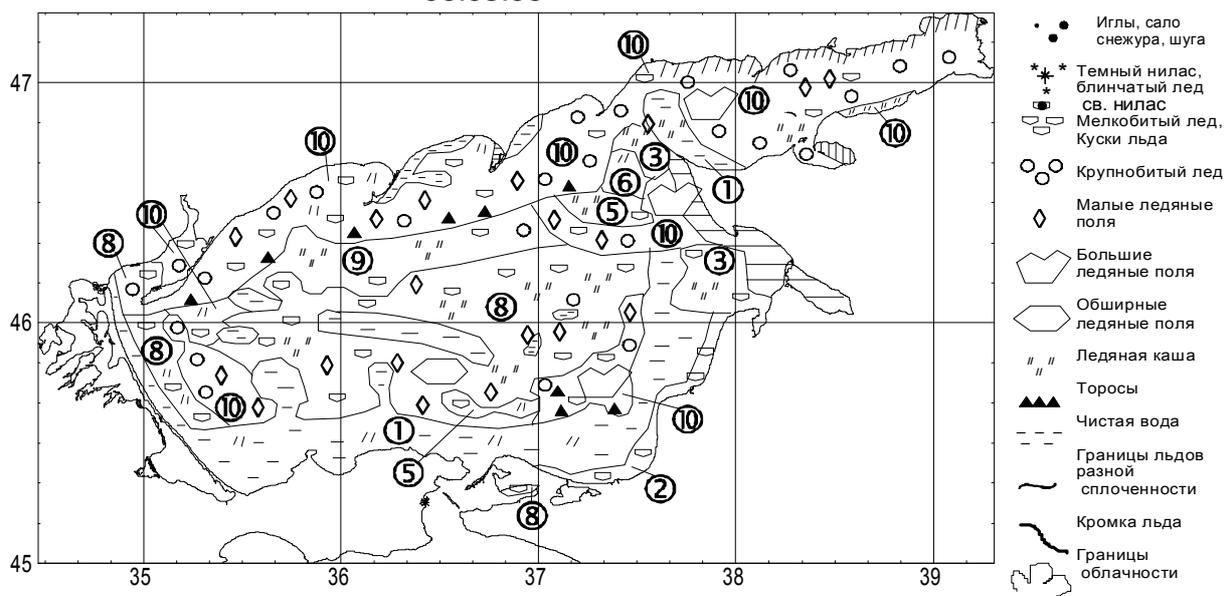


Рисунок 3.8. Распределение льда в Азовском море при ветре южных румбов

систость льдов, особенно от Бердянской косы до входа в Таганрогский залив и севернее Керченского пролива (рис. 3.9).

Март 2006 г. был теплым. 6-7 и с 11 по 16 марта погода определялась выходом серии южных циклонов со Средиземного моря. Акватория Азовского моря находилась под влиянием теплой воздушной массы. Это способствовало интенсивному таянию льда, особенно на юге и юго-западе моря и в Керченском проливе.

С 17 по 19 марта над морем установилось малоградиентное барическое поле повышенного давления, преобладал слабый северо-восточный ветер. Повсеместно над морем отмечены туманы. Вторая волна интенсивного таяния морского льда пришлось на промежуток времени с 20 по 25 марта, когда в район Азовского моря наблюдался стреми-

Азовское море. Ледовая карта.
15.02.06

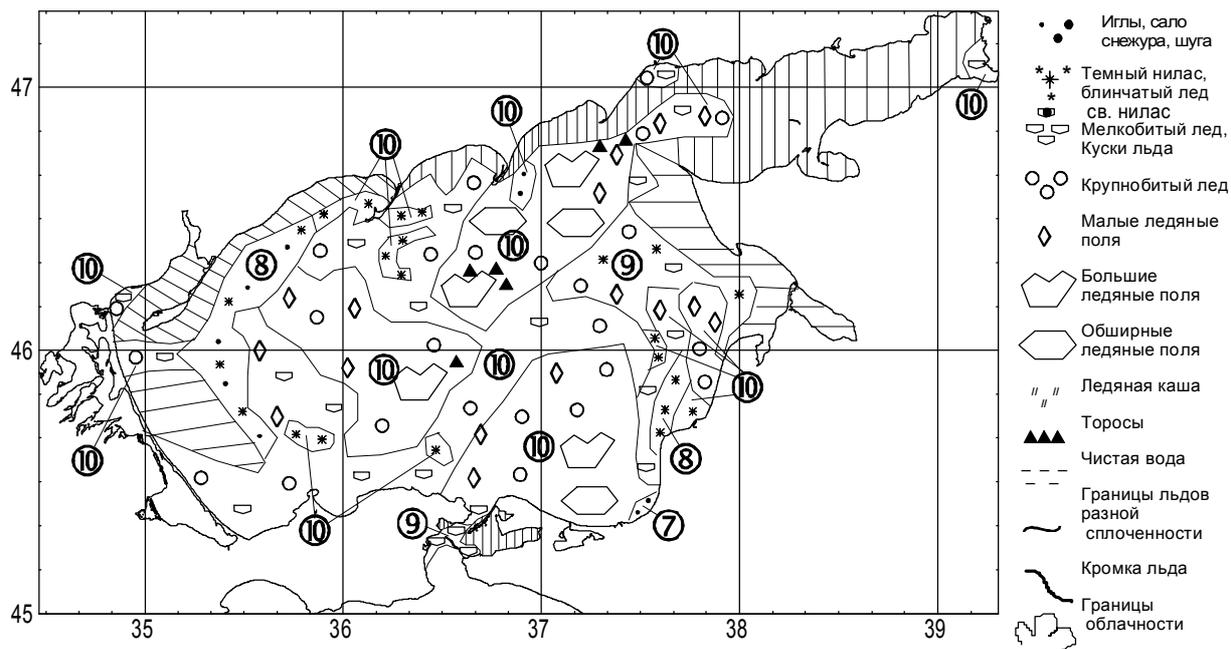


Рисунок 3.9. Ледостав в Азовском море

тельный выход южного циклона. На карте за 21 марта (рис. 3.10) наибольшее количество льдов отмечено на западе моря (сплоченность 2-10 баллов) и в Таганрогском заливе (сплоченность 5-10 баллов). В центральной части моря прослежены отдельные ледяные поля, а на востоке (в районе косы Долгой) – небольшие ледяные массивы сплоченностью 7 баллов. Керченский пролив к этому времени полностью очистился ото льда.

Дата полного очищения моря ото льда – 28 марта.

Азовское море. Ледовая карта.
21.03.06

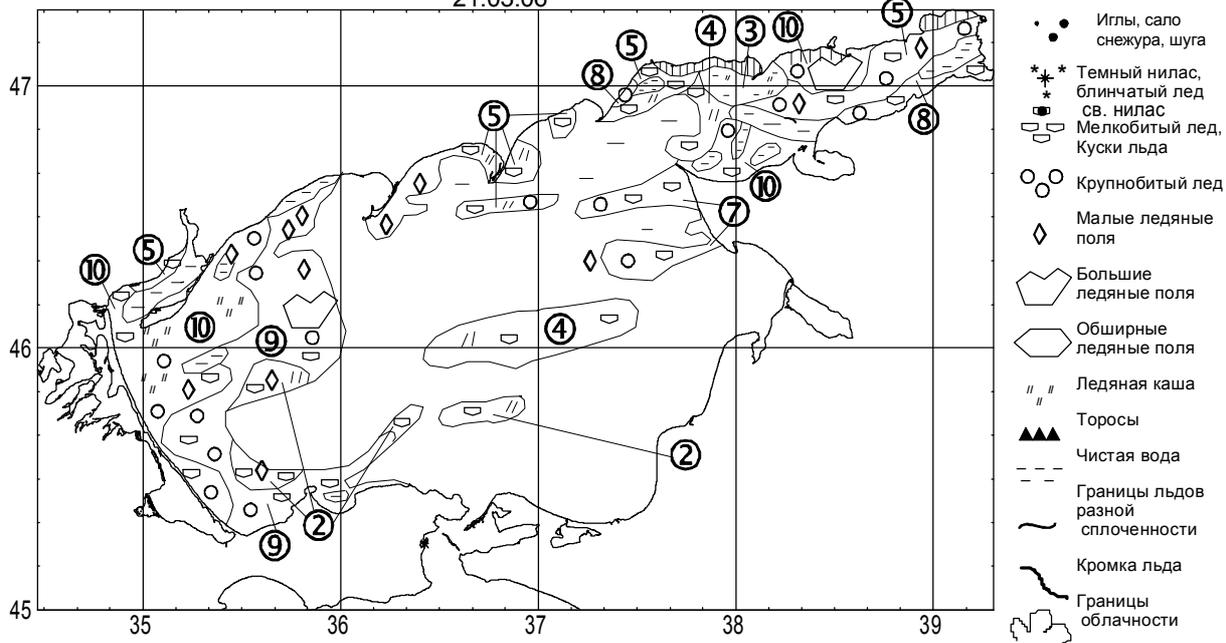


Рисунок 3.10. Интенсивное таяние льда в Азовском море

ГЛАВА 4

ГИПОКСИЯ И ЗАМОРЫ РЫБЫ В АЗОВСКОМ МОРЕ ПО СПУТНИКОВЫМ И КОНТАКТНЫМ ДАННЫМ. ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОГНОЗА ЭТИХ ЯВЛЕНИЙ

Явление гипоксии и связанные с ним заморы достаточно хорошо исследованы для Черного моря. В 80-90 гг. в разработке этой тематики активно участвовали ведущие специалисты ЮгНИРО – В. А. Брянцев, Д. Я. Фащук, Л. К. Себах, Б. Г. Троценко, Б. Н. Панов и др. Только сотрудниками ЮгНИРО по проблеме заморы в северо-западной части Черного моря опубликовано более 30 работ, например [30-33, 82].

В работах В. А. Брянцева [24, 30-33, 82, 83], которые по праву стали классическими, показано, что физический механизм заморы обусловлен процессом подавления турбулентного обмена в толще вод плотностной стратификацией, оцениваемым по критерию Ричардсона, который также учитывает вертикальный сдвиг скорости течения.

По-видимому, данный механизм весьма универсален, и его действие, как значимого фактора, распространяется и на воды Азовского моря. По крайней мере, мы придерживаемся такого мнения. Вместе с тем, в настоящем разделе рассмотрен иной, возможно менее значимый физический механизм, который, по нашему мнению, также способен вызывать гипоксию и заморы в Азовском море в начале летнего сезона. Это механизм двойной диффузии.

Доказательство существования такого явления в Азовском море выполнено по фактическим данным методом коллигационных матриц [72]. Если оно выглядит не вполне убедительным, то данный механизм может быть рассмотрен в качестве рабочей гипотезы, требующей дальнейшего исследования.

Проблеме гипоксии и заморных явлений в Азовском море и ее различным аспектам посвящен ряд работ [2-6, 9, 21, 57, 63, 64, 78], которые выполнены на основе контактных методов наблюдений с использованием спутниковой информации. Результаты таких исследований, существенно углубляющих понимание механизма формирования гипоксии, обобщены в настоящей главе впервые. Их основной результат – возможность оперативного обнаружения, контроля и предвидения формирования зон придонной гипоксии и потенциально заморных участков акватории Азовского моря на базе спутниковой информации.

Рассмотрим основные предпосылки формирования зон гипоксии в Азовском море и ее влияние на заморы рыбы.

Анализ показывает, что в июне зоны гипоксии возникают под влиянием плотностной стратификации. Как одна из причин, обуславливающих это негативное явление, рассмотрена плотностная структура вод типа «солевых пальцев» [72]. В июле-августе придонная гипоксия появляется в результате вспышки численности фитопланктона. Цветение фитопланктона приводит к локальному повышению температуры поверхности моря, которое фиксируется на фотоснимках с космических аппаратов в инфракрасном диапазоне в виде теплых пятен. К таким пятнам не случайно привержены зоны придонной гипоксии, которая развивается еще несколько дней после их обнаружения. Это позволяет использовать данные ИСЗ для оперативного прогнозирования потенциально заморных зон в целях рационального использования биоресурсов Азовского моря. По данным ИСЗ NOAA в ЮгНИРО выполнена ретроспективная оценка повторяемости теплых пятен на поверхности Азовского моря, что позволило выявить благоприятные и неблагоприятные в плане гипоксии годы.

Для исследования влияния гипоксии на заморы рыбы были использованы следующие массивы эмпирических данных: карты температуры поверхности моря, полученные с помощью искусственных спутников Земли; фактические данные о количестве погибшей рыбы, обнаруженной в прибрежной зоне непосредственно во время заморы (представлены Азморрыбинспекцией); судовая информация из архивов ЮгНИРО о температуре воды и содержании в ней растворенного кислорода. В результате обработки и комплексного анализа указанной информации выявлены закономерности межгодовой изменчивости количества теплых пятен (интенсивности цветения фитопланктона) в летней сезон и развития придонной гипоксии. Рассмотрено влияние гипоксии на массовую гибель рыбы. Выделены основные районы, в которых заморы и потенциально заморные зоны наблюдались практически ежегодно.

