

СИСТЕМА КОСМИЧЕСКОГО БИООКЕАНОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА

Боровская Р.В., Панов Б.Н.

*Южный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства
и океанографии, г. Керчь, e-mail: yugniro@kerch.com.ua*

На основе снимков ИСЗ, принимаемых в ЮгНИРО с 1988 года, разработана схема мониторинга, приемы обработки и анализа спутниковых снимков для слежения за процессами формирования поля температуры морской поверхности (вихри, апвеллинги), ледовыми условиями и загрязнением вод Азовского и Черного морей с целью повышения эффективности работы рыбопромыслового флота и природоохранной деятельности. Предложенная схема мониторинга может быть использована в других исследовательских центрах.

Ключевые слова: Черное, Азовское моря, мониторинг, циркуляция, лед, заморы, хамса, шпрот

ВВЕДЕНИЕ. Сокращение и практически полное прекращение украинской океанологической экспедиционной деятельности в Черном и Азовском море после 1995 г. сопровождалось резким спадом потока эмпирической океанографической информации о состоянии среды бассейна. Это негативным образом сказалось не только на качестве исследований, но и стало серьезным препятствием на пути решения многочисленных (в том числе и рыбохозяйственных) практических задач.

В то же время более совершенной становилась спутниковая информация. Современные спутниковые данные обладают рядом преимуществ по сравнению с материалами традиционных контактных океанографических исследований. Они отличаются высоким пространственно-временным разрешением, возможностью информационной засветки обширных акваторий, включая экономические зоны и территориальные воды различных государств, что не всегда доступно контактными методами. Главный недостаток спутниковой информации – она касается только морской поверхности.

В настоящее время установлено, что ряд явлений и процессов, протекающих в толще вод Черного и Азовского морей, имеют достаточно яркое проявление на поверхности. Для их исследования и контроля могут быть использованы данные спутниковых зондирований как в видимом (ТВ), так и в инфракрасном (ИК) волновом диапазоне. Доказательство этого положения позволило исследовать такие важные в прикладном плане явления, как апвеллинг, течения, формирование, трансформацию и дрейф ледовых полей, придонную гипоксию и заморы, а также оценить влияние абиотических факторов среды на рыбопромысловые характеристики в отдельных регионах Азово-Черноморского бассейна (рис. 1).

