

ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

УДК 639.2.053.8(261.77)+551.46.07:629.783+551.46:681.3.016

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКОВ ПРОМЫСЛА
НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА
В ЦЕНТРАЛЬНО-ВОСТОЧНОЙ АТЛАНТИКЕ**

© 2013 г. М. М. Дубищук, В. Б. Лукацкий

*Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства
и океанографии, Калининград, 236022*

Поступила в редакцию 28.06.2012 г.

Окончательный вариант получен 01.10.2012 г.

С целью повышения уровня информационного обеспечения судоводителей и специалистов рыбной отрасли разработана система поддержки принятия решений «Промысловый прогноз ЦВА» для определения перспективных промысловых участков в Центрально-Восточной Атлантике. Изложены основы функционирования и методические принципы, положенные в основу работы системы. Описаны типы промысловых прогнозов и выполнено сравнение выдаваемых рекомендаций с реальной ситуацией по итогам работы российского флота в Центрально-Восточной Атлантике.

Ключевые слова: Центрально-Восточная Атлантика, прогноз промысловой обстановки, база данных, спутниковые данные, промысловая статистика, система поддержки принятия решений

ВВЕДЕНИЕ

Прогресс в развитии методов дистанционного зондирования океана, повышение качества и объема поступающей информации предъявляют новые требования к организации работы по обеспечению рыбодобывающего флота рекомендациями и прогнозами различной заблаговременности. Данная работа представляет собой совершенствование принципов прогнозирования, изложенных ранее (Методическое пособие..., 2010).

На современном уровне развития информационных технологий существенную помощь специалистам при анализе предметной деятельности могут оказывать системы поддержки принятия решений (СППР), т. е. такие системы могут выступать в качестве эксперта (Петровский, 1996). Основная задача СППР состоит в том, чтобы помочь найти решения, которые представляются наилучшими, но которые без её помощи было бы трудно или даже невозможно отыскать из-за сложности решаемой задачи.

В отделе научно-промысловой разведки АтлантНИРО разработана система поддержки принятия решений «Промысловый прогноз Центрально-Восточной Атлантики (ЦВА)» для определения перспективных промысловых участков в ЦВА с использованием методических принципов и выявленных закономерностей, преобразованных в бинарные матрицы и алгоритмы (Дубищук, Лукацкий, 2012). На основе входных данных о термических условиях среды СППР выполняет прогноз перспективных участков промысла в ЦВА с различной заблаговременностью.

Главной целью разработки такой системы является повышение уровня информационного обеспечения судоводителей и специалистов рыбной отрасли при принятии решений на промысле и увеличение эффективности работы отечественного добывающего флота в районе ЦВА.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Система разработана в среде СУБД MS Access 2010 с использованием языка программирования Visual Basic for Applications. Основной пользовательский интерфейс СППР представлен на рис. 1.

В основу системы положен комплекс из двух баз данных.

1. Промыслово-гидрологическая база данных по району ЦВА (БД «Пром-Гидро ЦВА») (Лукацкий и др., 2011). База данных состоит из нескольких взаимосвязанных массивов данных, содержащих структурированную и специальным образом обработанную информацию о температуре поверхности океана (ТПО), получаемую с европейского метеорологического геостационарного спутника «Meteosat-9», и промысловой статистики в виде суточных судовых донесений (ССД), получаемых из информационного узла АтлантНИРО отраслевой системы мониторинга водных биологических ресурсов, наблюдения и контроля за деятельностью промысловых судов (ИУ ОСМ). База данных построена так, что мониторинг промысла и условий среды для районов промысла (исключительные экономические зоны (ИЭЗ) Марокко и Мавритании) ведется как на основе квадратов с пространственными границами $0,25^\circ$ по долготе и широте, так и по промысловым подрайонам, которые были выделены на основе особенностей гидрологических условий и промысла в каждом из них.

Для каждой единицы мониторинга в базе данных с суточной дискретностью рассчитаны гидрологические и промыслово-статистические характеристики. От-



Рис. 1. Основной пользовательский интерфейс системы поддержки принятия решений «Промысловый прогноз ЦВА».

Fig. 1. The main user interface of the decision support system «Fishing Forecast in CEA».

личительной особенностью базы данных является возможность отслеживать оперативную информацию по температурному режиму непосредственно в пределах локальных участков работы промыслового флота. На данный момент база данных содержит информацию с 1 января 2005 г. и оперативно пополняется, за счёт чего со временем можно будет достигнуть более высокой точности выдаваемых системой рекомендаций.