4.1. Гидрометеорологические предпосылки гипоксии в Азовском море

В Азовском море, как и во всем Мировом океане, источниками поступления в воду кислорода являются инвазия его из атмосферы и продуцирование при фотосинтезе. Расходуется кислород, преимущественно, при дыхании гидробионтов, окислении органических веществ и восстановленных минеральных соединений. Температура морских вод, регулирующая интенсивность окислительных процессов и растворимость кислорода, – наиболее важный абиотический фактор, регулирующий его содержание в воде.

В зимний период в Азовском море абсолютное содержание кислорода в воде высокое (8-9 мл/л), а ветровое и конвективное перемешивание вод определяет полную кислородную гомогенность.

Летом концентрация кислорода на поверхности снижается в среднем до 5-6 мл/л, в придонном слое – до 4-5 мл/л, а биохимическое потребление кислорода (БПК₁) возрастает до 0,5-0,6 мл/л. Максимальные значения (БПК₁) наблюдались в южных районах моря и достигали 2,3 мл/л. Время потенциально возможного кислородного истощения придонного слоя вод оценивается на уровне 0,75 суток [21].

Приведенные оценки свидетельствуют о возможности быстрого (в течение нескольких дней) наступления гипоксии в придонных слоях в летние месяцы в периоды снижения скорости поступления кислорода с поверхности. В Азовском море из-за частой смены тихой и ветреной погоды явление гипоксии также быстро исчезает, как и появляется. Поэтому многочисленные случаи снижения запаса кислорода в придонных слоях воды не фиксируются в экспедиционных исследованиях. Материалы многолетних наблюдений показывают, что снижение содержания кислорода в придонном слое до 2-3 мл/л отмечается почти ежегодно. В отдельные годы концентрация растворенного кислорода падала практически до аналитического нуля [21].

За температурным фактором по степени влияния на кислородный режим моря следуют: вертикальная устойчивость вод, биологическое и биохимическое потребление кислорода, загрязнение придонного слоя детергентами, – все эти факторы реально проявляются в Азовском море только в теплое время года.

Южный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии приступил к исследованиям гипоксии в Азовском море в 1992 г. Изучение закономерностей возникновения придонной гипоксии проводилось ежегодно в 2-3 океанографических съемках, выполняемых с июня по август. В июне съемки были реализованы в 1993 и 1994 гг., в июле-августе – ежегодно. Определение содержания кислорода осуществлялось методом Винклера в воде метрового поверхностного и придонного слоев.

В результате анализа указанной информации выявлены следующие закономерности: формирование вертикальных градиентов кислорода всегда начинается в июне, в июле и августе они достигают максимальных значений; в июне определяющим фактором формирования кислородного дефицита становится плотностная стратификация вод. Если рассматривать собственно Азовское море, без Таганрогского залива, то наиболее устойчивая вертикальная стратификация наблюдается в южной части моря, в зоне проникновения черноморских вод. Именно здесь в 20 % случаев, приведенных в [21], отмечалось минимальное для съемок содержание кислорода.

Согласно располагаемым нами данным, наиболее интенсивное проникновение черноморских вод отмечалось в июле и августе 1994 г., когда при обнаружении в придонном слое вод из Черного моря (соленость 16,4-17,4 ‰), фиксировалось снижение кислорода до значений 3 мл/л, минимальных в тот период для всего Азовского моря. Вертикальный градиент плотности воды в этих случаях достигал 0,42 усл. ед./м.

В других районах моря (исключая Таганрогский залив) относительно высокий (0,15-0,20 усл. ед./м) градиент плотности между поверхностным и придонным горизонтами наблюдался только в июне. В июле и августе он не превышал 0,06 усл. ед./м. В июне на некоторых станциях в придонном слое еще сохранялись более холодные, но менее соленые воды (вертикальный градиент плотности незначительный – 0,05-0,06 усл. ед./м). Такой тип стратификации даже при увеличении плотности с глубиной является неустойчивым. Его разрушение в результате дифференциальной диффузии приводит к формированию квазиоднородных слоев (солевых пальцев), разделенных прослойками с резкими градиентами свойств. В результате на этих станциях содержание кислорода в придонном слое снижалось до 1 мл/л.

Структура по типу «солевых пальцев» образуется под влиянием механизма дифференциально-диффузионной конвекции или, иначе, двойной диффузии. Этот процесс возникает в слоях с отрицательным вертикальным градиентом солености, который в поле плотности уравнивается отрицательным вертикальным градиентом температуры. При этом сохраняется слабая, но устойчивая вертикальная стратификация поля плотности. Незначительные колебания температуры в такой ситуации могут привести к термической стадии конвективного перемешивания, которая затем усиливается халинной конвекцией. В результате термохалинное поле приобретает ступенчатую структуру с характерными однородными слоями, которые разграничиваются узкими прослойками с высоким вертикальным градиентом плотности, ограничивающими вертикальный обмен. Данное явление относительно хорошо изучено для регионов Атлантики и отдельных морей [8, 36, 37, 52, 84, 97-99]. Для Азовского моря имеются эмпирические сведения, подтверждающие наличие структуры типа «солевых пальцев». Такой тип стратификации наблюдается, как правило, в южных районах моря в начале июня, когда отрицательный вертикальный градиент в поле солености формируется в результате натекания теплых и соленых черноморских вод на относительно холодные и малосоленые воды Азовского моря.

В качестве причины возникновения гипоксии в Азовском море плотностная стратификация типа «солевых пальцев» рассматривается в данной работе впервые. Она требует серьезного исследования, так как может обусловить появление дефицита кислорода в начале лета практически в любом месте Азовского моря.

В июле-августе, при отсутствии вертикальной плотностной стратификации зоны с минимальными концентрациями кислорода в придонном слое тяготели к районам интенсивного цветения фитопланктона. Признаком цветения является повышение относительного содержания кислорода в поверхностном слое, иногда до 200 %. Вспышка чис-

ленности фитопланктона приводит к резкому увеличению остаточной органики, к интенсификации биохимического потребления кислорода и развитию гипоксии в придонном слое, что сопровождается ухудшением качества морской воды. От июня к июлю отмечается повсеместное снижение содержания кислорода в придонном слое до 70-75 % насыщения.

На наш взгляд июль может быть переломным месяцем в функционировании экосистемы Азовского моря. При разрушении вертикальной переслоенности, наблюдаемой в июне, в глубоководной части моря происходит вторичное эвтрофирование поверхностных вод. В продукционные процессы вовлекаются органические вещества, аккумулировавшиеся в осенне-зимний период и оказавшиеся в донных отложениях. Эвтрофирование при достаточно высокой июльской температуре морской воды приводит к началу активного цветения фитопланктона. Причем, летняя вспышка сине-зеленых водорослей в Азовском море по интенсивности в 4 раза активнее весенней вспышки диатомовых [57]. Естественно, что в отдельные годы вспышки фитопланктона, вызванные деструктурированием вод, могут наблюдаться уже в конце июня.

По материалам выполненных нами съемок была выявлена закономерная связь цветения с температурой поверхностных вод и придонной гипоксией. В зонах активного цветения фитопланктона из-за повышения мутности, отмечалось более интенсивное прогревание поверхностных вод. Здесь же, в придонном слое, наблюдалось развитие гипоксии.

Оценка статистической связи содержания кислорода на поверхности (показатель интенсивности цветения фитопланктона), в придонном слое и поверхностной температуры приведена в табл. 4.1-4.3. Характер зависимости исследовался с помощью коллигационных матриц [39]. Метод удобен при исследовании не строго детерминированных связей и позволяет оценить неслучайность появления высоких или низких значений одного показателя в заданных интервалах другого. Коэффициент коллигации изменяется от -1 до +1. Когда появление, к примеру, X_i полностью определяется Y_j (i, j – номера интервалов соответствующих параметров) – $K = +1$, в случае, когда события совершенно не зависимы друг от друга – $K = 0$, а в случае, когда X_i полностью исключает появление Y_j – $K = -1$.

В процессе исследований весь массив данных был разбит на пять частей. В две первые части с целью увеличения объема выборки вошли материалы съемок 1992-1994 гг. (июньские съемки – в первую, июльские и августовские – во вторую). В съемках 1995 г. мы не встретились с активно развивающейся гипоксией (содержание кислорода менее 3,2 мл/л не наблюдалось), поэтому эти данные из анализа связей были исключены. Данные 1996 и 1997 гг. обрабатывались отдельными массивами, так как при объединении двух лет и более закономерность появления определенных значений содержания кислорода в заданном интервале температур может нарушаться из-за того, что относительно высокие температуры одного года могут быть низкими для другого.

В июньских съемках (табл. 4.1) не было выявлено связи цветения с повышением температуры поверхностных вод. Наибольшие концентрации кислорода на поверхности (6,5-9,0 мл/л) не случайно появляются в среднем интервале температур (21,5-22,0 °C), а придонный минимум кислорода (0,5-4,0 мл/л) не случайно связан с низкими температурами поверхностных вод. На это указывает рост коэффициентов коллигации в соответствующих графах матриц (значения подчеркнуты). То есть, как отмечалось выше, минимум кислорода наблюдался в зонах, где дольше сохранялись холодные весенние воды, и могла формироваться плотностная стратификация типа «солевых пальцев».

Таблица 4.1

Закономерность сочетаемости значений поверхностной температуры (Xi), содержания кислорода на поверхностном (Yj) и придонном горизонтах (Zk) в июньских съемках Азовского моря 1993-1994 гг. (количество станций – 98)

| Матрица частоты встречаемости | | | | Коллигационная матрица | | | | | |
|-------------------------------|----|---------|---------|------------------------|-----------|----|--------------|--------------|-------------|
| Xi | Yj | 5,0-5,8 | 5,8-6,5 | 6,5-9,0 | Xi | Yj | 5,0-5,8 | 5,8-6,5 | 6,5-9,0 |
| 20,0-21,5 | | 13 | 33 | 11 | 20,0-21,5 | | 0,16 | 0,04 | -0,18 |
| 21,5-22,0 | | 4 | 15 | 10 | 21,5-22,0 | | <u>-0,32</u> | <u>-0,08</u> | <u>0,20</u> |
| 22,0-24,0 | | 3 | 7 | 2 | 22,0-24,0 | | 0,06 | 0,05 | -0,29 |
| Матрица частоты встречаемости | | | | Коллигационная матрица | | | | | |
| Xi | Zk | 0,5-4,0 | 4,0-6,0 | 6,0-8,1 | Xi | Zk | 0,5-4,0 | 4,0-6,0 | 6,0-8,1 |
| 20,0-21,5 | | 4 | 30 | 23 | 20,0-21,5 | | <u>0,52</u> | -0,06 | 0,06 |
| 21,5-22,0 | | 1 | 15 | 13 | 21,5-22,0 | | <u>-0,32</u> | -0,08 | 0,10 |
| 22,0-24,0 | | 0 | 10 | 2 | 22,0-24,0 | | <u>0,00</u> | 0,62 | -0,57 |

Таблица 4.2

Закономерность сочетаемости значений поверхностной температуры (Xi) и содержания кислорода на поверхностном (Yj) и придонном (Zk) горизонтах в июльских и августовских съемках Азовского моря 1992-1994 гг. (количество станций – 192)

| Матрица частоты встречаемости | | | | | Коллигационная матрица | | | | | | |
|-------------------------------|----|---------|---------|---------|------------------------|-----------|----|--------------|---------|---------|--------------|
| Xi | Yj | 4,0-5,0 | 5,0-6,5 | 6,5-8,0 | 8,0-13,1 | Xi | Yj | 4,0-5,0 | 5,0-6,5 | 6,5-8,0 | 8,0-13,1 |
| 20,0-23,0 | | 3 | 11 | 0 | 0 | 20,0-23,0 | | 0,11 | 0,48 | 0,0 | <u>0,0</u> |
| 23,0-25,0 | | 18 | 90 | 30 | 7 | 23,0-25,0 | | 0,26 | 0,17 | -0,15 | <u>-0,17</u> |
| 25,0-27,0 | | 1 | 12 | 17 | 3 | 25,0-27,0 | | -0,74 | -0,38 | 0,36 | <u>0,15</u> |
| Матрица частоты встречаемости | | | | | Коллигационная матрица | | | | | | |
| Xi | Zk | 2,0-3,0 | 3,0-4,0 | 4,0-6,0 | 6,0-8,0 | Xi | Zk | 2,0-3,0 | 3,0-4,0 | 4,0-6,0 | 6,0-8,0 |
| 20,0-23,0 | | 0 | 1 | 13 | 0 | 20,0-23,0 | | 0,0 | -0,02 | 0,62 | 0,0 |
| 23,0-25,0 | | 2 | 12 | 116 | 15 | 23,0-25,0 | | <u>-0,12</u> | 0,42 | -0,02 | 0,14 |
| 25,0-27,0 | | 1 | 1 | 27 | 4 | 25,0-27,0 | | <u>0,20</u> | -0,58 | 0,03 | 0,05 |

В июле-августе (табл. 4.2) зоны цветения (содержание растворенного кислорода на поверхности 6,5-13,1 мл/л) не случайно связаны с наиболее высокими (25-27 °С) температурами воды на поверхности. В этих же интервалах температуры не случайно наблюдаются и минимальные (2-3 мл/л) значения концентрации кислорода.

