

✓ 146

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ РЕЖИМООБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА
ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА И
КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БИОМАССЫ ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБ
СЕВЕРО-ЗАПАДНЫХ МОРЕЙ РОССИИ

А.И. Смирнова*, **М.О. Арсенчук***, **Е.С. Ерофеева***,
А.П. Алексеев**, **Н.П. Яковлева*****

* – Санкт-Петербургское отделение ГУ «Государственный океанографический институт»

** – ФГУ Межведомственная ихтиологическая комиссия, ЗИН РАН

*** – ГУ «АНИИ»

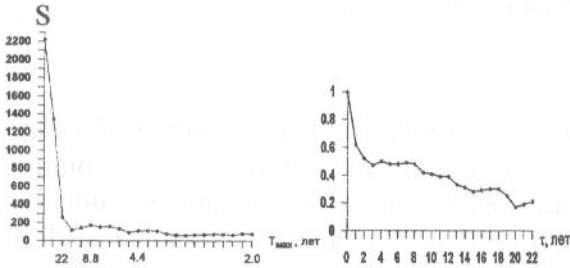
Исследования изменчивости элементов экосистем северо-западных морей России (Балтийского, Белого и Баренцева) позволили выявить существенную роль общих глобальных климатических и однотипных региональных внешних факторов в механизме формирования разномасштабных колебаний характеристик гидрометеорологического режима морей, и, как завершающего звена, численности организмов, обитающих в их среде. Прогнозируемые количественные показатели биомассы трески и сельди в Балтийском море дают вероятность их увеличения в ближайшие годы, а прогнозы численности печорской семги и уловов балтийского лосося показывают возможность их уменьшения, начиная с 2008-2010гг.

Исследование изменчивости элементов экосистемы северо-западных морей России (Балтийского, Белого и Баренцева), проводимые в последние десятилетия (Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР, Т.2, Вып.1, 1991; Т.3, Вып.1., 1992; Смирнова А.И. и др. 1998, 2000, 2004) позволили выявить, а впоследствии подтвердить на современных материалах, существенную роль глобальных климатических и региональных внешних факторов в механизме формирования разномасштабных колебаний характеристик гидрометеорологического и гидрохимического режимов морей, и как завершающего звена, численности организмов, обитающих в их среде. Совместный анализ этих процессов позволил оценить степень влияния различных режимоформирующих факторов на колебания элементов экосистемы, в том числе и на современном этапе, а также установить различия в формировании этих изменений.

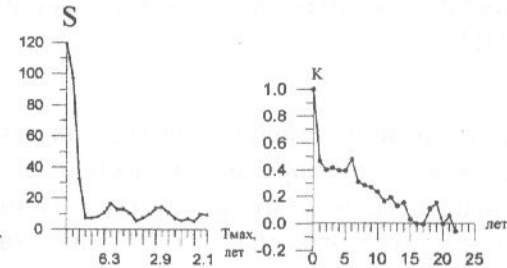
При проведении комплексных исследований общих закономерностей разномасштабной изменчивости внешних факторов и гидрометеорологического режима морей были использованы стандартные усовершенствованные методы статистического оценивания вероятностных характеристик, низкочастотной фильтрации с различными срезами фильтров, факторного анализа и различных моделей множественной регрессии. Уточненные оценки степени влияния режимоформирующих факторов на колебания процессов, происходящих в морской среде, были получены за счет привлечения к совместному анализу данных наблюдений за последние годы, а также ряда новых внешних факторов и элементов режима по сравнению с опубликованными ранее работами (Арсенчук и др., 2005; Доклад об основных результатах..., 2005; Смирнова А.И. и др., 2007).

На основе совместного разведочного анализа всех процессов были выявлены однонаправленные тенденции в их изменениях, включая смену знаков и практически одновременного наступления экстремумов. Отмеченные общие закономерности в этих колебаниях были подтверждены оценками спектральной плотности и корреляционных функций (рис. 1).