2. База данных ежемесячных и еженедельных значений ТПО по району ЦВА и ее аномалий в узлах одноградусных квадратов из интегрированного глобального океанического бюллетеня (iridl.ldeo.columbia.edu) за период с 1982 по 2012 гг. Этот авторитетный источник пользуется признанием во всем мире и его данные широко применяются в качестве исходных параметров в моделях прогноза погоды, а также в прикладной климатологии.

В методическом отношении разработанная система поддержки принятия управленческих решений при определении перспективных промысловых участков базируется на установленных принципах взаимодействия объекта лова, окружающей среды и промысла, изложенных ранее (Методическое пособие..., 2010). В пособии проведена типизация промысла на основе обобщения таких параметров, как основные объекты добычи, участки лова, направление миграции рыб и характер их распределения, гидрологические особенности. Это позволило выделить характерные периоды промысла во внутригодовом цикле, а в каждом из них определить типовые ситуации. В качестве базового критерия для типизации были приняты показатели термического режима, а именно градации аномалий ТПО. На основе типовых ситуаций была сформирована база знаний, в которую заложены основные особенности миграции, поведения и распределения рыб, возможные сценарии развития промысловой обстановки и рекомендации по маневрированию флота.

Проведённый анализ единой промыслово-гидрологической базы данных за период 2005–2010 гг. (БД «Пром-Гидро ЦВА») с учётом особенностей промысла и сезонного распределения рыб позволил определить диапазон оптимальных температурных условий для формирования промысловых скоплений в ИЭЗ Марокко и Мавритании непосредственно в пределах локальных участков работы флота. Были рассчитаны ежемесячные оптимальные значения ТПО, соответствующие участкам с максимальной долей в уловах конкретных видов рыб (Лукацкий и др., 2011).

Таким образом, методология системы принятия решений построена на основе сформированной базы знаний, эвристических алгоритмов с использованием методов информационного поиска и рассуждений на основе прецедентов с учётом выявленных закономерностей в поведении скоплений.

Для корректного функционирования алгоритмов поиска решений в систему введен ряд критериев, полученных на основе анализа результатов многолетних рыбохозяйственных исследований в районе ЦВА и данных БД «Пром-Гидро ЦВА», а также ряд автоматически вычисляемых параметров с возможностью корректировки пользователем. Критерии включают в себя следующее.

1. Показатели аномалий термического режима вод районов Марокко и Мавритании в соответствии с разработанной градацией отклонения ТПО от средне-многолетних значений (Методическое пособие..., 2010).

2. Характеристики оптимальных границ ТПО, при которых формируются устойчивые скопления основных промысловых видов рыб в различные сезоны года в ИЭЗ Марокко и Мавритании (Лукацкий и др., 2011).

3. Матрицы вероятностей распределения основных промысловых видов рыб в различные сезоны года в ИЭЗ Марокко и Мавритании с учётом их миграций и в зависимости от показателей аномалий ТПО (Доманевский, 1998; Методическое пособие..., 2010).

4. Подбираемые на основании результатов кластерного анализа в соответствии с принципом большего соответствия года аналоги (по промысловым подрайонам и заданному в рамках задачи периоду). Для расчета кластеров при определении годов-аналогов применяются значения ТПО и аномалий ТПО с использованием стандартизации переменных. При этом авторы исходят из предположения, что в течение года для одного и того же промыслового подрайона могут быть найдены различные года-аналоги.

Итоговым результатом работы системы является оперативный и краткосрочный прогнозы перспективных участков промысла, возможных нагрузок по основным типам судов и видовой состав уловов.

Оперативный прогноз перспективных участков на 1–5 сут. При постановке задачи используются оперативные данные ТПО с европейского геостационарного спутника «Meteosat-9». Информация, получаемая с этого спутника, имеет высокое пространственное разрешение 0.1° , временная дискретность поступления составляет 3 ч (www.eumetsat.int). Ранее была показана высокая достоверность используемых спутниковых данных ТПО на основе их сравнения с прямыми измерениями (Лукацкий и др., 2011).

Краткосрочный прогноз промысловой обстановки на 1–2 мес. При постановке задачи применяются ежемесячные прогностические данные ТПО и используется база данных объединённой глобальной системы океанических служб. Прогноз ТПО на желаемый период выполняется на основе анализа временных рядов в программном пакете StatSoft Statistica 6 (StatSoft, Inc., 2001).