Следует отметить слабое развитие придонной гипоксии (концентрации O₂ более 2 мл/л) в июле и августе 1992-1994 гг. по сравнению с июнем. Видимо поэтому ее связь с высокими температурами выражена слабее (K = 0,195), по сравнению с низкими в июне (K = 0,522). Еще одной причиной невысокого коэффициента коллигации по данным июльс-

Закономерность сочетаемости значений поверхностной температуры (Xi) и содержания кислорода на поверхностном (Yj) и придонном (Zk) горизонтах в июльской и августовской съемках Азовского моря в 1996-1997 гг.

| 1996 г. (количество станций – 75) | | | | | | | | | |
|------------------------------------|----|---------|---------|------------------------|-----------|----|---------|---------|--------------|
| Матрица частоты встречаемости | | | | Коллигационная матрица | | | | | |
| Xi | Yj | 3,0-5,0 | 5,0-6,5 | 6,5-8,5 | Xi | Yj | 3,0-5,0 | 5,0-6,5 | 6,5-8,5 |
| 23,5-25,0 | | 7 | 5 | 0 | 23,5-25,0 | | 0,29 | -0,18 | <u>0,00</u> |
| 25,0-26,0 | | 14 | 18 | 0 | 25,0-26,0 | | 0,04 | 0,11 | <u>0,00</u> |
| 26,0-27,0 | | 9 | 9 | 2 | 26,0-27,0 | | 0,06 | -0,11 | <u>0,09</u> |
| 27,0-28,8 | | 1 | 6 | 4 | 27,0-28,8 | | -0,78 | 0,08 | <u>0,61</u> |
| Матрица частоты встречаемости | | | | Коллигационная матрица | | | | | |
| Xi | Zk | 0,0-3,0 | 3,0-5,0 | 5,0-6,1 | Xi | Zk | 0,0-3,0 | 3,0-5,0 | 5,0-6,1 |
| 23,5-25,0 | | 0 | 9 | 3 | 23,5-25,0 | | 0,00 | 0,40 | -0,01 |
| 25,0-26,0 | | 3 | 20 | 9 | 25,0-26,0 | | -0,41 | 0,09 | 0,08 |
| 26,0-27,0 | | 4 | 11 | 5 | 26,0-27,0 | | 0,09 | -0,06 | -0,01 |
| 27,0-28,8 | | 5 | 4 | 2 | 27,0-28,8 | | 0,35 | -0,38 | -0,28 |
| 1997 год (количество станции – 61) | | | | | | | | | |
| Xi | Yj | 4,0-6,0 | 6,0-7,5 | 7,0-9,0 | Xi | Yj | 4,0-6,0 | 6,0-7,5 | 7,0-9,0 |
| 21,5-23,0 | | 4 | 14 | 5 | 21,5-23,0 | | -0,12 | 0,25 | <u>-0,34</u> |
| 23,0-26,5 | | 8 | 14 | 14 | 23,0-26,5 | | 0,19 | -0,18 | <u>0,27</u> |
| 26,5-28,0 | | 0 | 1 | 1 | 26,5-28,0 | | 0,00 | 0,05 | <u>0,26</u> |
| Матрица частоты встречаемости | | | | Коллигационная матрица | | | | | |
| Xi | Zk | 1,5-3,5 | 3,5-6,0 | 6,0-8,1 | Xi | Zk | 1,5-3,5 | 3,5-6,0 | 6,0-8,1 |
| 21,5-23,0 | | 0 | 13 | 10 | 21,5-23,0 | | 0,00 | 0,14 | 0,02 |
| 23,0-26,5 | | 3 | 17 | 16 | 23,0-26,5 | | 0,02 | -0,04 | 0,06 |
| 26,5-28,0 | | 2 | 0 | 0 | 26,5-28,0 | | 1,00 | 0,00 | 0,00 |

ко-августовских съемок мог быть отмеченный выше эффект обработки многолетнего массива данных.

Во время июльско-августовских съемок 1996 и 1997 гг. температура поверхностных вод была выше, а придонная гипоксия развита сильнее, чем в 1992-1995 гг., поэтому коэффициенты коллигации при оценке связи этих показателей достигли больших значений – 0,351 и 1,000 соответственно (табл. 4.3). Таким образом, анализ ежегодных массивов подтвердил устойчивость выявленных зависимостей, несмотря на относительно короткие ряды данных.

В июльско-августовских съемках различия в содержании кислорода в пятнах цветения и за их пределами достигают 4-5 мл/л, а температуры 1-2 °С. Это дает возможность фиксировать пятна цветения на фотоснимках инфракрасного диапазона, полученных с космических аппаратов, отождествляя эти пятна с локальными зонами повышенной температуры поверхности моря. Мониторинг температуры морской поверхности по данным ИСЗ серии NOAA в формате АРТ ведется в ЮгНИРО с 1989 г. комплексом аппаратуры «SU-8» фирмы «Furuno».

Так, к примеру, 20-22 июля 1992 г. пятно теплой воды располагалось на температурных картах, построенных по данным ИСЗ, в северо-восточной части моря (рис. 4.1 а).

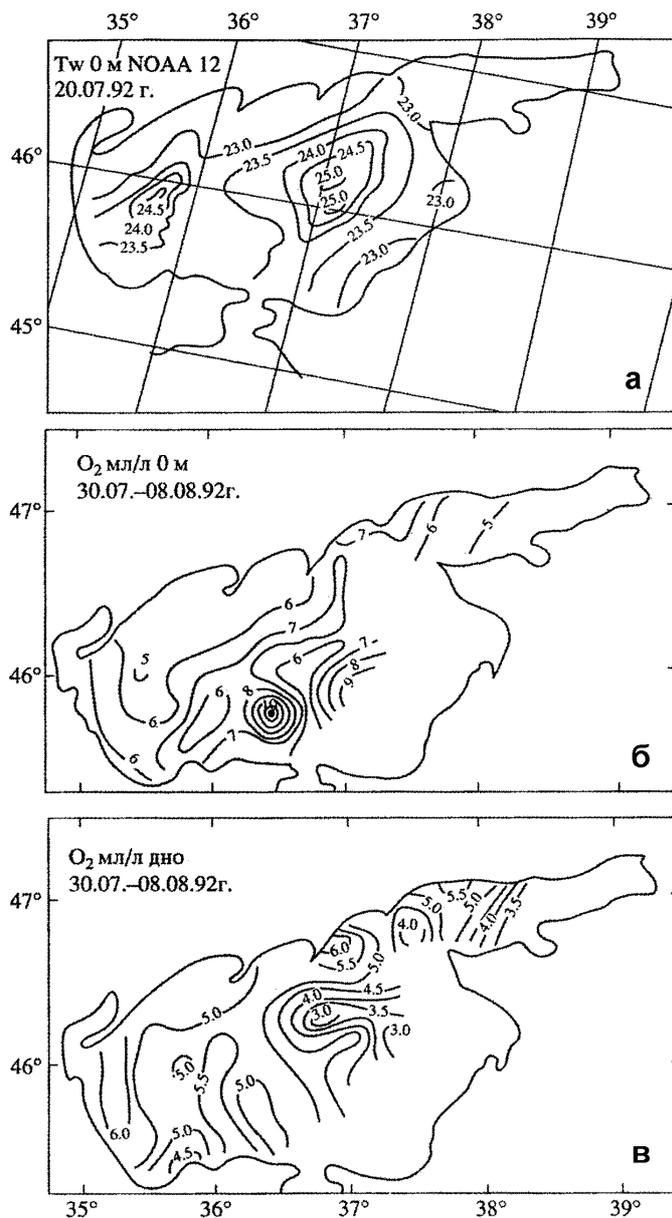


Рисунок 4.1. Распределение температуры поверхности моря по данным ИСЗ (а), содержания (мл/л) растворенного кислорода в поверхностном (б) и придонном (в) слое по судовым данным в июле 1992 г. (ситуация относительного смещения пятен)

Азовского моря, осуществляемый в ЮГНИРО с помощью спутниковых данных, позволяет оценить межгодовую изменчивость летней интенсивности цветения сине-зеленых водорослей и развития гипоксии.

На рис. 4.3 показана кривая отношения количества дней с «теплыми пятнами» к общему количеству дней с полезной ИСЗ-информацией за июнь-август. Эти данные позволяют утверждать, что наиболее неблагоприятными для Азовского моря в рассматри-

Через 10 дней в этом районе судовыми наблюдениями было отмечено минимальное содержание кислорода в придонном слое (рис. 4.1 в) как следствие активного цветения, хотя в поверхностном слое пятно цветения уже сместилось к югу (рис. 4.1 б).

На рис. 4.2 б и 4.2 в показана ситуация, зарегистрированная судовыми наблюдениями, когда зоны цветения (максимум кислорода на поверхности) пространственно совпали с минимумом содержания кислорода в придонном слое (менее 2 мл/л). В то же время на снимках ИСЗ в этом районе выделялись пятна вод с максимальной для всего моря (более 27 °С) температурой.

Существует ряд других примеров регистрации одних и тех же теплых пятен на снимках ИСЗ и судовыми измерениями в сочетании с повышенными концентрациями кислорода на поверхности и пониженными у дна.

Следуя элементарной логике, можно предположить, что появление теплых пятен (зон цветения) предшествует придонным заморам, которые сохраняются в этом районе еще несколько суток даже при смещении зоны цветения, как в июле 1992 г. Поэтому спутниковый мониторинг температуры поверхности моря можно использовать в оперативном прогнозе появления гипоксии (на примере 1997 г.).

Мониторинг теплового фона

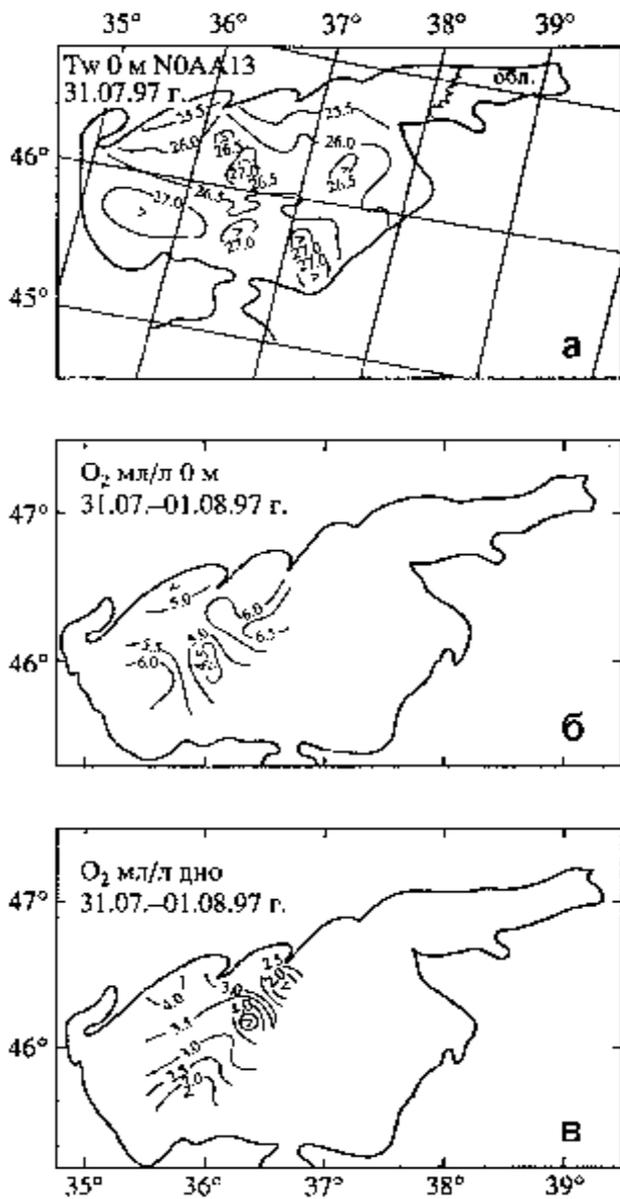


Рисунок 4.2. Распределение температуры поверхности моря по данным ИСЗ (а), содержания (мл/л) растворенного кислорода в поверхностном (б) и придонном (в) слое по судовым данным в июле 1997 г. (ситуация совпадения пятен)

ветствующих направлений, как периоды черноморских течений в Керченском проливе и зоны адвекции прогретых, более соленых (летних) поверхностных вод на прохладные распресненные (весенние) воды. В июле-августе зоны потенциальной гипоксии – это, преимущественно, зоны вспышек численности синезеленых водорослей, значительно ухудшающих качество воды, которые фиксируются на фотоснимках с космических аппаратов как зоны по-

ваемый промежуток времени были 1989 и 1993 гг., далее следуют 1995 и 1997 гг. Самым благоприятным за это время был 1994 г. Приведенные оценки не всегда соответствуют обобщенным за сезон данным прямых измерений содержания растворенного в воде кислорода. Однако они представляются более достоверными и в тенденциях изменений асинхронно соответствуют (рис. 4.3) некоторым показателям состояния экосистемы Азовского моря [21].