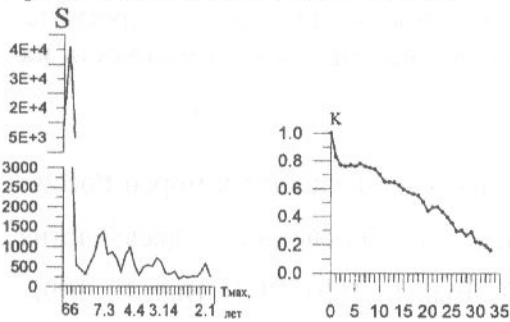
Форма атмосферной циркуляции W, 1891-2006 гг.



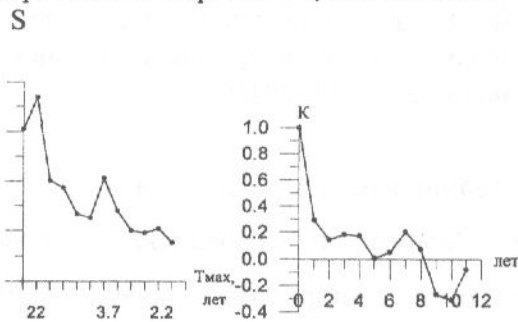
Уровень п. Невская устьевая 1926-1995 гг.



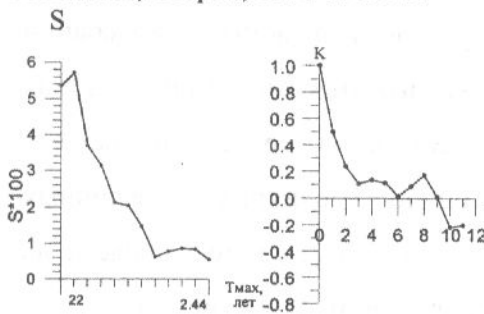
Уровень п. Стокгольм, 1889-1995 гг.



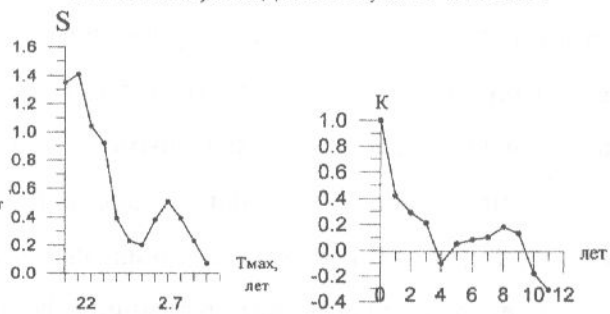
Уровень п. Северодвинск, 1951-1993 гг.



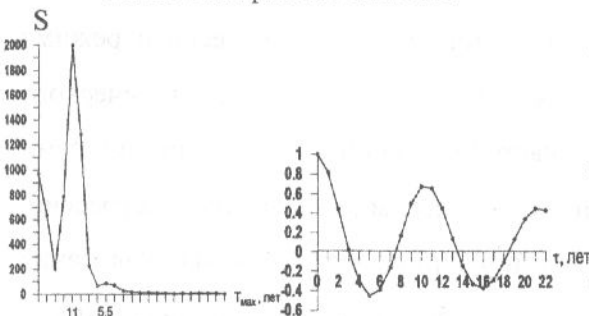
Соленость, Озерки, 1951-1993 гг.



Соленость, Кандалакша, 1949-1990 гг.



Числа Вольфа 1749-2006 гг.



Сток р.Нева, 1859-1995 гг.

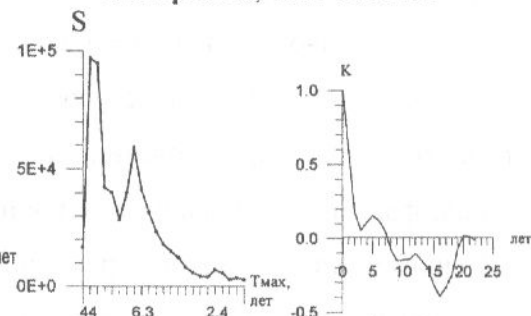


Рис. 1. Оценки спектральной плотности и корреляционных функций элементов режима Балтийского и Белого морей и режимоформирующих факторов

Приведенные на рис. 1 примеры подобных оценок для уровня морей, элементов термохалинного режима, региональных внешних факторов и западных переносов неплохо согласуются между собой и также имеют ряд общих черт с оценками спектральной плотности и нормированных корреляционных функций трех основных нерестовых рыб Балтийского моря: трески, сельди и шпрота.