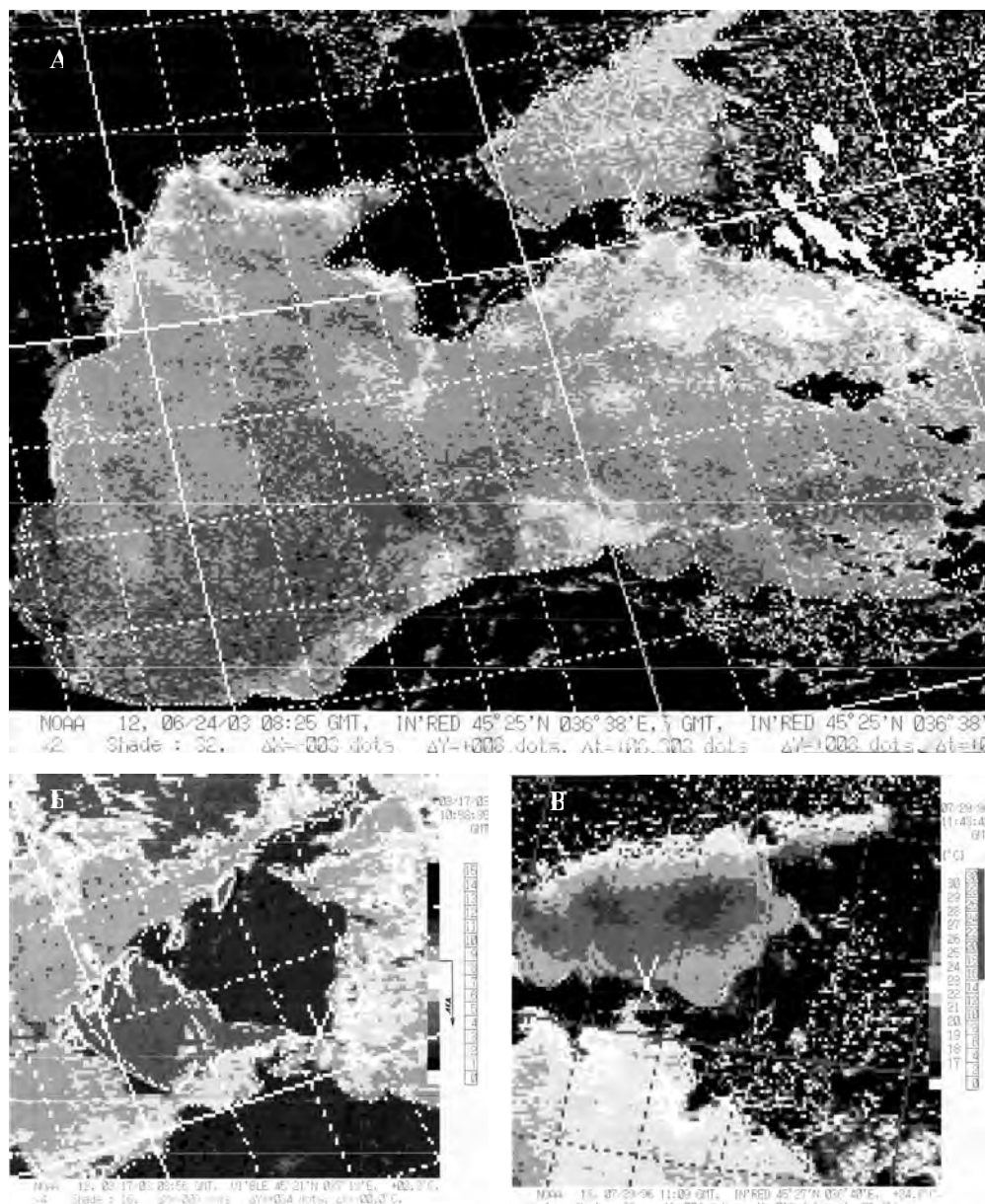


Рис. 1. Проявление на поверхности процессов, протекающих в водной толще: А – апвеллинг в Черном море; Б – типичная ледовая ситуация; В – поля температуры, характерные для развития придонной гипоксии.

1. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛЫ. В основу работы положены массивы наблюдений с искусственных спутников Земли серии NOAA в формате АРТ как в инфракрасном, так и в телевизионном (видимом) диапазоне. Эти данные получены станцией приема и обработки спутниковой информации SU-8 (фирма «Fugipol») в Южном научно-исследовательском институте морского рыбного хозяйства и океанографии (ЮгНИРО, г. Керчь). Прием и обработка данных осуществляется практически ежедневно с 1988 года. Также использованы данные целенаправленно выполненных подспутниковых полигонных океанографических съемок и материалы океанографических наблюдений из архива института. Все используемые в работе, в качестве исходных, базы эмпирических данных были занесены на магнитные носители и подвергнуты критическому контролю.

При обработке и анализе исходной экспериментальной информации применялись стандартные, принятые в современной спутниковой гидрофизике и физической океанографии, методы и приемы: это дешифровка спутниковой информации, ее фильтрация и сглаживание (когда необходимо), расчеты статистических характеристик полей исследуемых параметров, анализ изменчивости процессов и явлений [1, 2].

Проведение многолетних подспутниковых контактных измерений в Азово-Черноморском бассейне дало возможность выявить закономерности, связывающие температуру поверхности моря (ТПМ) с динамикой вод, с атмосферными переносами, с некоторыми другими гидрометеорологическими процессами, а также и с некоторыми биотическими и промысловыми показателями. Это позволило создать систему оперативного прогностического мониторинга и экспертной оценки состояния Азово-Черноморского бассейна и условий рыбного промысла, основанную на дистанционных измерениях ТПМ. Возможность использования карт ТПМ, получаемых с ИСЗ, для дешифрирования основных экологически значимых элементов неоднократно проверялась по результатам подспутниковых экспериментов.

2. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ. Зимой (с декабря по февраль), когда в юго-восточной части Черного моря идет промысел хамсы, первостепенной задачей анализа данных с ИСЗ является дешифрирование малых антициклонических вихрей у берегов Грузии. Их прибрежная периферия оказывает влияние на зимовальные скопления рыбы. Существуют такие вихри от 3 суток до месяца. И когда удастся наблюдать эти вихри (в период ясного неба), появляется возможность прогнозировать смещение или рассеивание промысловых скоплений черноморской хамсы [3].

В зимний сезон ведется мониторинг ледовой обстановки в Азовском море, который обеспечивает оперативное руководство промысловым флотом на тюлечной путине и лове пиленгаса, а также позволяет планировать проведение научно-исследовательских работ сразу же после очищения ото льда различных акваторий Азовского моря, определять ледовитость года.

В ЮгНИРО были проведены исследования ледовых условий с 1991 по 2008 г., основанные исключительно на спутниковой информации. В феврале-марте 1997 г. был зафиксирован аномальный дрейф и дальнейшее нехарактерное распределение льдов в Азовском море. Основная масса ледовых образований под влиянием западного ветра была вынесена на восток, где сохранялась до полного таяния.

Подобная аномальная ситуация описана также В.Ф. Суховой для 60-х гг. прошлого столетия [4].

Необычная ситуация сложилась 11 марта – 3 апреля 2003 г. С начала второй декады марта восточная часть моря была практически свободна ото льда. Под влиянием северного ветра льды из центральной части Азовского моря сместились к югу. В результате в северной части Керченского пролива и на акватории к северу от пролива длительное время наблюдались непроходимые для судов льды. Ширина полосы «тяжелых» льдов достигала 10-15 миль.

При сравнении современного состояния ледовых условий (с 1992 по 2007 г.) с климатическими данными отмечено более раннее образование льдов, увеличилась вероятность наличия льда в декабре, как в мягкие, так и в умеренные зимы. В умеренные зимы снижение ледовитости отмечено только в январе. В целом зимы стали более мягкими, но в то же время затяжными. Если раньше лед в апреле отмечался только в суровые зимы, то в последние 16 лет он наблюдался и в умеренные зимы. Обнаружена тенденция к увеличению ледовитости Таманского залива после сооружения Тузлинской дамбы, которая препятствует поступлению теплых черноморских вод в течение зимнего сезона в Таманский залив.

В теплое время года, когда космический мониторинг является наиболее информативным, вихри и прибрежные апвеллинги, формируют мозаичную структуру поверхностной температуры. Кроме того, они выполняют функции поставщиков питательных солей в поверхностные слои, переносят и концентрируют кормовые организмы, тем самым, определяя положение промысловых скоплений и урожайность рыбы [5-8].

Явление апвеллинга в Черном море достаточно активно исследуется, в том числе и на базе спутниковой информации [9]. В ЮгНИРО контролируется прибрежный апвеллинг по всему периметру моря. По критерию величины «холодозапаса», отражающего интенсивность апвеллинга [10], предложена схема районирования прибрежных акваторий Черного моря. Выделены семь районов: западная прибрежная акватория, север северо-западной части, восток северо-западной части моря, ялтинский, феодосийский, новороссийский, турецкий. Описаны региональные особенности апвеллинга по каждому из районов. Наиболее интенсивный апвеллинг характерен для турецкого побережья и северо-западной части моря, наименее выражен апвеллинг в районе Новороссийска. Единственный случай за последние 15 лет прослеживался 19 июня 2003 г.

На более поздних стадиях развития прибрежного апвеллинга от него в сторону открытого моря распространяются струи холодных вод, которые обладают хорошо выраженными фронтальными признаками. Протяженность таких фронтальных образований составляет до 70 миль. Наиболее часто они наблюдаются в районе м. Тарханкут, м. Сарыч и в прибрежной части Феодосии. В результате глубинные и подповерхностные воды с низкими значениями температуры и высокой концентрацией биогенных элементов выносятся на значительные расстояния от берега.

В межгодовой изменчивости параметров интенсивности апвеллинга практически в каждом из выделенных районов обнаружена квазидвухлетняя и одиннадцатилетняя цикличность (рис. 2). Для мая-августа установлена обратная

связь показателя среднемесячных значений «холодозапаса» в апвеллингах Крыма и западного побережья моря с промысловыми нагрузками при лове шпрота [10].