Межгодовые изменения интенсивности летнего цветения фитопланктона и развития гипоксии связаны не только с текущими погодными условиями, но и с интенсивностью осенне-зимней аккумуляции органических веществ в донных отложениях.

Данные, которыми мы располагаем для периода высоких температур, позволяют разделить во времени предпосылки замороз в Азовском море. В июне – это, преимущественно, плотностная стратификация. Типы стратификации, благоприятствующие развитию придонного дефицита кислорода, могут прогнозироваться (моделироваться) в самом общем виде по преобладанию ветров соот-

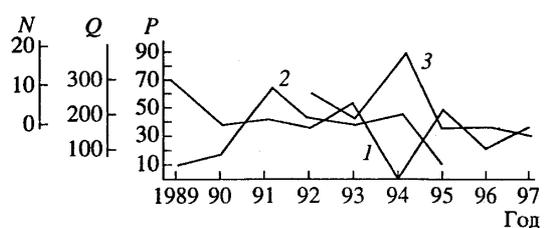


Рисунок 4.3. Некоторые показатели состояния экосистемы Азовского моря: 1 – отношение (P, %) количества дней с «теплыми пятнами» к общему количеству дней с полезной информацией по данным ИСЗ за июль-август; 2 – средняя биомасса (Q, мг/м) кормового зоопланктона с апреля по сентябрь; 3 – урожайность (N, млрд. экз.) азовской хамсы

вышенной мутности вод в ТВ-канале и повышенной температуры морской поверхности в ИК-диапазоне.

Таким образом, данные дистанционного зондирования морской поверхности позволяют прогнозировать появление и положение зон придонной гипоксии с заблаговременностью в несколько дней и использоваться при организации рационального промысла такой ныне дефицитной рыбы, как азовский бычок.

4.2. Связь придонной гипоксии и заморов рыбы в прибрежных водах Азовского моря

В предшествующем подразделе исследована связь между распределением температуры воды на поверхности Азовского моря, полученной с ИСЗ, и областями дефицита кислорода в придонном слое – предполагаемыми зонами заморов. В летний период года на фоне сравнительно однородного поля температур на отдельных участках моря периодически появляются «пятна» теплой воды. Здесь же наблюдаются зоны пересыщения кислородом поверхностных вод (активное цветение фитопланктона) и минимальное содержание кислорода у дна. В дальнейшем «пятна» с повышенной температурой на картах температуры поверхности моря (ТПМ) будем называть потенциально заморными зонами.

В настоящем подразделе в качестве исходных использованы фактические данные о количестве погибшей рыбы, обнаруженной в прибрежной зоне Азовского моря непосредственно во время заморов.

Анализ распределения температуры поверхности моря проведен по трем видам наблюдений: с ИСЗ, с научно-исследовательских судов и измерений у берега в период сбора погибшей рыбы.

Карты ТПМ принимались в ЮгНИРО с космических аппаратов серии NOAA с 1988 г. комплексом аппаратуры «Su-8» («Furuno»). С этого же года рассматривались и показатели масштаба заморов. С 1988 по 1991 г. характеристика зон заморов проводилась с использованием прибрежных наблюдений и с ИСЗ. Начиная с 1992 г. ЮгНИРО в летний период дополнительно к указанным видам наблюдений проводились исследования закономерностей распределения придонной гипоксии в океанографических съемках. Данные этих съемок также использованы в работе. В табл. 4.4 представлены показатели, характеризующие заморы, гипоксию и температурные условия в период заморов.

Из приведенной информации следует, что существуют незначительные отклонения в большую сторону температуры воды, определенной с ИСЗ, от прямых измерений у берега и с судна. Это можно объяснить тем, что фактические измерения проводились в «точке», а спутниковые данные оценивались на некоторой акватории с выбором максимальных значений, так как при характеристике потенциально заморных зон использовались максимальные значения температуры воды в пределах пятна.

Межгодовая изменчивость интенсивности придонной гипоксии, выраженная отношением (Р) количества снимков с полезной информацией (снимки, на которых прослеживались «теплые» пятна – потенциально заморные зоны) к общему числу информативных (открытых от облачности) снимков по месяцам, по всему морю и для прибрежных районов сопоставлялась с количеством (П) погибшей рыбы (рис. 4.4, 4.5).

Заморы в 1988-1991 гг. по береговым данным наблюдались с конца второй декады июня и до середины июля, а также в конце августа в Белосарайском и Обиточном заливах. Здесь же в этот период по снимкам ИСЗ были выявлены потенциально заморные зоны. Кроме того, аналогичные зоны по спутниковым наблюдениям отмечались вдоль Бердянской косы со стороны Бердянского залива.

Таблица 4.4

Параметры прибрежных, спутниковых и судовых наблюдений

| Год | Параметры прибрежных наблюдений | | | | Параметры наблюдений с ИСЗ | | | | Параметры судовых наблюдений | | | | | | |
|------|---------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|----------------|---|--------------------------------|-------------------------------------|--|------------------------------------|------------------------|--|--|---|
| | Дата | Район | Протяженность морской зоны, км | Кол-во потоплений рыб, т | Температура воды в заморной зоне, °С | Дата | Район | Протяженность морской зоны, км | Температура воды в центре пятна, °С | Температура воды в зоне придонной гипоксии, °С | Район | Дата | Температура воды в зоне придонной гипоксии, °С | Значения кислорода в зоне гипоксии, мг/л | Значения кислорода за пределами зоны гипоксии, мг/л |
| 1988 | 2 7.07 | 3 Белосарайский залив | 4 1 | 5 5 | 6 24-25 | 7 04.07 | 8 Белосарайский залив | 9 5 | 10 26 | 11 24 | 12 - | 13 - | 14 - | 15 - | 16 - |
| | 11.07 | Обиточный залив | 8 | 40 | 24-25 | 4.07 | Обиточный залив | 10 | 26 | 24 | - | - | - | - | - |
| 1989 | 17.06 18.06 | Белосарайский залив | 2 | 451 | - | 15.06 | Белосарайский залив Бердянский залив | 25 20 | 23 23 | 21-22 21-22 | - | - | - | - | - |
| | 7.07 | Обиточный залив | - | - | - | 04.07 10.07 | Обиточный залив Бердянский залив | 6 10 | 27 | 24-25 | - | - | - | - | - |
| 1990 | 04.07 | Белосарайский залив | 7 | - | - | 02.07 | Белосарайский залив (б. Таранья) Бердянский залив | 12 15 | 25 26 | 23-24 24 | - | - | - | - | - |
| | 1 1 | Белосарайский залив | 8 | 281 | - | 10.07 | Белосарайский залив | 8 | 26 | 24-25 | - | - | - | - | - |
| | 2 | Белосарайский залив | 8 | - | - | 22.08 | Белосарайский залив (б. Таранья) | 8 | 24 | 22-23 | - | - | - | - | - |
| | 26.06 30.06 01.07 | Белосарайский залив Бердянская коса | 5 | 1260 | - | 01.07 02.07 | Белосарайский залив Бердянский залив | 10 10 | 26-27 | 24-25 | - | - | - | - | - |
| | 1 2 | Бердянская коса | 8 15 | - | - | 07 | Бердянский залив | 20 | 28 | 26 | - | - | - | - | - |
| 1992 | | Заморы не наблюдались | | | | 20.07 | Центр моря | 60 | 25,5 | 23-23,5 | 30.07- 08.08 14.08- 30.08 | Центральная часть моря | 25-25,5 | 2,5-3,0 | 4,5-5,0 |

Продолжение таблицы 4.4

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------|-------------------------------|--|-----------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------|--|-----|----------------|----------------|----------------------------|---|--------------------|--------------------|------------|
| 1993 | 11.06 | Белосарайский залив Бердянская коса | 100 | Ед. экз. | 22,2 | 10 | Белосарайский залив Бердянский залив | 20 | 22 | 18-19 | 15.06-29.06 | Центральная часть моря | 26-26 | 1-2 | 4,3 |
| 1994 | | Заморы | блодолись | | | 28.06-23.07 | Все море | - | 22-23 23-24 | 22-23 23-24 | 22.06-30.06 23.07-07.08 | Западная и центральная части Все море | 22-23 23-24 | - | 6-8 5-9 |
| 1995 | | Белосарайский залив | 1 | 85 | 23,4 | - | - | - | - | - | 23.06 | Белосарайский залив Центр моря | 24-25 | 3,9-4,0 | 5-6 |
| 1996 | | Заморы не наблюдались | | | | 29.07 | Центральная часть моря, южнее Обиточного и Бердянского заливов | 120 | 26-26,5 | 23-24 | 16.07-25.07 27.07-08.08 | Центр моря Обиточный залив | 23-24 23-24 | 1,3-1,5 3,2-3,5 | 4-5 5-6 |
| 1997 | 6.08-7.08 | Белосарайский залив | | 12 | 27 | 3 | Центральная часть моря, южнее Бердянского косы | | 26,5-27 | 25,5-26 | 21.07-05.08 31.07-01.08 | Южнее Бердянской косы Юго-западная часть Азовского моря | 27,7-27,8 27-28 | 1,7-1,9 1,7-1,9 | 6-7 4-7 |
| 1998 | 15.07-20.07 | о. Сиваш Утлюкский лиман Северная часть Арабатской стрелки | 66 | 113 106 10 | 30 | 15.07 | о. Сиваш Арабатская стрелка | 60 | 27-28 | 23-24 | 21.07-04.08 14.07-23.07 | Центральная часть моря Район, южнее 46° | 26-27 | 2,1 | 5-6 |
| 1999 | 4.07-05.07 | Белосарайский залив Район г. Бердянский | 29 | 179 | 23,5-24 O ₂ 2,8 мл/л | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 5.07 | Обиточный залив | 1 | 0,05 | 27 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 6.07-7.07 | Арабатский залив | 18 | 26 | 27 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 27.07 | Бердянский залив | 3 | 2 | 28,4 O ₂ 3 мл/л | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 6.08-13.08 | Район к. Бирючей Остров Утлюк | - | 0,4 | 27 | - | - | - | - | - | - | 11.08-08.08 | Северо-западная часть моря | 25,8-27,5 | 2,7-3,0 | 4,5 |
| 9.08-10.08 | Керченский пролив | | 0,02 | 27 | - | - | - | - | - | - | 12.08 | Юг моря Керченский пролив | 28,5-29,5 | 1,5-2,0 | 4,5-5 |
| 11.08-12.08 | Белосарайский залив | | 4 | 28 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Продолжение таблицы 4.4

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 3 | 4 |
|------|-------------|--|---|-----|-------------------------------|-------|---|-----|---------|---------|-------------|---|-----|---|
| 2000 | 12.07-13.07 | Белосарайский залив Район г. Бердянска | 4 | | 26,1 мг/л | 12.07 | Белосарайский залив Бердянский район центр моря | 6-8 | 2 | 23-24 | - | - | - | - |
| | 23.07 | Белосарайский залив Бердянский залив | | 186 | 24-26 О ₂ 4,0 мг/л | 24.07 | Бердянский залив Белосарайский залив | 30 | 2 | 24-25 | - | - | - | - |
| | 27.07 | Казантипский залив | | | 2 | 26.07 | Казантипский залив | 5 | 28,5-31 | 28,5-31 | 28.07-05.08 | Западная часть моря Бердянский и Гургулякский | 3-4 | - |
| 2001 | 31.07 | Белосарайский залив | 7 | 8 | 28 | 02.08 | Белосарайский залив Центр моря Юго-восточ час | 80 | 30-30,5 | 29-29,5 | - | - | - | - |

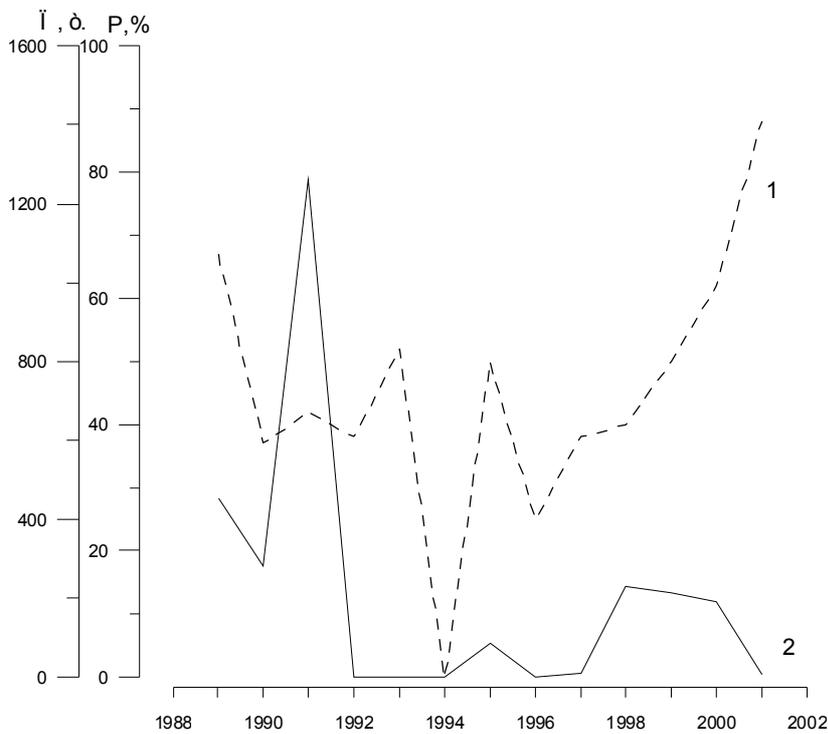


Рисунок 4.4. Изменения показателя (P, %) интенсивности развития потенциально заморных зон по всему Азовскому морю (1) и количество погибшей рыбы (I, т) в прибрежных районах моря за июль-август (2)