Таким образом, разработанная система поддержки принятия решений позволяет:

- произвести выбор оптимальных для промысла участков в рамках поставленной задачи;
- упорядочить возможные оптимальные для промысла участки по предпочтительности ведения промысла на целевом виде;
- оценить развитие промысловой обстановки с заданной заблаговременностью.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Алгоритм работы СППР содержит четыре основных блока.

Блок выбора годов аналогов. Список годов аналогов составляется на основании близости выбранных параметров среды (ТПО, аномалия ТПО) к параметрам, содержащимся в задаче, и ранжируется на основании результатов кластерного анализа. После проведения расчётов пользователю предлагается согласиться с решением программы или указать другие годы-аналоги, если у него есть собственные априорные суждения. Также на этом этапе программой рассчитывается ряд промежуточных параметров, которые используются в дальнейших расчётах.

Блок оперативного прогноза промысловых участков по году-аналогу. В этом блоке система определяет перспективные промысловые участки в целом и для заданного целевого вида по выбранному году-аналогу. По окончании расчётов пользователю выдается информация в виде карты и ряд диагностических характеристик, которые призваны облегчить принятие решения.

Блок оперативного прогноза промысловых участков по оптимальным границам ТПО. Данный блок позволяет определить перспективные участки промысла в целом (без дифференциации по целевому виду) и отдельно для скоплений наиболее востребованных в этом районе видов рыб – западноафриканской и европейской ставриды. Используемые в этом блоке алгоритмы на основе анализа матриц распределения скоплений по сезонам и при различных значениях аномалий ТПО на основе поставленной задачи выполняют поиск и выбор участков, соответствующих оптимальной ТПО формирования промысловых скоплений. Результаты поиска ранжируются с учётом схемы миграций массовых пелагических рыб в ЦВА и данными прогноза промысловых участков по году-аналогу. По окончании расчётов пользователю предлагается карта с нанесёнными участками наиболее вероятного формирования скоплений.

Пример оперативного прогноза на трое суток (24–26 января 2012 г.) приведён на рис. 2. Для района Марокко по году-аналогу системой был выбран соответствующий период января 2009 г. В эти дни российские суда для промысла использовали преимущественно северную часть района (рис. 2 а). В ИЭЗ Мавритании наиболее близкие термические условия отмсчались в эти дни в 2005 г., когда флот работал на центральных участках и на юге района. Исходя из оптимальных условий ТПО (рис. 2 б) в зоне Марокко рекомендовать для промысла следует се-

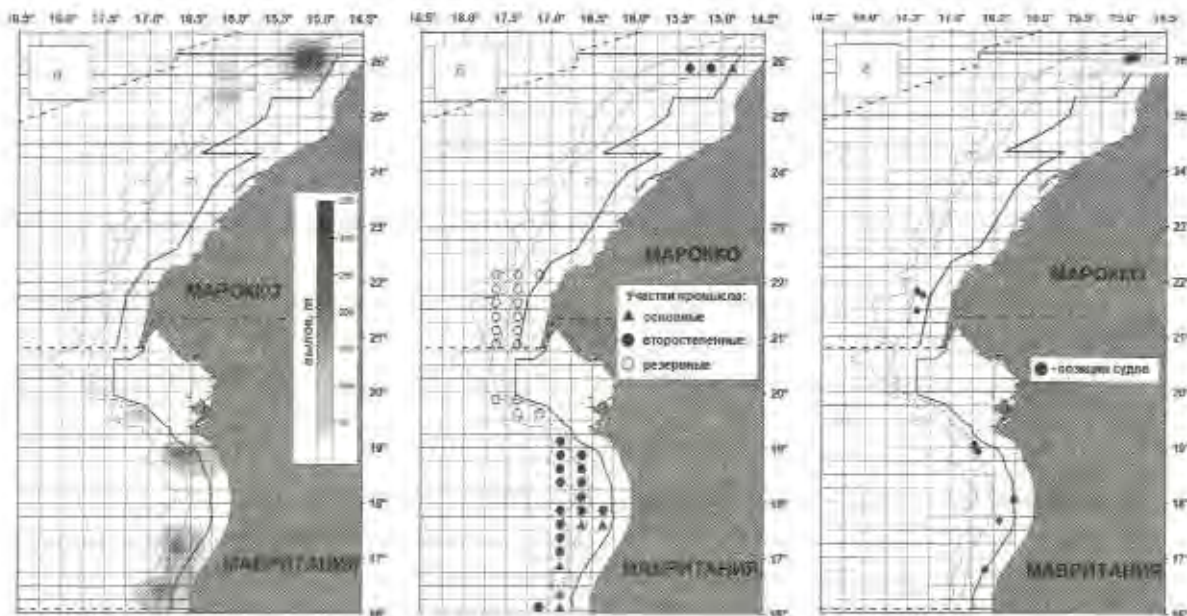


Рис. 2. Оперативный прогноз перспективных участков промысла по году аналогу (а), по оптимальным значениям ТПО (б) и фактическая дислокация флота в районе ЦВА на 24–26.01.2012 г. (в).