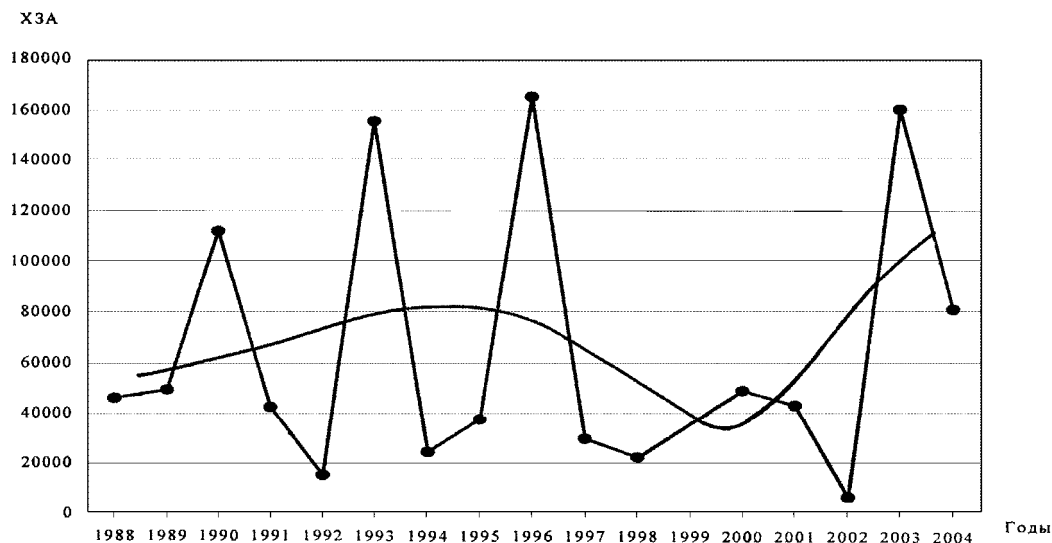


Рис. 2. Межгодовой ход суммарного «холодозапаса» апвеллинга для всей акватории Черного моря.

В летние месяцы промысловые скопления шпрота формируются на периферии малых (15-30 миль) антициклонических вихрей. Их устойчивость во времени и в пространстве определяет стабильность промысла. Наибольшей стабильностью отличаются вихри Днестро-Дунайской фронтальной зоны. На других участках шельфа они менее устойчивы. Контроль трансформации этих вихрей по всему шельфу с помощью спутниковых снимков позволяет осуществлять оперативное руководство рыбодобывающим флотом [5, 8].

Северо-западный район моря как наиболее продуктивный привлекает летом особое внимание. Традиционный циклонический перенос вод благоприятно влияет как на промысел шпрота, так и на урожайность черноморской хамсы. Ослабление этого типа циркуляции и развитие антициклонического движения вод приводит к разрушению Днестро-Дунайской фронтальной зоны и развитию обширных прибрежных апвеллингов. Высокая повторяемость апвеллингов в отдельные месяцы приводит к снижению средней месячной температуры воды, например в Одессе, на 2,5-3 °С. Понижение же температуры воды до 19 °С снижает плодовитость хамсы почти на 50 % и это происходит как раз в прибрежной зоне – основном месте ее нереста. Таким образом, контроль повторяемости апвеллингов позволяет прогнозировать урожайность черноморской хамсы [7].

В Азовском море при относительной однородности теплового фона в июле-августе периодически появляются теплые пятна разного размера, которые хорошо фиксируются на фотоснимках с космических аппаратов. Причиной их появления являются локальные вспышки фитопланктона, повышающие мутность воды и ее прогрев [11-13]. В течение нескольких дней в этих районах в результате повышения химического потребления кислорода в придонном слое развивается дефицит

кислорода. Часто это приводит к гибели рыбы. Явление гипоксии периодически охватывает обширные акватории, включая прибрежные воды.