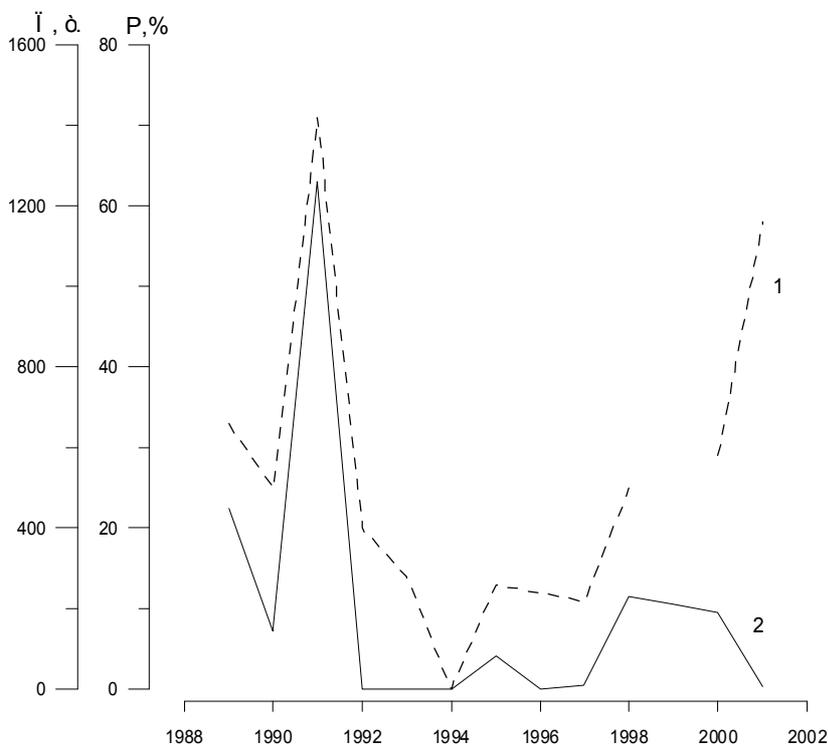


Рисунок 4.5. Изменения показателя (P, %) интенсивности развития потенциально заморных зон в прибрежных районах Азовского моря (1) и количество погибшей рыбы (I, т) в прибрежных районах моря за июль-август (2)

Значения температуры воды в центре этих зон составляли 23-24 °С в июне и августе и 25-28 °С – в июле. Максимальных значений, свыше 28 °С, температура воды достигала в середине июля 1991 г. Температура вод, окружающих теплые пятна, была на 1-3 °С ниже.

Протяженность зон замора рыбы по прибрежным наблюдениям составляла 2-15 км, потенциально заморных зон (по спутниковым наблюдениям) – 5-25 км. Наибольшее количество погибшей рыбы было выявлено в 1989 и 1991 гг. – 451 и 1260 т соответственно. Массовая гибель рыбы в 1991 г. произошла вероятно из-за того, что практически по всему морю отмечались высокие значения температуры воды и зонами гипоксии были охвачены значительные акватории.

Для 1992 и 1996 гг. характерно отсутствие заморов в прибрежных районах моря. Однако по спутниковым и судовым наблюдениям потенциально заморные зоны прослеживались в центральной части моря, южнее Обиточного и Бердянского заливов. Максимальные значения температуры воды в центре потенциально заморных зон составляли в 1992 г. 25,5 °С (температура окружающих вод 23-23,5 °С), в 1996 г. – 26-26,5 °С (тем-

пература окружающих вод 23-24 °С). По судовым наблюдениям на этих акваториях отмечались в придонном слое минимальные значения кислорода, которые составляли в 1992 г. и 1996 г. соответственно 2,5-3,0 мл/л и 1,0-3,0 мл/л. Эти зоны занимали обширные акватории (до 60-120 км в диаметре). Возможно из-за того, что они существовали непродолжительное время и не распространялись на прибрежные районы, массовой гибели рыбы отмечено не было.

В 1993 и 1995 гг. заморы наблюдались в июне. По данным прибрежных наблюдений и спутниковых карт ТПМ они охватывали Белосарайский залив. Дефицит кислорода в придонном слое был обнаружен несколько позже и в центральной части моря во время выполнения океанографической съемки. Значения температуры воды были относительно невысокими и составляли 22 °С в 1993 г. и 23-24 °С – в 1995 г. Вероятно причиной заморы была повышенная июньская плотностная вертикальная стратификация вод.

В июле 1997 и 2000 гг. зоны заморы отмечались в прибрежной части Белосарайского залива. Температура воды в потенциально заморных зонах составляла 27-28 °С, концентрация растворенного кислорода по прибрежным наблюдениям – 4 мл/л. Зоны придонного дефицита кислорода по спутниковым и судовым данным были также обнаружены в начале августа 1997 г. южнее Бердянской косы и в юго-западной части Азовского моря. Содержание кислорода по судовым измерениям составляло 1,7-1,9 мл/л.

Отличительной особенностью 1998 г. является то, что зоны заморы отмечались в заливе Сиваш и Утлюкском лимане (рис. 4.6 а). Протяженность зоны составляла 60-65 км, количество погибшей рыбы – 230 т. Значения температуры воды по спутниковым картам ТПМ в потенциально заморных зонах достигали 30 °С. Температура окружающих вод была на 4-6 °С ниже. По судовым наблюдениям минимальные значения содержания кислорода в придонном слое прослеживались в южной части моря и никак не были связаны с отмеченными заморами.

В 1999 г. количество погибшей рыбы составляло 212 т. Заморы наблюдались в первой и третьей декадах июля и в первой половине августа в прибрежной зоне Белосарайского, Обиточного, Бердянского, Утлюкского и Арабатского заливов, а также в Керченском проливе. Температура воды в этих районах по данным прибрежных наблюдений составляла в июле 26-27 °С, в августе – 28-29,5 °С. В океанографических съемках на северо-западе моря и севернее Керченского пролива зафиксированы минимальные значения кислорода соответственно 2,9 мл/л и 1,5-2,0 мл/л. Прием данных с ИСЗ, к сожалению, в этот период не проводился.

В 2001 г., по наблюдениям с космических аппаратов, потенциально заморные зоны практически повсеместно (кроме юго-восточной части моря) отмечались во второй половине июля и в начале августа в районе Бердянской косы, в Обиточном и Белосарайском заливах. Температура воды составляла 27-30,5 °С. Температура окружающих вод была на 1-1,5 °С ниже. Количество погибшей рыбы в прибрежной части моря было незначительным: в Казантипском заливе – единичные экземпляры, в Белосарайском заливе – 7,7 т (рис. 4.6 б). В этом году условия обитания рыбы в других прибрежных районах были сравнительно благоприятными. Массовая гибель рыбы отмечалась в центральной части моря. Судовые наблюдения, к сожалению, проводились уже после пика гипоксии. Минимальные определенные концентрации были на уровне 3-4 мл/л.

Таким образом, регулярные спутниковые наблюдения позволили оценить межгодовую изменчивость распространения и степени развития потенциально заморных зон по всему Азовскому морю.

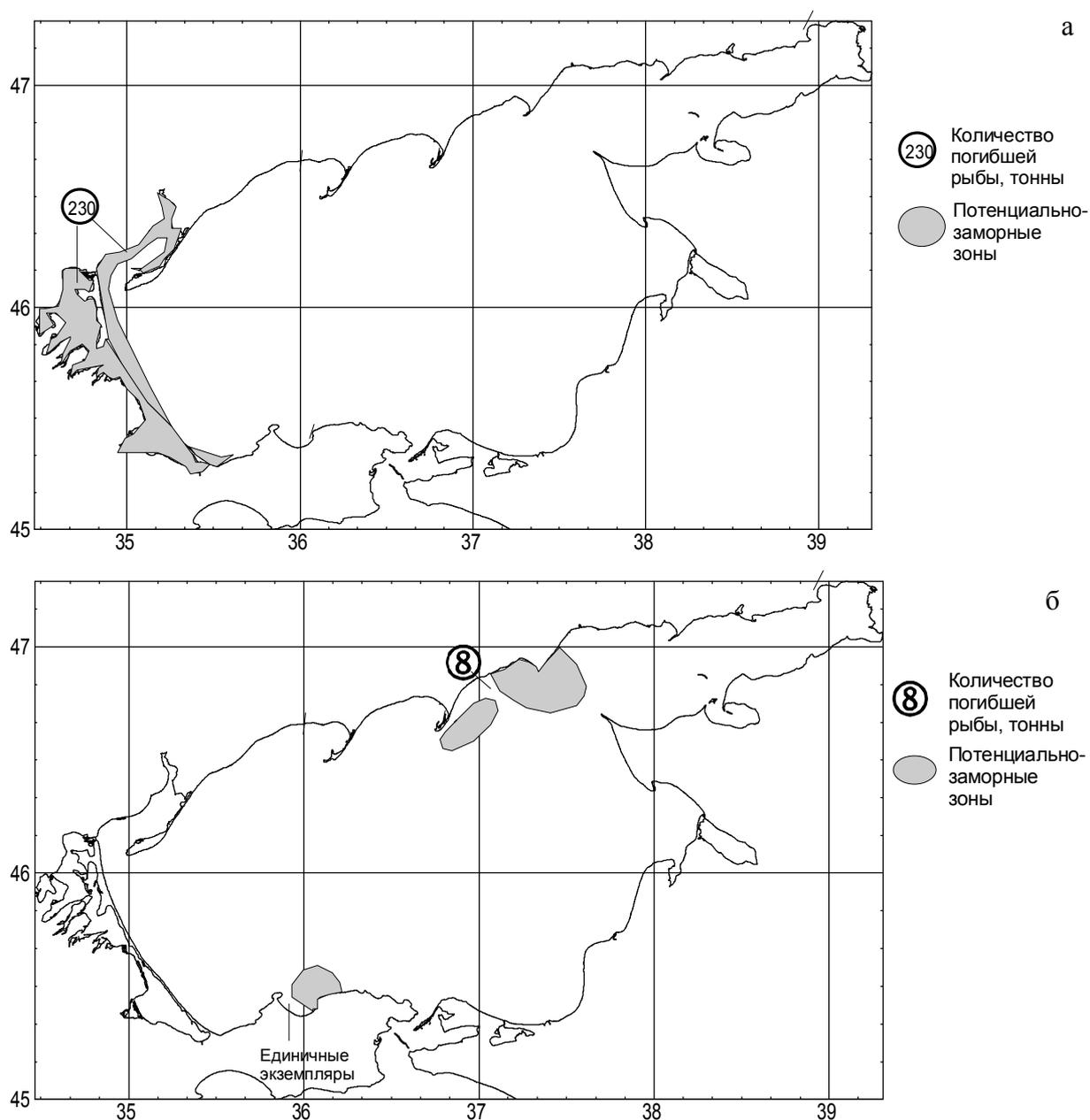


Рисунок 4.6. Расположение потенциально заморных зон, выявленных в прибрежной зоне моря по данным ИСЗ, и количество учтенной на берегу погибшей рыбы в июле 1998 г. (а) и в июле 2001 г. (б)

Графическое сопоставление этих изменений с количеством погибшей рыбы представлено на рис. 4.4, где видно практически полное соответствие экстремумов на обеих кривых. Незначительное несоответствие наблюдалось в те годы, когда потенциально заморные зоны, определяемые по результатам спутниковых наблюдений, охватывали преимущественно центральные районы моря.

Также были сопоставлены данные о количестве погибшей рыбы, обнаруженной в июле-августе в Белосарайском, Обиточном, Бердянском, Утлюкском и Казантипском заливах, а также в заливе Сиваш и вдоль косы Арабатская стрелка, со спутниковой информацией, позволяющей оценить ТПМ в эти месяцы непосредственно в прибрежной зоне моря (см. табл. 4.4).

В результате сравнения изменений двух показателей «Р» и «П» (см. рис. 4.5) выявлено полное соответствие экстремумов на обеих кривых. Исключение составил лишь 2001 г., когда на фоне высоких значений температуры воды по всему морю массовые заморы рыбы наблюдались в глубоководной его части.

Временной ход трех представленных на графиках показателей позволяет также предположить наличие в интервале времени с 1988 по 1998 г. квазидвухлетней цикличности. В нечетные годы интенсивность заморозов возрастала, в четные – снижалась (либо заморы отсутствовали). После 1999 г. в изменениях анализируемых показателей проявились разнонаправленные тенденции. При увеличении частоты появления потенциально заморных зон отмечено снижение количества погибшей рыбы в прибрежной части моря.