Fig. 2. An operative forecast of prospective fishing grounds in relation to analogue year (a), to optimal OST value (б) and the actual location of the fleet in the CEA on 24–26.01.2012 (в).

верный участок, а в водах Мавритании – центр и юг района. Предложенный системой выбор по году-аналогу и оптимальным значениям ТПО в целом отразил реальную ситуацию на промысле (рис. 2 а). На основании вариантов перспективных для промысла участков, предложенных системой, специалистами отдела научно-промысловой разведки АтлантНИРО вырабатываются оперативные рекомендации по дислокации флота, которые передаются на промысел одновременно с картами распределения ТПО.

В приведённом примере в ИЭЗ Марокко для промысла был рекомендован северный участок ($25\text{--}26^\circ$ с.ш.) в связи с тем, что в центральной части района значительную часть уловов составляла мелкая ставрида, а на севере в этот период при лучшей производительности лова обычно преобладает более крупная скумбрия. В пользу этого участка также указывают и расчёты по оптимальным условиям ТПО.

В ИЭЗ Мавритании фактическая расстановка флота была близка к предложенной системой как по году-аналогу, так и по оптимальным значениям ТПО. Однако если в 2005 году основным объектом промысла на южном участке была мигрирующая западноафриканская ставрида, то в настоящее время состояние запаса этого вида заметно хуже, чем 7 лет назад, и поэтому в текущей ситуации более устойчивая обстановка была в центральной части района ($19^\circ 10' \text{--} 18^\circ 45' \text{ с.ш.}$) на облове скоплений европейской ставриды.

Блок краткосрочного прогноза промысловых участков по году-аналогу. В этом блоке система определяет возможные промысловые участки и уловы на усилии с заблаговременностью 1–2 мес. по выбранному году-аналогу, основываясь на прогностических температурных условиях с использованием эвристических алгоритмов, основанных на методах информационного поиска. По окончании расчётов пользователю выдаётся информация в виде карты с наиболее перспективными промысловыми участками и сопроводительной информацией, включающей данные о возможном видовом составе уловов, производительности для различных типов судов как в целом по району, так и по промысловым подрайонам, а также в каждом квадрате. С учётом интенсивности промысла система позволяет проводить дифференциацию важности участков.

На рис. 3 представлен пример подготовки ежемесячного прогноза перспектив промысла на январь 2012 г.

Для района Марокко близкие термические условия отмечались в январе 2007 г. Традиционно в январе основным объектом промысла является скумбрия, которая формирует массовые скопления на севере района, а в центральной и южной частях промысел сосредоточен на сардине и европейской ставриде, где производительность промысла часто бывает даже выше. Однако с учётом информации, заложенной в базу знаний в аналогичный период 2007 г. в южной и центральной частях района при близких термических условиях отмечался большой прилов маломерной рыбы, скопления носили неустойчивый, дробный характер и на этом основании в качестве основного системой было предложено выбрать северный участок. Реальная ситуация по итогам работы российского флота в январе 2012 г. оказалась схожей с прогнозом (рис. 3 б). В ИЭЗ Марокко основной промысел проходил на севере района, на облове скумбрии, эпизодически суда для работы использовали южные участки.