В результате исследования установлена квазидвухлетняя цикличность интенсивности заморов. В нечетные годы интенсивность заморов возрастала, в четные – понижалась, либо заморы вообще не наблюдались. Наиболее неблагоприятными для всего моря и, в частности, для прибрежной его части были 1989 и 1991 гг. За период с 1989 по 2001 г. количество погибшей рыбы в эти два года достигало максимальных значений и составляло 451 т и 1260 т соответственно. В 2001 г. неблагоприятные условия складывались в центральной части моря, но не распространялись на прибрежную зону. Минимальное развитие зон заморов и потенциально заморных зон по прибрежным, экспедиционным и спутниковым наблюдениям отмечалось в 1992 и 1996 гг. Самым благоприятным годом был 1994 г., в котором на протяжении всего летнего сезона заморы и потенциально заморные зоны не отмечались вообще. Основными районами, где заморы и потенциально заморные зоны наблюдались практически ежегодно, были центральные районы моря и северные бухты, реже – мелководные акватории на западе и юге моря.

Данные дистанционного зондирования морской поверхности позволяют прогнозировать появление и положение зон придонной гипоксии с заблаговременностью несколько дней. Эта информация может быть использована с целью организации и ведения рационального промысла рыб придонного комплекса.

В результате оценки влияния суровости зим на развитие зон заморов, которые отслеживались в Азовском море по спутниковым данным [14], выявлена качественная связь между типами зим и интенсивностью заморных явлений: чем менее суровая зима, тем вероятнее в Азовском море ожидать заморы в следующее за ней лето (рис. 3).

Осенью в юго-восточной части Черного моря контролируется состояние Основного черноморского течения (ОЧТ) и обширного антициклонического круговорота. Эти элементы динамической структуры отвечают за активность подходов черноморской хамсы в места зимовки в этой части моря. Ослабление ОЧТ приводит к усилению завихренности. Малые прибрежные антициклонические вихри создают у шельфа благоприятные температурные и кормовые условия для продолжения активного предзимовального питания, а, следовательно, исключают формирование промысловых скоплений. Циклонические вихри, понижая температуру поверхностных вод на 3-6° по сравнению с окружающим фоном, становятся просто преградой на пути миграции хамсы к районам зимовки. Этот мониторинг позволяет прогнозировать начало хамсовой путины [15-17].

Особое значение использование данных ИСЗ приобретает на промысле в экономзонах иностранных государств и в районах с высокой изменчивостью промысловой обстановки.

В результате анализа спутниковой информации, данных контактных океанографических и гидрооптических наблюдений за течениями и взвесью в Керченском проливе установлено, что воды Черного и Азовского морей, взаимодействующие в Керченском проливе, обладают различными оптическими свойствами [18]. Это позволяет выделять соответствующие потоки на спутниковых снимках и отслеживать динамику локальных течений, определять источники и пути распространения взвешенного вещества, фиксировать загрязненные участки

акватории. В результате анализа было выявлено изменение характера циркуляции вод в северной части Керченского пролива и в Таманском заливе после строительства дамбы в тузлинской промоине [18].

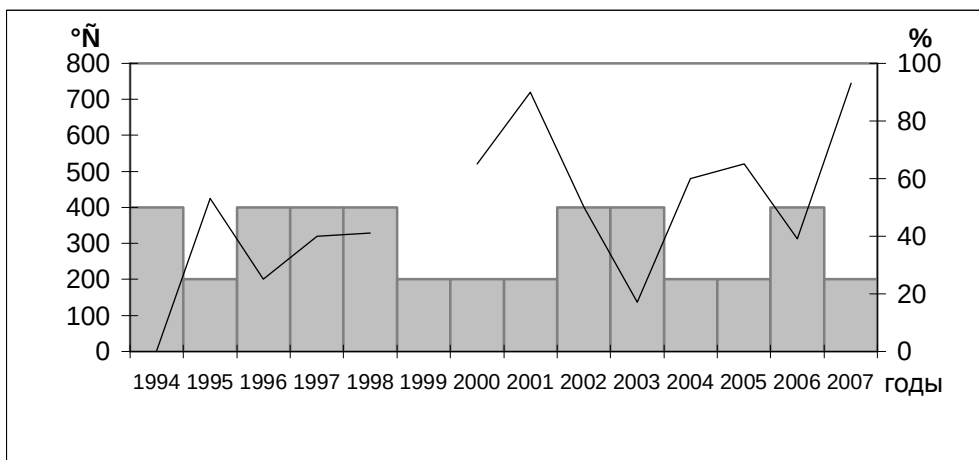


Рис. 3. Некоторые показатели состояния экосистемы Азовского моря:
 — отношение (%) количества дней с «теплыми пятнами» к общему количеству дней с полезной информацией по данным ИСЗ за июль-август; типы зим: 0-200° – мягкая, 200-400° – умеренная.