Развитие ситуации замора достаточно детально удалось отследить в последних числах августа 2003 г.

После сравнительно холодной погоды июня и июля 2003 г. (среднемесячные значения температуры воздуха в Керчи были ниже нормы на 0,2 и 1,3 °С соответственно) в августе среднемесячная температура воздуха над Азовским морем достигла средних многолетних значений. Особенно теплой и безветренной была вторая половина третьей декады месяца. Такая погода обуславливалась малоградиентным полем атмосферного давления в теплом секторе приближающегося циклона. 27-31 августа наблюдался ветер переменных направлений 3-8 м/с, ослабевавший ночью до полного штиля. Среднесуточная температура воздуха достигла в эти дни значений 23-25 °С (днем 29-32 °С, по югу и востоку Азовского моря до 35 °С).

1 сентября ночью сохранялось маловетрие. Днем, с приближением холодного фронта, отмечалось усиление южного ветра до 5-8 м/с. К концу дня направление ветра изменилось на северо-западное и отмечалось его усиление до 6-10 м/с. Прохождение холодного фронта 2 сентября вызвало сильный северо-западный ветер и понижение дневной температуры воздуха до 19-22 °С.

Температура морской воды после отрицательных аномалий июля (-0,3 °С в Керчи) также приобрела в августе положительные аномалии (+0,9 °С). В первой декаде августа среднее ее значение в Керчи составило 24,2 °С, во второй – 24,6 °С, в третьей – 25,6 °С.

На картах температуры поверхности Азовского моря, принятых с ИСЗ 7-8 августа, а затем после 15 августа, в различных районах моря (преимущественно в районах Обиточного, Бердянского, Ясенского и Казантипского заливов) стали появляться пятна размерами 5-20 миль в диаметре с температурой воды, превышающей окружающий фон на 1-2 °С.

На основании проведенных ранее исследований эти пятна идентифицировались как участки вспышки численности фитопланктона и потенциально заморные зоны. Такое пятно протяженностью около 15 миль было отмечено 27 августа на расстоянии 5-10 миль к северу от Казантипского залива. 29 августа более обширные пятна заняли акваторию к северо-западу от м. Казантип и в Темрюкском заливе. Два пятна диаметром 2-3 мили появились севернее Керченского пролива.

По данным экспедиционного судна РС-97, работавшего в Азовском море по программе ЮгНИРО, за время с 27 по 30 августа в южной части Азовского моря (от м. Казантип до Керченского пролива) местами отмечали на поверхности снулую рыбу (бычков и тюльку, изредка – судака). Ориентировочно на 1 милю маршрута приходилось 2 экз. снулой рыбы. Одновременно наблюдался подъем живой рыбы в верхние слои воды. При выборке орудий лова нижняя подбора имела характерный запах сероводорода. Состояние поверхности моря не превышало 1 балла.

В прибрежных водах по материалам наблюдателей контрольно-наблюдательных пунктов ЮгНИРО «Капканы», «Юркино», «Новоотрадное», «Семеновка» заморные явления отмечались локально. Так, в районах пос. Насыр – бухта Широкая и пос. Новоотрадное – Казантипский залив заморных явлений не отмечалось. В то же время в первом районе вода имела неприятный запах гнили и на вид казалась желеобразной; орудия лова покрывались коричнево-серой скользкой массой.

В районе пос. Юркино 31 августа заморных явлений также не наблюдалось. С усилением северо-западного ветра к вечеру 1 сентября и утром 2 сентября на поверхности воды появилась снулая рыба, основную долю которой составлял бычок-кругляк и немного – молодь барабули. В орудиях лова рыба была живой. Очевидно, что снулая рыба была принесена в этот район течением.

В районе пос. Курортное (у Гнилого ручья) в ночь с 30 на 31 августа отмечали массовый подход бычка к самому берегу. Утром 31 августа на берегу наблюдалось значительное количество погибшего бычка (в основном, *Pomatoschistus* sp.): на 1 м береговой полосы приходилось 1-3 особи. У поверхности воды находились несколько особей еле живой атерины. В воде было отмечено массовое количество микроводорослей коричневатого оттенка. В дальнейшем гибель рыбы не обнаруживалась.

В районе пос. Подмаячный (север Керченского пролива) массовый подход молоди бычка к берегу отмечался 1 сентября. В ночь на 2 сентября на этом участке побережья было выброшено на берег и находилось в прибойной полосе воды значительное количество погибшей рыбы.

Из акта осмотра прибрежной полосы в районе б/о «Прибой» (пос. Подмаячный), выполненного сотрудниками Керченской Госрыбинспекции, следует, что у воды на 1 м береговой полосы находилось 150-170 экз. рыбы, в воде – от 10 до 40 экз. на 1 м².

Исследование уловов рыбы (молодь бычка), которая в промысловом количестве подошла к берегу 1 сентября у пос. Подмаячное, показало, что рыба была выловлена в живом виде. Следов гибели от гипоксии или признаков отравления токсичными веществами, а также водорослями не обнаружено.

Проба воды, отобранная в месте отлова рыбы и проанализированная в ЮгНИРО сотрудниками аттестованной лаборатории охраны морских экосистем, характеризовалась следующими показателями:

- рН – 6,60 – несколько повышенная кислотность, что может быть следствием притока сероводорода из вероятно расположенной глубже и дальше от берега анаэробной водной массы;
- окисляемость – 16 мг О₂/л – содержание органики, превышающее норму в 3-4 раза, что совершенно закономерно при наблюдавшемся скоплении рыбы, но причиной гибели само по себе органическое вещество быть не может;
- ртуть – 0,16 мкг/л (ПДК для рыбохозяйственных водоемов 0,10 мкг/л) концентрация допустимая, часто встречающаяся;
- суммарные нефтепродукты – 0,256 мг/л (ПДК – 0,05 мг/л, современный фон Азовского моря – 0,10-0,15 мг/л) не являются летальными концентрациями для рыбы.

Анализ собранной на берегу гиблой рыбы (6 шт. в районе пос. Юркино 1 сентября и 65 шт. в районе пос. Подмаячное 2 сентября) позволил определить, что гиблый бычок по составу и размерному ряду пробы не относится к рыбе, накануне подошедшей к берегу. В пробе, кроме бычка, присутствовали: барабуля, молодь судака и сингиля.

У всех видов рыб жаберные лепестки были забиты значительным количеством водорослей 3 видов: диатомовыми, синезелеными, золотистыми. При осмотре обнаруже-

ны признаки асфиксии (удушья) и кровоизлияния в области черепной коробки, жаберных крышек, грудных плавников и вдоль позвоночника.

Повторный отбор пробы воды в прибрежной 200-метровой зоне (глубины 3-4 м) у пос. Подмаячное, выполненный 2 сентября одновременно со сбором гиблого бычка, показал нормализацию показателя рН и содержания органики (рН увеличился до нормальных значений – 7,55 на поверхности и 6,95 у дна, окисляемость снизилась в 3,5 раза до значений 4,61 мг O_2 /л на поверхности и 4,92 мг O_2 /л – у дна). Содержание растворенного в воде кислорода было на уровне 80 % насыщения (4-5 мг/л) как на поверхности, так и в придонном слое.

Таким образом, в 2003 г. в ходе нормальной летней сукцессии фитопланктона Азовского моря во второй половине августа произошла вспышка его численности (преимущественно токсичные синезеленые водоросли) в различных районах моря. Отмирание фитопланктона и его оседание на дно привело к резкому превышению химического потребления кислорода над его продукцией и поступлением с поверхности. Этот дефицит кислорода усилился ночью, в штилевую погоду и при высоких температурах воды. При сочетании этих условий содержание растворенного в воде кислорода снизилось от нормальной концентрации до полного отсутствия в течение одних суток. Все эти предпосылки развития гипоксии имели место в южной части Азовского моря на некотором удалении от берега, что привело к появлению на поверхности моря снулой и живой рыбы 26-30 августа. В штилевые ночи 30-31 августа зона придонной гипоксии получила распространение в направлении берега. 1 августа этому способствовали южные сгонные ветра. В результате был отмечен подход рыбы к самому берегу и ухудшение качества прибрежных вод. Смена погодной ситуации 1-2 сентября привела к восстановлению нормального содержания в воде кислорода, прекращению замора и выносу на берег погибшей в море рыбы.

Гибель рыбы произошла в результате асфиксии, вызванной вспышкой численности фитопланктона и развитием придонной гипоксии, которая в свою очередь явилась следствием благоприятных для этого природных условий. Описанный замор был оценен как локальный и незначительный.

Какого-либо заметного ущерба запасам азовских бычков данный замор не нанес.

Подобные явления наблюдались и в прошлом, но преимущественно у северного побережья Азовского моря. В настоящее время в связи с увеличением численности популяции азовских бычков заморы становятся проблемой и для керченского побережья.

Это обуславливает необходимость консолидации усилий организаций всех ведомств и муниципальных служб для минимизации отрицательных последствий массовой гибели рыбы в Азовском море.

Авторы выражают благодарность Н. Т. Бровченко за предоставленные данные о количестве погибшей рыбы в прибрежных районах Азовского моря.

В данной главе затронут вопрос об одном из возможных механизмов, вызывающих гипоксию и заморы в начале лета в южной части Азовского моря. Это, по мнению авторов, двойная диффузия, возникающая при натекании черноморских теплых и соленых вод на относительно холодные и малосоленые воды Азовского моря. Вместе с тем, согласно критическим замечаниям профессора В. А. Брянцева, для более строгого доказательства необходимо было показать, что в начале лета реально существуют в природе ситуации, когда воды Черного моря имеют более высокую температуру по сравнению с водами Азова, тогда как общепринято считать, что прогрев азовоморских вод значительно опережает прогрев черноморских.

К сожалению, мы не обладаем достаточно надежными статистическими сведениями, на основании которых можно было бы показать, насколько типична для начала лета ситуация, когда воды Черного моря, проникающие через Керченский пролив, имеют более высокую температуру по сравнению с водами южной части Азовского моря. Вместе с тем, данные отдельных экспедиций, например представленные в статьях [59, 72], для конца весны-начала лета фиксируют именно такую ситуацию, реально существующую в Керченском проливе и в южной части Азовского моря.

Одна из вероятных причин, обуславливающих отрицательную разность температур между азовскими и черноморскими водами, может быть связана с погодными условиями. Возможно, что в холодные и достаточно продолжительные естественные синоптические периоды в начале лета воды Азовского моря могут выхолаживаться быстрее, чем воды прилегающих акваторий Черного моря.

Возможно также (мнение профессора В. А. Брянцева), что при рассмотрении в данной работе предлагаемого механизма заморов в Азовском море в июле-августе (локальные вспышки синезеленых водорослей) следствие принято за причину. Так, согласно мнению цитируемого исследователя, во время летней стагнации локальной переэвтрофикации взяться неоткуда, кроме как с глубинных горизонтов. Здесь избыток биогенов может наступить вследствие разложения донных организмов, которое создается гипоксией.

Существование противоположных мнений относительно механизма заморов в Азовском море свидетельствует о сложности и недостаточной изученности этого явления, и данная работа может стимулировать интерес у исследователей к дальнейшему более глубокому его изучению. Тем более, что в настоящей главе достаточно убедительно показана возможность обнаружения и контроля зон гипоксии и заморов в Азовском море на базе спутниковых зондирований. Это дает основание для целенаправленного планирования и эффективной реализации подспутниковых контактных океанографических экспериментальных исследований, столь интересных и важных в прикладном плане явлений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования динамических процессов, ледовых условий, явлений гипоксии как факторов среды, влияющих на био- и рыбопродуктивность Черного и Азовского морей, которые были проведены сотрудниками Южного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии примерно за последние два десятилетия и представлены в настоящей работе, позволяют сформулировать следующие выводы, а также наметить перспективы дальнейшего изучения затронутых проблем.

Показано, что прибрежный апвеллинг в Черном море обусловлен преимущественно глобальными атмосферными процессами. Он охватывает преобладающую часть побережья, за исключением восточных областей. По степени интенсивности апвеллинга в Черном море условно выделены семь районов. В структуре апвеллинга, которая хорошо фиксируется со спутника, характерно наличие локальных очагов у берега и дальнейшее распространение струй, имеющих фронтальные признаки, в открытую часть. В северо-западной части моря с процессом прибрежного апвеллинга связано формирование промысловых скоплений шпрота. В межгодовом ходе характеристик апвеллинга существуют 2- и 11-летние циклы. Предложены эмпирические зависимости, позволяющие прогнозировать интенсивность апвеллинга по барическому полю и обстановку на промысле шпрота в зависимости от интенсивности апвеллинга.

Выявлено, что воды Черного и Азовского морей, взаимодействующие в Керченском проливе, обладают различными оптическими свойствами. Это позволяет выделять соответствующие потоки на спутниковых снимках и отслеживать динамику локальных течений, определять источники и пути распространения взвешенного вещества, а также фиксировать загрязненные участки акватории. Оценено влияние тузлинской дамбы на ряд важнейших параметров современного состояния экологической системы Керченского пролива. Показано, что строительство тузлинской дамбы стало причиной интенсификации всей системы течений в проливе. Изменился характер циркуляции вод в северной части Керченского пролива и в Таманском заливе.