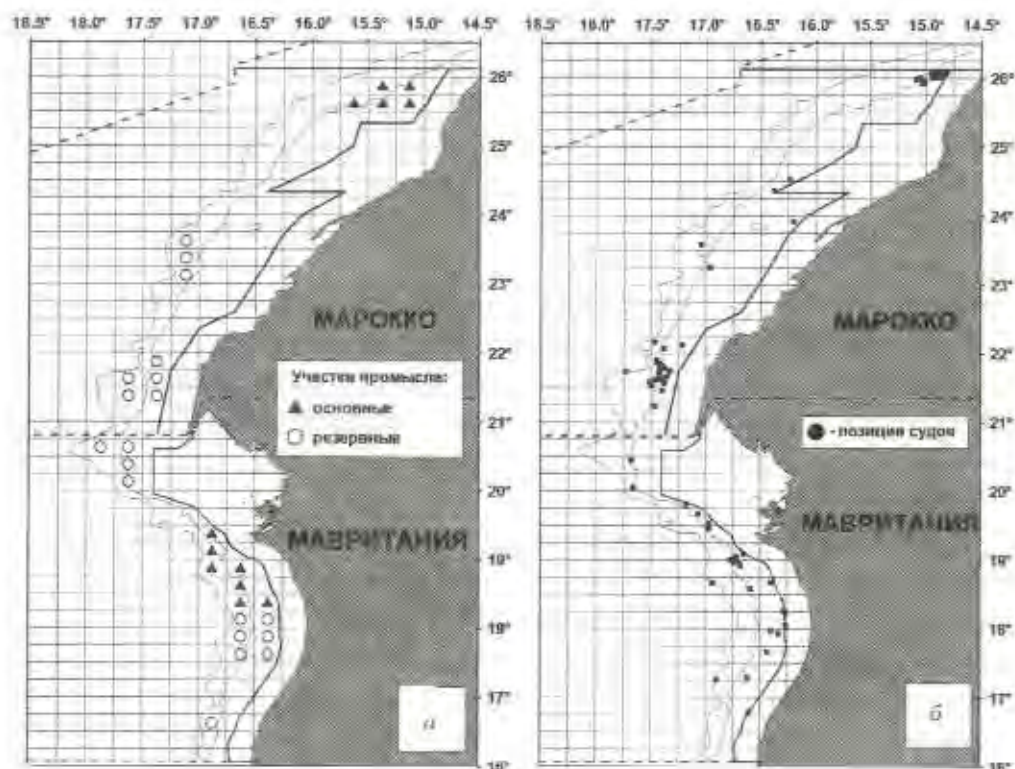


Рис. 3. Краткосрочный прогноз перспективных участков для промысла на январь 2012 г. (а) и фактическая дислокация судов в январе 2012 г. (б) в ЦВА.

Fig. 3. A short-term forecast of prospective fishing grounds for January 2012 (a) and the actual location of vessels in January 2012 (b) in the CEA.

Для понимания подходов к прогнозу обстановки в ИЭЗ Мавритании необходимо учитывать, что характер промысла в этом районе относительно ИЭЗ Марокко более сложный и динамичный, что связано с ярко выраженной сезонной и межгодовой изменчивостью гидрологических условий. Определяющей особенностью промысла в ИЭЗ Мавритании является то, что из пелагических рыб наибольшее значение принадлежит ставридам, особенно западноафриканской как наиболее ценной с коммерческой точки зрения. В осенне-зимний период скопления ставриды перемещаются в южном направлении из зоны Марокко через зоны Мавритании и Сенегала до Гвинеи-Бисау. В весенне-летний период происходит обратная (в северном направлении) миграция. Основная стратегия ведения промысла в этом районе заключается в максимальной концентрации промысловых усилий на облове ставрид. Исходя из этого для оценки промысловой ситуации большое значение имеет определение сроков сезонных миграций западноафриканской ставриды, скорости её перемещения, а также особенностей распределения. Решающее влияние на пространственно-временное распределение западноафриканской ставриды и, как следствие, на результаты промысла оказывает термический фон. Так, при осенне-зимней миграции (ноябрь – январь) максимально благоприятные условия для промысла складываются при ситуациях с повышенным температурным фоном (выше $+0,4^{\circ}\text{C}$ от среднееголетних значений). В этом случае рыба может находиться в ИЭЗ Мавритании до 2–2,5 мес. При отрицательных аномалиях ТПО (ниже $-0,4^{\circ}\text{C}$ от среднееголетних показателей) в этот период скорость миграции увеличивается – рыба довольно быстро, в срок не более месяца, проходит

воды Мавритании (нередко над большими глубинами, не создавая плотных и устойчивых скоплений. При среднесуточных значениях ТПО миграция ставриды в водах Мавритании проходит в течение 1,5–2 мес. Другим уточняющим критерием служит алгоритм поиска участков промысла исходя из оптимальных значений ТПО.