В пределах акватории выявлен ряд источников взвешенного вещества. Это поток вод из Азовского моря, оконечности к. Чушка и о. Тузла, размываемые течениями, узкость между южной оконечностью о. Тузла и дамбой, а также сама дамба. Эти потоки в виде языков мутной воды отчетливо видны на спутниковых снимках для современной ситуации и практически не прослеживаются на снимках до строительства дамбы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. В результате проведенных исследований были разработаны схемы мониторинга, приемы обработки и анализа спутниковых снимков для слежения за процессами в подповерхностных слоях Азовского и Черного морей, а также некоторые рекомендации по повышению эффективности работы промыслового флота, оперативного поиска промысловых объектов, в частности шпрота, хамсы, тюльки. Мониторинг ТП в Азовском море позволяет прогнозировать появление потенциально заморных зон. Полученные результаты исследования ледового режима являются одним из показателей потепления климата, по крайней мере, в Азово-Черноморском бассейне. Оценка распределения льдов в различные по суровости зимние сезоны может быть использована при проектировании строительства гидротехнических сооружений, для навигационного обеспечения и безопасности мореплавания. В Керченском проливе по снимкам с ИСЗ возможно контролировать перенос взвеси и других загрязнителей, интенсивность антропогенного влияния.

Предложенная схема мониторинга может быть использована в других исследовательских центрах.

Список литературы

1. Методические указания по комплексному использованию спутниковой информации для изучения морей. – Л. : Гидрометеиздат, 1987. – С. 59-100.
2. Брянец В. А. Атмосферная циркуляция, как основа долгосрочных рыбопромысловых прогнозов (на примере региона Черного моря) // Пленарные доклады : Восьмая всесоюзная конференция по промысловой океанологии, (Ленинград, октябрь 1990 г.). – М. : ВНИРО, 1990. – С. 173-180.
3. Панов Б. Н., Чашин А. К. Особенности динамической структуры вод в юго-восточной части Черного моря как предпосылки формирования зимовальных скоплений хамсы кавказского побережья / Б. Н. Панов, А. К. Чашин // Океанология. – 1990. – Т. 30, вып. 2. – С. 328-334.
4. Суховой В. Ф. Моря Мирового Океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 286 с.
5. Панов Б. Н., Троценко Б. Г., Коршунова Г. П. и др. Абиотические условия миграции шпрота в северо-западной части Черного моря и результаты их моделирования / Б. Н. Панов, Б. Г. Троценко, Г. П. Коршунова и др. // Океанология. – 1993. – Т. 33, № 1. – С. 73-78.
6. Панов Б. Н., Троценко Б. Г. К вопросу о формировании промысловых скоплений черноморского шпрота / Б. Н. Панов, Б. Г. Троценко // Океанология. – 1987. – Т. 27, № 4. – С. 670-671.
7. Панов Б. Н. Влияние циркуляции вод на урожайность хамсы в западной части Черного моря / Б.Н. Панов // Океанология. – 1998. – Т. 38, № 2. – С. 236-243.
8. Жигуненко А. В., Троценко Б. Г., Панов Б. Н. Прогноз промысловых скоплений шпрота / А.В. Жигуненко, Б. Г. Троценко, Б. Н. Панов // Рыбное хозяйство. – 1989. – №5. – С. 51-53.
9. Гинзбург А. И., Костяной А. Т., Соловьев Д. М., Станичный С. В. Прибрежный апвеллинг в северо-западной части Черного моря / А. И. Гинзбург, А. Т. Костяной, Д. М. Соловьев, С. В. Станичный // Исследование Земли из Космоса. – 1997. – № 6. – С. 66-72.
10. Боровская Р. В., Панов Б. Н., Спиридонова Е. О., Лексикова Л. А., Кириллова М. В. Прибрежный черноморский апвеллинг и межгодовая изменчивость его интенсивности / Р.В. Боровская, Б. Н. Панов, Е. О. Спиридонова и др. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, – 2005. – Вып. 12. – С. 42-48.
11. Брянец В. А., Фашук Д. Я. Причины черноморских заморов // Вопросы промысловой океанологии Мирового океана : материалы 5 Всесоюзной конференции. – Калининград, 1979. – С. 23-26.
12. Фашук Д. Я., Брянец В. А., Себах Л. К. Причины черноморских заморов 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 : Тезисы докладов всесоюзной конференции. – Л., 1994. – С. 186-189.
13. Боровская Р. В., Панов Б. Н., Спиридонова Е. О., Лексикова Л. А. Связь придонной гипоксии и заморов рыбы в прибрежной части Азовского моря / Р. В. Боровская, Б. Н. Панов, Е. О. Спиридонова, Л. А. Лексикова // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. – Вып. 5. – С. 320-328.
14. Боровская Р. В. Ледовые условия в Азовском море и их связь с био- и рыбопродуктивностью / Р.В. Боровская // Система контроля окружающей среды. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – Вып. 6. – С. 220-223.
15. Брянец В. А., Ковальчук Л. А., Новиков Н. П., Панов Б. Н. и др. Формирование зимовальных скоплений черноморской хамсы / В. А. Брянец, Л. А. Ковальчук, Н. П. Новиков, Б. Н. Панов и др. // Рыбное хозяйство. – 1987. – № 4. – С. 49-52.
16. Панов Б. Н., Спиридонова Е. О. Гидрометеорологические предпосылки формирования промысловых скоплений и миграций черноморской хамсы в юго-восточной части Черного моря / Б. Н. Панов, Е. О. Спиридонова // Океанология. – 1998. – Т. 38, № 4. – С. 573-584.
17. Ломакин П. Д., Чепыженко А. И., Панов Б. Н., Боровская Р. В. Гидрологические условия и характеристика загрязнения вод Керченского пролива в мае 2005 г. по данным контактных