Исследование ледового режима в Азовском море и Керченском проливе позволило обнаружить ряд нетипичных ситуаций: аномальный дрейф льда, нехарактерное распределение льдов, наличие тяжелых для судоходства ледовых перемычек. В современных условиях число мягких зим значительно увеличилось, а умеренных и суровых – уменьшилось. За последние годы отмечено более раннее образование льдов. В целом зимы стали более мягкими, но в то же время затяжными. Обнаружена качественная связь между типами зим и формированием заморных явлений в Азовском море: чем мягче зима, тем вероятнее возникновение заморов в последующее лето.

В Азовском море в летние месяцы года наблюдается явление гипоксии, которое периодически охватывает обширные участки его акватории, включая прибрежные и открытые воды. В июне гипоксия преимущественно обусловлена плотностной стратификацией. В июле-августе она связана со вспышками численности синезеленых водорослей. Количество погибшей рыбы как в открытых, так и в прибрежных районах Азовского моря, напрямую определяется интенсивностью развития потенциально заморных зон. Показано существование квазидвухлетней цикличности интенсивности заморов в Азовском море. Данные дистанционного зондирования морской поверхности позволяют прогнозировать появление и положение зон придонной гипоксии в Азовском море с заблаговременностью в несколько дней.

Дальнейшее развитие в исследовании черноморского апвеллинга представляется в детальном изучении механизмов обмена свойствами между прибрежными и глубинными водами моря, а также между прибрежными водами и водами открытой части, изучении гидробиологического и ихтиологического аспектов данного явления.

В Керченском проливе, который испытывает нарастающую со временем мощную антропогенную нагрузку, целесообразно организовать постоянно действующую сеть наблюдений и серию мониторинговых экспериментов, которые могли бы контролировать важнейшие составляющие экологического комплекса его акватории и прилегающих областей Азовского и Черного морей.

Представленный в настоящей работе анализ современного состояния ледовых условий в Азовском море и Керченском проливе носит описательный характер и демонстрирует возможности спутниковой гидрофизики в плане оперативного контроля и набора статистических сведений по ледовой обстановке исследуемых акваторий. Ледовые условия в Азовском море и Керченском проливе определяются особенностями атмосферной циркуляции и суровостью зим. Анализ с учетом причинных связей и оценок влияния степени ледовитости на продуктивность Азовского моря – задача предстоящих исследований.

Затронутая проблема гипоксии и попытка ее прогноза также требуют дальнейшего развития. Для этого необходимо более глубокое знание механизмов данного явления, базирующееся на емкой эмпирике. Одна из возможных причин, вызывающих это явление в Азовском море, которая, на наш взгляд, связана с дифференциально-диффузионной конвекцией, нуждается в тщательной экспериментальной проверке.

Для реализации задач из обозначенных направлений исследования одним из значимых источников информации служат и будут служить данные спутниковых наблюдений.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Абиотические условия формирования рыбопромысловой продуктивности Азовского и Черного морей: отчет о НИР ЮгНИРО / Керчь, 2004. – С. 32-43.
2. *Александрова З. В., Семенов А. Д., Ромова М. Г., Баскакова Т. Е.* Режим кислорода и содержание биогенных веществ Азовского моря в многолетнем аспекте // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна: сб. науч. трудов 1996-1997 гг. – Ростов н/Д: АзНИИРХ, 1998. – С. 34-42.
3. *Александрова З. В., Ромова М. Г.* Методика прогнозирования раннего содержания кислорода в придонных водах Азовского моря. – Л., 1981. – С. 107-114.
4. *Александрова З. В., Семенов А. Д., Ромова М. Г., Баскакова Т. Е.* Изменения химических показателей состояния воды и донных отложений Азовского моря в 1998-1999 гг. как отражение качественных преобразований функционирования его экосистемы // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна: сб. науч. трудов. – Ростов н/Д, 2000. – С. 307-317.
5. *Александрова З. В., Ромова М. Г., Баскакова Т. Е.* Химико-экологическая ситуация как показатель изменений в современный период // Материалы Международной научной конференции. – Ростов н/Д, 2001. – С. 15-17.
6. *Александрова З. В., Баскакова Т. Е.* Оценка тенденций изменения химических основ биологической продуктивности Азовского моря в современный период // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна: сб. науч. трудов (2000-2001 гг.). – М., 2002. – С. 26-36.
7. *Альтман Э. Н.* Динамика вод Керченского пролива // Гидрометеорология и гидрология морей СССР. Проект «Моря СССР», т. 4: Черное море. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – С. 291-328.
8. *Барзаковский Е. И.* О тонкой термохалинной структуре промежуточных слоев Карибского моря // Морской гидрофизический журнал. – 1987. – № 3. – С. 44-50.
9. *Березина Н. А.* Гидробиология. – М.: Пищевая промышленность, 1978. – С. 177-190.
10. *Беренбейм Д. Я.* Гидрологические условия, как причина гибели хамсы в Керченском проливе во время ее осенней миграции // Океанология. – 1965. – 5, вып. 5. – С. 891-893.
11. *Боровская Р. В., Панов Б. Н., Спиридонова Е. О., Лексикова Л. А., Кириллова М. В.* Прибрежный черноморский апвеллинг и межгодовая изменчивость его интенсивности // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. – 2005. – Вып. 12. – С. 42-48.
12. *Боровская Р. В., Парамонова Л. П., Романов Е. В., Чернышов И. В.* Опыт использования комплекса «Su-8» в рыбопромысловых исследованиях // Современные проблемы промысловой океанологии: тез. докладов VIII Всесоюзной конференции по промысловой океанологии. – Л., 1990. – С. 283-284.
13. *Боровская Р. В.* Ледовые условия в Азовском море и их связь с био- и рыбопродуктивностью // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – Вып. 6. – С. 391-394.
14. *Боровская Р. В., Лексикова Л. А.* Исследование ледового режима Азовского моря и Керченского пролива в зимний период 2005-2006 годов // Современные проблемы экологии Азово-Черноморского бассейна: Мат. II международной конференции, 26-27 июля 2006 г., ЮгНИРО, г. Керчь. – Керчь, 2006. – С. 60-64.

15. *Боровская Р. В., Парамонова Л. П.* Использование ИК – информации ИСЗ, полученной станцией «Su-8» для оценки ледовой обстановки Азовского моря // Современные проблемы промысловой океанологии: тез. докладов VIII Всесоюзной конференции по промысловой океанологии. – Л., 1990. – С. 282-283.
16. *Боровская Р. В.* Особенности ледового режима Керченского пролива за последние 20 лет на базе спутниковых наблюдений в сравнении с климатическими данными // Фундаментальные исследования важнейших проблем естественных наук на основе интегральных процессов в образовании и науке: тез. докладов международной конференции, Севастополь, МГИ НАН Украины. – Севастополь, 2006. – С. 13.
17. *Боровская Р. В., Панов Б. Н., Спиридонова Е. О., Лексикова Л. А.* Связь придонной гипоксии и заморы рыбы в прибрежной части Азовского моря // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. – Вып. 5. – С. 320-328.
18. *Боровская Р. В., Лексикова Л. А.* Распределение зон заморы в Азовском море в 1989-1994 годах // Труды ЮгНИРО. – Керчь: ЮгНИРО, 1996. – Т. 42. – С. 243-246.
19. *Боровская Р. В.* Гипоксия и заморы рыбы в Азовском море на базе спутниковых и контактных данных. Возможность прогноза этих явлений // Проблемы биологической океанографии 21 века: тез. докладов международной конференции, Севастополь, ИнБЮМ НАН Украины. – Севастополь, 2006. – С. 112.
20. *Боровская Р. В.* Особенности ледового режима Керченского пролива за последние 15 лет по данным спутниковых наблюдений // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – Вып. 14. – С. 253-258.
21. *Бронфман А. М., Хлебников Е. П.* Азовское море. Основы реконструкции. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 270 с.
22. *Брянцев В. А.* Атмосферная циркуляция, как основа долгосрочных рыбопромысловых прогнозов (на примере региона Черного моря) // Пленарные доклады Восьмой всесоюзной конференции по промысловой океанологии, Ленинград, октябрь 1990 г. – М.: ВНИРО, 1990. – С. 173-180.
23. *Брянцев В. А.* Информация о форме суммарных аномалий атмосферной циркуляции, и ее воздействие на экосистему Черного моря // Доклады НАН Украины. – 1996. – № 9. – С. 163-168.
24. *Брянцев В. А.* Физические предпосылки рыбопромысловой продуктивности морских экосистем: дис. ... доктора географических наук. – Л., 1990. – 286 с.
25. *Брянцев В. А., Ломакин П. Д., Фример В. Б.* Условия образования скоплений сквамы на банках Обь и Лена в Антарктике // Условия образования промысловых скоплений рыб. – М.: ВНИРО, 1980. – С. 117-174.
26. *Брянцев В. А.* Методические рекомендации по гидрометеорологическому прогнозированию основных объектов промысла в Черном море. – Керчь: ЮгНИРО, 1987. – 42 с.
27. *Брянцев В. А.* Гидрометеорологическая база основных черноморских рыбопромысловых прогнозов. // Долгопериодная изменчивость условий природной среды и некоторые вопросы рыбопромыслового прогнозирования: тр. ВНИРО. – М., 1989. – С. 282-291.
28. *Брянцев В. А.* Внешние предпосылки многолетних изменений черноморской экосистемы // Рыбное хозяйство Украины. – 2001. – № 6. – С. 22-23.
29. *Брянцев В. А.* Возможные экологические последствия сооружения Тузлинской дамбы (Керченский пролив) // Морской экологический журнал. – 2005. – 4, № 1. – С. 47-50.

30. *Брянцев В. А., Фащук Д. Я.* Причины черноморских заморозов // Вопросы промысловой океанологии Мирового океана: мат. 5 Всесоюзной конференции. – Калининград, 1979. – С. 23-26.
31. *Брянцев В. А.* Предпосылки к возможности долгосрочного прогноза заморных явлений в северо-западной части Черного моря // Рыбное хозяйство Украины. – 1998. – № 1. – С. 10-14.
32. *Брянцев В. А.* Восстановление рыбопродуктивности Азовского моря // Рыбное хозяйство Украины. – 1999. – № 2. – С. 12-14.
33. *Брянцев В. А.* Внешние предпосылки многолетних изменений черноморской экосистемы // Рыбное хозяйство Украины. – 2001. – № 6. – С. 22-24.
34. *Брянцева Ю. В., Брянцев В. А., Ковальчук Л. А., Самышев Э. З.* К вопросу о долгосрочных изменениях биомассы диатомовых и перидиниевых водорослей Черного моря в связи с атмосферными переносами // Экология моря. – 1996. – Вып. 45. – С. 13-18.
35. *Буйницкий В. Х.* Спутниковая океанология // Ученые записки ЛГУ. – 1980. – Вып. 2. – С. 47-60.
36. *Булгаков Н. П., Ломакин П. Д., Саркисов А. А.* Климатическая характеристика системы течений в Керченском проливе // Доклады НАН Украины. – 2005. – № 1. – С. 100-103.
37. *Булгаков Н. П., Чекалин И. А.* Термохалинная структура вод во фронтальной зоне Курового и Гольфстрима // Океанология. – 1978. – 18, вып. 5. – С. 796-805.
38. *Бычкова И. А., Викторов С. В.* Интерпретация и систематизация зон апвеллинга в Балтийском море по спутниковым данным // Океанология. – 1987. – Т. 27, № 2. – С. 218-223.
39. *Ворончук С. М.* Коллигационная функция и возможности ее использования при анализе и прогнозе пространственных изменений погоды и климата // Применение статистических методов в метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – С. 43-48.
40. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Т. 3: Азовское море. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – С. 35-76.
41. Гидрометеорологический справочник Азовского моря. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 270 с.
42. *Гинзбург А. И., Зацепин А. Г., Костяной А. Г.* и др. Антициклонические вихри в глубоководной восточной части Черного моря летом-осенью 1999 года (спутниковые и судовые наблюдения) // Исследования Земли из Космоса. – 2001. – № 5 б. – С. 3-11.
43. *Гинзбург А. И., Костяной А. Т., Соловьев Д. М., Станичный С. В.* Прибрежный апвеллинг в северо-западной части Черного моря // Исследование Земли из Космоса. – 1997. – № 6. – С. 66-72.
44. *Гинзбург А. И., Костяной А. Т., Соловьев Д. М., Шеремет Н. В.* Структура апвеллинга у западного побережья среднего Каспия (по спутниковым наблюдениям) // Исследование Земли из Космоса. – 2005. – № 4. – С. 76-85.
45. *Гоптарев Н. П., Таран Б. М.* Ледовые условия // Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 5: Азовское море. – С.Пб.: Гидрометеиздат, 1991. – С. 59-73.
46. *Горячкин Ю. Н., Кондратьев С. И., Лисиченок А. Д.* Гидролого-гидрохимические характеристики и динамика вод в Керченском проливе в марте 2004 года // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное исследование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭкоСи-Гидрофизика, 2004. – Вып. 12. – С. 108-118.
47. *Дворянинов Г. С., Голобородько С. В.* Междугодовая изменчивость в атмосфере и океане, как колебательный процесс в системе с обратной связью // Морской гидрофизический журнал. – 1994. – № 2. – С. 48-63.