Прогнозируемые на уровне среднесуточных значения температуры поверхности воды в ИЭЗ Мавритании в январе 2012 г. хорошо согласовывались с термическим режимом вод, наблюдавшимся в январе 2003 г. Поиск решения по определению оптимальных участков для промысла в данном случае был основан на выводах, заложенных в базу знаний, касающихся критериев осенне-зимней миграции ставриды в районе Мавритании.

В результате определения системой типа промысловой ситуации и с учётом развития промысла в год-аналог (особенности распределения и поведения скоплений в зависимости от условий среды, участки работы флота) перспективными для промысла были предложены центральные участки. Анализ реальной ситуации на промысле, по итогам работы за месяц, показал правильность предложенного системой решения (рис. 3 а, б).

В целом функционирование СПР может быть представлено в виде блок-схемы (рис. 4).



Рис. 4. Блок-схема работы системы поддержки принятия решений при определении перспективных промысловых участков в ЦВА.

Fig. 4. A flow-chart of the decision support system specifying prospective fishing grounds in the CEA.

Начиная с ноября 2011 г. система начала применяться в практической деятельности АтлантНИРО для обеспечения рыбопромыслового флота рекомендациями и прогнозами. В мае – августе 2012 г. система использовалась специалистами нашего института непосредственно на промысле при работе БАТМ «Хампбаквал» в районе Мавритании для определения перспективных промысловых участков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В АтлантНИРО разработана система поддержки принятия управленческих решений при определении перспективных промысловых участков в ЦВА с использованием методических принципов и выявленных закономерностей, изложенных в «Методическом пособии...» (2010).

Система используется в практической деятельности с ноября 2011 г. для выдачи оперативных рекомендаций по выбору перспективных участков и подготовки ежемесячных прогнозов промысловой обстановки рыбодобывающему флоту в районе ЦВА. Опыт работы показал, что подготовленные рекомендации в целом соответствуют реальному развитию промысловой ситуации.

Работа с системой не требует наличия у пользователя глубоких знаний по особенностям распределения промысловых скоплений в районах Марокко и Мавритании и может применяться капитанами непосредственно в районе работ для выработки решений по выбору перспективного участка для промысла, а также наблюдателями АтлантНИРО на промысловых судах для консультаций судоводителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Доманевский Л. Н. Рыбы и рыболовство в перитической зоне Центрально-Восточной Атлантики. Калининград: АтлантНИРО, 1998. 196 с.

Дубищук М. М., Лукацкий В. Б. Подходы к выделению оптимальных участков промысла в Центрально-Восточной Атлантике на основе оперативных спутниковых данных о термических условиях среды // Тез. Докл. XI конф. по проблемам рыбопромыслового прогнозирования. Мурманск: ПИНРО, 2012. (URL: http://www.atlantniro.ru/onpr/pubs/optimal_2012.pdf (дата обращения 01.10.2013).)

Лукацкий В. Б., Дубищук М. М., Маслянкин Г. Е. Мониторинг условий среды при помощи современных методов оперативного спутникового зондирования и особенности распределения основных объектов промысла в зависимости от термических условий в ЦВА // Матер. XV конф. по промысловой океанологии. Калининград: АтлантНИРО, 2011. С. 169–172.

Методическое пособие по краткосрочному прогнозированию промысла в Центрально-Восточной Атлантике / Под ред. Лукацкого В. Б., Маслянкина Г. Е. Калининград: АтлантНИРО, 2010. 42 с.

Петровский А. Б. Компьютерная поддержка принятия решений: современное состояние и перспективы развития // № 24. Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник / Под ред. Гвишиани Д. М., Садовского В. Н. М.: Эдиториал УРСС, 1996. С. 146–178.

StatSoft, Inc. (2001). <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm>.

**FORECASTING OF PROSPECTIVE FISHING GROUNDS ON THE BASIS
OF REMOTE SENSING OF SEA SURFACE TEMPERATURE
IN CENTRAL-EAST ATLANTIC**

© 2013 y. M. M. Dubishchuk, V. B. Lukatsky

Atlantic Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography, Kaliningrad, 236022

In order to improve the level of information provision for navigators and other professionals in the fisheries sector a decision support system Fishing Forecast in CEA was developed for specifying prospective fishing grounds. The fundamentals of functioning as well as methodological principles that served as a basis for the system were set out. The types of commercial forecasting were described and a comparative analysis of recommendations provided with actual situation was carried out based on the work of the Russian fleet in the CEA.

Keywords: Central-East Atlantic, forecast of fishing conditions, data base, satellite data, fishery statistics, decision support system.