измерений и спутниковых наблюдений / П. Д. Ломакин, А. И. Чепыженко, Б. Н. Панов, Р. В. Боровская // Исследование Земли из космоса. – 2006. – № 4. – С. 27-33.

18. Ломакин П. Д., Боровская Р. В. Возможность контроля системы течений в Керченском проливе на базе спутниковой информации / П. Д. Ломакин, Р. В. Боровская // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. – Вып. 5. – С. 255-257.

Боровська Р.В. Система космічного біоокеанологічного моніторингу Азово-Чорноморського басейну / Р.В. Боровська, Б.М. Панов // Учені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Географія. – 2009. – Т.22 (61). – № 2. – С.41-49.

На основі знімків ШСЗ, що їх приймають у ПівденНІРО з 1988 року, розроблено схему моніторингу, прийоми обробки та аналізу супутникових знімків для слідкування за процесами формування поля температури морської поверхні (вихри, апвеллінги), льодовими умовами і забрудненням вод Азовського і Чорного морів з метою підвищення ефективності роботи рибпромислового флоту та природоохоронної діяльності. Запропонована схема моніторингу може бути використана в інших дослідницьких центрах.

Ключові слова: Чорне море, Азовське море, моніторинг, циркуляція, лід, замори, хамса, шпрот

Borovskaya R.V. System of satellite biooceanologic monitoring of the Azov-Black Sea basin / R.V. Borovskaya, B.N. Panov // Scientific Notes of Taurida V.Vernadsky National University. – Series: Geography. – 2009. – Vol. 22 (61). – № 2. – P.41-49.

On the basis of pictures received by YugNIRO since 1988 the monitoring scheme, methods of satellite pictures' processing and analysis for tracking the processes of the sea surface temperature field formation (vortexes, upwellings), ice conditions and pollution of the Azov and Black Seas was developed in order to increase the effectiveness of the fishing fleet operations and nature protection activities. The scheme proposed can be used in other research centres.

Keywords: the Black Sea, the Azov Sea, monitoring, circulation, ice, mortalities, anchovy, sprat

Поступила в редакцію 27.04.2009 г.