48. Журбас В. М., Зацетин А. Г., Григориева Ф. В., Еремеев В. Н. и др. Циркуляция вод и характеристики разномасштабных течений в верхнем слое Черного моря по дрейфтерным данным // *Океанология*. – 2004. – 44, № 1. – С. 34-48.
49. Журбас В. М., Ступа Т., Малки П., Пака В. Т. и др. Мезомасштабная изменчивость апвеллинга в Юго-Восточной Балтике: ИК-изображения и численное моделирование // *Океанология*. – 2004. – 44, № 5. – С. 660-669.
50. Зайцев Ю. П. Морская нейстонология. – Киев: Наукова Думка, 1970. – 76 с.
51. Иванов В. А., Шапиро Н. Б. Моделирование течений в Керченском проливе // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное исследование ресурсов шельфа*. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2004. – Вып. 10. – С. 207-232.
52. Карлин Л. Н., Ключков Е. Ю., Кутько В. П. Мелкомасштабная структура гидрофизических полей верхнего слоя океана. – М.: Гидрометеиздат, 1988. – 162 с.
53. Карнаушенко Н. Н., Погребной А. Е. Особенности изменчивости атмосферных процессов и гидрофизических полей у западного и юго-западного побережья Крыма на временных масштабах от междусуточных до многолетних // *Морской гидрофизический журнал*. – 2006. – № 1. – С. 22-36.
54. Кортаев Г. К., Малиновский В. В., Мотыжев С. В., Пустовойтенко В. В. и др. Компоненты спутникового мониторинга Черного моря. Вклад Украины в Black Sea Goos: Препринт. – НАН Украины. Морской Гидрофизический институт. – Севастополь, 2001. – 116 с.
55. Костяной А. Г., Бубнов Г. Г. Исследование поверхностных струй Бенгельского апвеллинга по спутниковым данным // *Исследование Земли из Космоса*. – 1995. – № 4. – С. 67-75.
56. Кочиков В. Н. Локальные подъемы вод и их влияние на биопродуктивность различных районов Мирового океана: Обзорная информация. – М.: ЦНИИТЭИРХ, 1980. – 47 с.
57. Ластивка Г. С., Губина Г. С., Сафронова Л. М. Динамика состава доминирующих видов фитопланктона Азовского моря // *Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азовского бассейна*. – Ростов н/Д: Полиграф, 1996. – С. 150-158.
58. Ловенкова Е. А., Полонский А. Б. Климатические характеристики апвеллинга у побережья Крыма и их изменчивость // *Метеорология и Гидрология*. – 2005. – № 5. – С. 44-52.
59. Ломакин П. Д., Чепыженко А. И., Панов Б. Н., Боровская Р. В. Гидрологические условия и характеристика загрязнения вод Керченского пролива в мае 2005 года по данным контактных измерений и спутниковых наблюдений // *Исследования Земли из Космоса*. – 2006. – № 4. – С. 27-33.
60. Ломакин П. Д., Боровская Р. В. Возможность контроля системы течений в Керченском проливе на базе спутниковой информации // *Системы контроля окружающей среды*. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. – Вып. 5. – С. 255-257.
61. Ломакин П. Д., Боровская Р. В. Изменения в системе течений Керченского пролива, наблюдаемые после сооружением тузлинской дамбы, по контактными и спутниковым данным // *Фундаментальные исследования важнейших проблем естественных наук на основе интегральных процессов в образовании и науке: тез. докладов международной конференции*. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006. – С. 30.
62. Ломакин П. Д., Боровская Р. В. Характеристика современного состояния системы течений в Керченском проливе на базе спутниковых и контактных наблюдений // *Исследования Земли из Космоса*. – 2006. – № 6. – С. 65-71.

63. Луц Г. И. Экология и промысел азовской тюльки. – Ростов н/Д: Ростовское книжное издательство, 1986. – С. 3-12.
64. Макаров Э. В., Семенов А. Д., Александрова З. В., Грибанова С. Э. и др. Особенности гидрохимического режима Азовского моря в 1985-1995 гг. // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна: сб. науч. трудов АзНИИРХ 1996-1997 гг. – Ростов н/Д, 1997. – С. 13-26.
65. Методические указания по комплексному использованию спутниковой информации для изучения морей. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – С. 59-100.
66. Навигационная карта № 35130. Азовское море, Керченский пролив. Масштаб 1:50000. – С. Пб.: Главное управление навигации и океанографии, 1994.
67. Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна: сб. науч. трудов // Ростов н/Д, 1997. – С. 140-170.
68. Отчет по проекту: Изучение гидрометеорологических, гидрохимических, гидрофизических полей, а также поля радиоактивности Черного и Азовского морей для разработки специализированных пособий и банков данных. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 1994. – Заказчик: НАМИТ. ГОССТАНДАРТ № 12/1. – 94 с.
69. Панов Б. Н., Боровская Р. В., Кириллова Н. Г., Лексикова Л. А., Спиридонова Е. О. Возможности океанологической экспертной системы космического мониторинга Азово-Черноморского бассейна на примере 1993 года // Труды ЮгНИРО. – Керчь: ЮгНИРО, 1994. – 40. – С. 23-25.
70. Панов Б. Н., Боровская Р. В., Лексикова Л. А., Кириллова Н. Г. Результаты дистанционного мониторинга Азово-Черноморского бассейна в 1994 году и использование спутниковой информации в рыбохозяйственных исследованиях // Труды ЮгНИРО. – Керчь: ЮгНИРО, 1995. – 41. – С. 199-205.
71. Панов Б. Н., Черкащенко Н. В., Боровская Р. В. Возможности использования информации ИСЗ в краткосрочном и оперативном прогнозировании промысла черноморского шпрота // География Мирового океана на службе рационального использования морских ресурсов: тез. докладов IV Всесоюзной конференции, Калининград, сентябрь 1989. – Л., 1989. – С. 120-121.
72. Панов Б. Н., Боровская Р. В., Спиридонова Е. О. Гидрометеорологические предпосылки гипоксии в Азовском море и возможности ее прогнозирования // Океанология. – 2000. – Т. 40, № 5. – С. 701-707.
73. Панов Б. Н., Троценко Б. Г. К вопросу о формировании промысловых скоплений черноморского шпрота // Океанология. – 1987. – 27, № 4. – С. 670-671.
74. Панов Б. Н., Троценко Б. Г., Коришунова Г. П., Хлопушина С. И., Белозерский В. О. Абиотические условия миграции шпрота в северо-западной части Черного моря и результаты их моделирования // Океанология. – 1993. – 33, № 1. – С. 73-78.
75. Рябцев Ю. Н. Моделирование гидрофизических процессов Керченского пролива // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное исследование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2004. – Вып. 12. – С. 342-352.
76. Саркисов А. А. Особенности локальных течений и рельефа дна на участках Азово-Черноморского побережья Украины и в районе украинской антарктической станции «Академик Вернадский»: рукопись. – Дис. ... кандидата географических наук по специальности 11.00.08 океанология. – Севастополь: Инбюм НАН Украины, 2005. – 167 с.
77. Саркисов А. А. Результаты гидрографических исследований побережий Черного и Азовского морей в рамках государственной программы «Гидрография» // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2004. – Вып. 4. – С. 220-223.

78. Современное состояние промысловых ресурсов рыб, беспозвоночных и водорослей Азово-Черноморского бассейна и прогноз их изменений на 1998-1999 г. / Отчет о НИР: т. 1. – Керчь, Фонды ЮгНИРО, 1997. – 105 с.
79. Справочник по гидрологическому режиму морей и устьев рек СССР: т. 3: Азовское море, вып. 1: Прибрежная зона моря. – Киев, 1970. – С. 24-49.
80. *Суховой В. Ф.* Моря Мирового океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 286 с.
81. Учет ледовых условий при гидрометеорологическом обеспечении зимних плаваний в Азовском море. – Пособие УСМС УССР, 1979. – С. 30-46.
82. *Фащук Д. Я., Брянцев В. А., Себах Л. К.* Причины черноморских заморозов и их влияние на поведение промысловых рыб северо-западного шельфа в летний период // Природная среда и проблемы изучения, освоения и охраны биологических ресурсов морей СССР и Мирового океана: тез. докладов всесоюзной конференции. – Л., 1994. – С. 186-189.
83. *Фащук Д. Я.* Географо-экологическая модель морского водоема: дис... доктора географических наук. – М., 1997. – 312 с.
84. *Федоров К. Н.* Тонкая структура вод океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 184 с.
85. *Хайлов К. М.* Экологический метаболизм в море. – Киев: Наукова Думка, 1971. – 250 с.
86. *Чепыженко А. И., Попов М. А., Еремин И. Ю.* Оценка источников загрязнения вод Балаклавской бухты гидрооптическими методами в осенний период // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: сб. – Севастополь, 2005. – Вып. 12. – С. 202-207.
87. *Чепыженко А. И., Веселов В. А.* Оптические методы и средства контроля нефтепродуктов в водной среде // Вестник СевГТУ. – Севастополь: СГТУ, 2004. – С. 34-41.
88. *Чепыженко А. И., Ломакин П. Д., Боровская Р. В.* Характеристика загрязнения вод Керченской бухты по данным оптических измерений // Современное состояние экосистемы Черного и Азовского морей: тез. докладов международной конференции. – Крым, Донузлав, 2005. – С. 86.
89. *Чернышов И. В., Черкащенко Н. В., Карпенко Г. П.* Методические указания по построению карт ТПО. – Керчь: ЮгНИРО, 1996. – 30 с.
90. *Chepyzhenko A. I., Halturin V. I.* Laboratory and flow-through optical spectral probes to measure water quality and content // Ocean Remote Sensing and Applications / Robert J. Frouin, YellYuan, Hiroshi Kawamura, Editors. Proceedings of SPIE. – V. 4892 (2003) (24-26 October 2002, Hangzhou, China). – 2003 SPIE * 0277-786X/03. – P. 482-488 p.
91. *Eremeev V. N., Horton E., Motushev S. V., Poulain P.-M.* et al. Black Sea Drifting Buoy Experiment: Results and Perspective // Argos forum. Special ocean observation. – France, 2002. – No 59. – P. 12-17.
92. *Eremeev V. N., Horton E., Poulain P.-M., Pojarkov S. G.* et al. Studies of Black Sea Macro- and Mesoscale Circulation with Application of SVP and SVP-B Drifters. Present results and future plans. – CD-RUM DBCP Technical Document No 21. – 2002. – Article 8. – P. 1-9.
93. *Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., Soloviev D. M., Stanichnuy S. V.* Remotely sensed coastal/ deep-basin water exchange processes in the Black Sea surface layer // Satellites, Oceanogr. and Society / Ed. D. Halpern. Elsevier Oceanography Series. – 2000. 63. Elsevier. – P. 273-287.
94. <http://dus.NET.UA>.
95. <http://www.ecodevice.narod.ru/Turbidimeter/Turbidimeter.htm>.
96. *Kostianoy A. G., Zatsepin A. G.* The West African coastal upwelling and cross-frontal water exchange conditioned by them // Journal Marine Systems. – 1996. – 7, № 2-4. – P. 349-359.

97. *Schmitt R. W.* Form of the temperature salinity relationship in the Central Water: evidence for double – diffusive mixing // *J. of Physical Oceanography*. – 1981. –11. – P. 1015-1026.
98. *Schmitt R. W., Perkins H., Boyd J. D., Stalcup M. C.* C – SALT; an investigation of the thermohaline staircase in the western tropical North Atlantic // *Deep-Sea Res.* – 1987.– Part A: October, 1987. – 34, N 10 A. – P. 1655-1665.
99. *Stanichny S. V., Kushnir V. M., Khanbilvardi R., Sheinman B. S.* The potential for using satellite remote sensing to study natural nature resources in shelf zone // *Proceeding of Abstracts and Papers (on CD-RW) of the 6th International Conference on Hydro-Science and Engineering, Brisben, Australia, May 31-June 3.* – Brisben, 2004. – P. 1-8.
100. *Sur H. I., Ozsoy E., Ilyin Yu. P., Unluata U.* Coastal/deep ocean interactions in the Black Sea and their ecological/environmental impacts // *Journal Marine Systems*. – 1996. – V. 7, № 2-4. – P. 293-320.

**Боровская Раиса Васильевна
Ломакин Павел Демьянович
Панов Борис Николаевич
Спиридонова Елена Олеговна
Троценко Борис Григорьевич**

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ В АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОМ
БАССЕЙНЕ И МИРОВОМ ОКЕАНЕ
(СПЕЦВЫПУСК)**

**ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЮГНИРО
В АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОМ БАССЕЙНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ИНФОРМАЦИИ С ИСЗ**

На русском языке

Подписано в печать 7.09.2009 г.

Печ. л. 6,3.

Тираж 30 экз. Заказ № 3