Для коррелограмм климатических и региональных режимообразующих факторов, солёности и уровня моря характерно постепенное их затухание и значительный радиус корреляции (до 10 лет), что говорит о существенном влиянии на изменчивость рассматриваемых процессов, их предыстории, и позволяет при составлении фоновых прогнозов в регрессионных соотношениях учитывать вклад авторегрессии для уточнения прогнозов на отдельные годы.

Энергетический максимум спектральных оценок режимоформирующих факторов смещен в сторону низких частот, преобладание энергетики низкочастотных колебаний характерно также и для показателей солнечной активности. В спектральных оценках термохалинного режима и уровня также высокий вклад в межгодовую изменчивость вносят низкочастотные составляющие, что подтверждает предположение о существенном влиянии глобальных климатических процессов на формирование долгопериодной изменчивости элементов режима морских акваторий, и позволяет использовать их в качестве предикторов при составлении фоновых прогнозов. Отмеченные особенности характерны также для спектральных и корреляционных оценок биомассы нерестовых трески, шпрота и сельди.

При исследовании тенденций колебаний различных процессов для получения разной степени приближения отфильтрованных рядов к их фактическим значениям при выборе срезов низкочастотных фильтров также используются спектральные оценки. Использование низкочастотных фильтров Баттерворта при этих условиях позволяет давать экспертные оценки трендов на временных интервалах различной продолжительности.

В качестве основных климатических факторов рассматривались западный, восточный и меридиональный типы атмосферной циркуляции Вангенгейма-Гирса над Атлантико-Европейским сектором Северного полушария (W, E, C), а за показатель солнечной активности были приняты числа Вольфа. На рисунках 2, 3 и 4 приведены примеры низкочастотной фильтрации внешних климатических и региональных факторов, а также элементов режима Балтийского и Белого морей.

На графиках выделены два вида экстремумов: крупные аномалии, совпадающие по знаку с направлением тенденций развития процессов и кратковременные, также крупные аномалии по знаку, противоположные направлению господствующих тенденций.

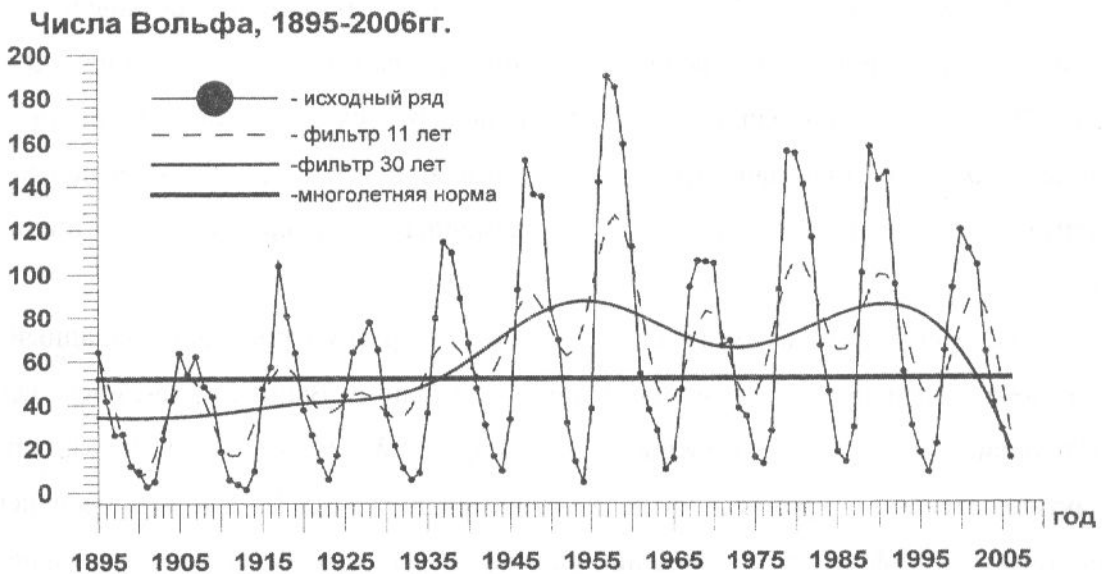
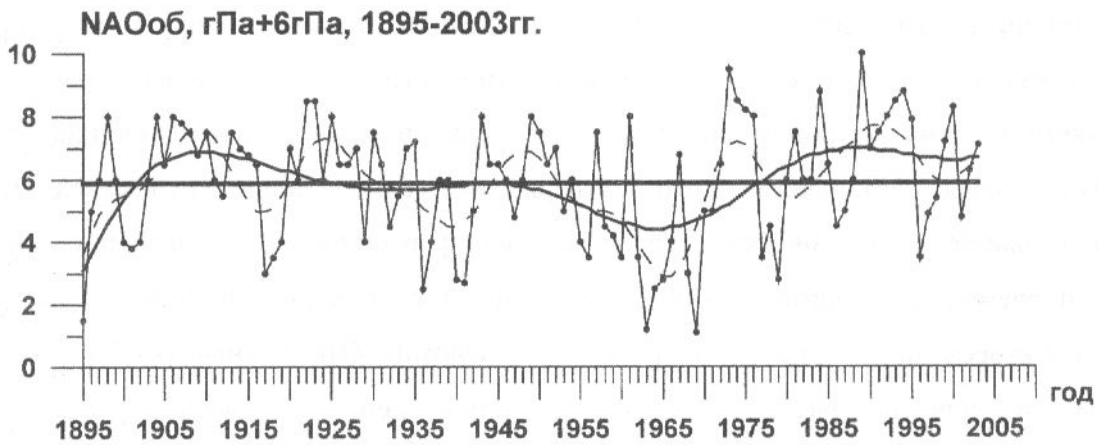


Рис.2. Наблюдаемые и отфильтрованные с различными срезами фильтров значения климатических внешних факторов

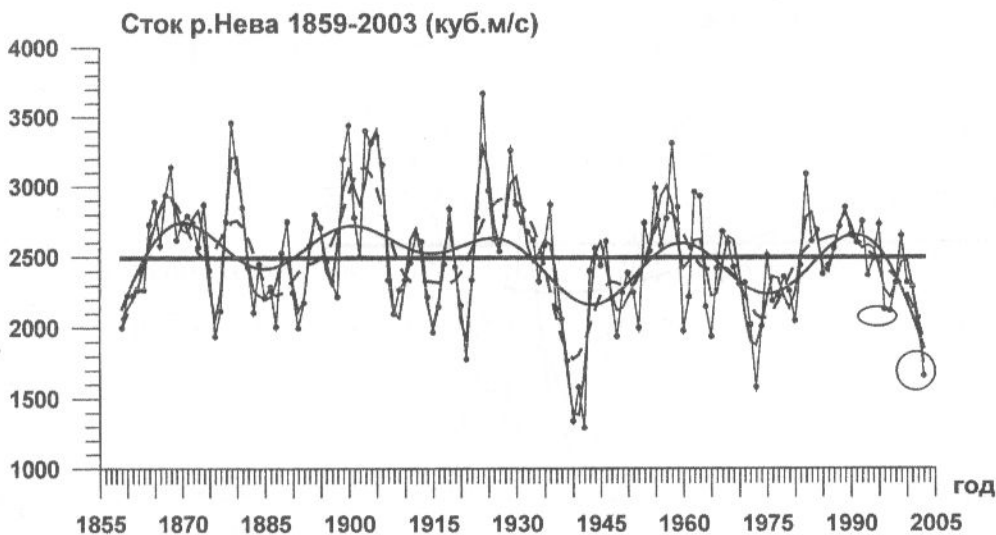
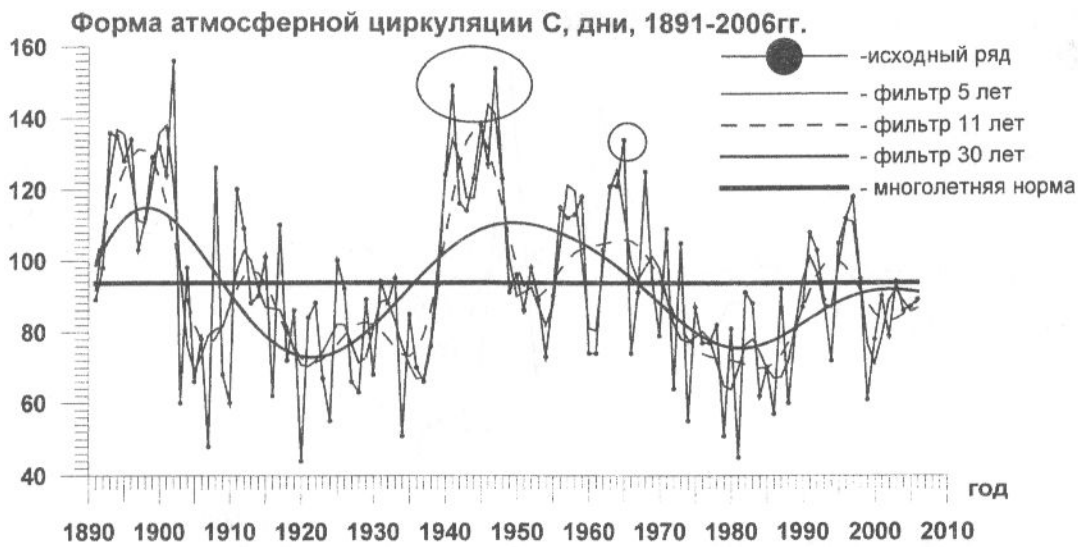


Рис.3. Наблюдаемые и отфильтрованные с различными срезами фильтра значения климатических и региональных факторов.
 Приток в Балтику за 1893-1976 гг. рассчитан В.М.Альтшулером.

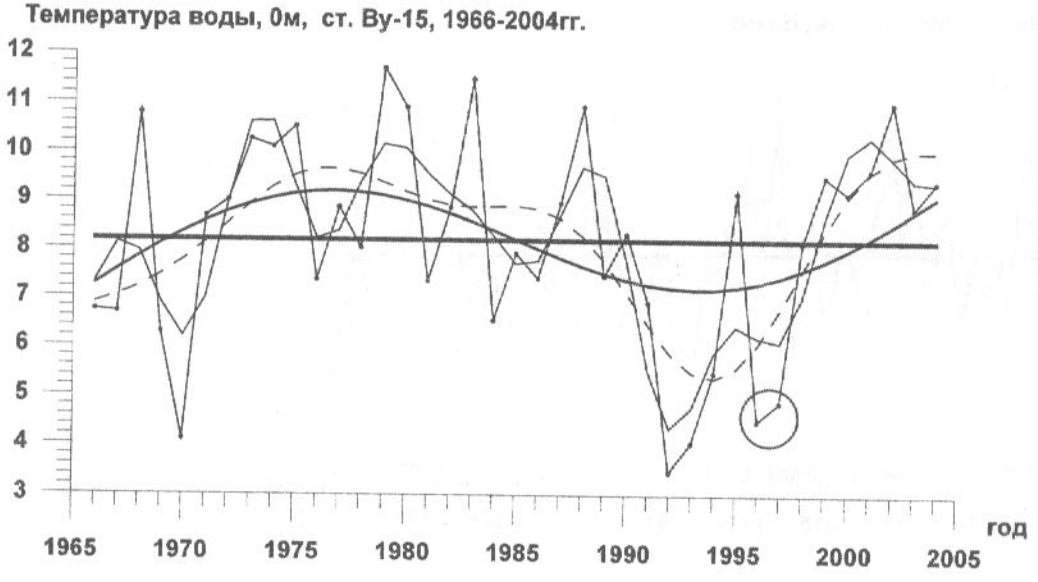
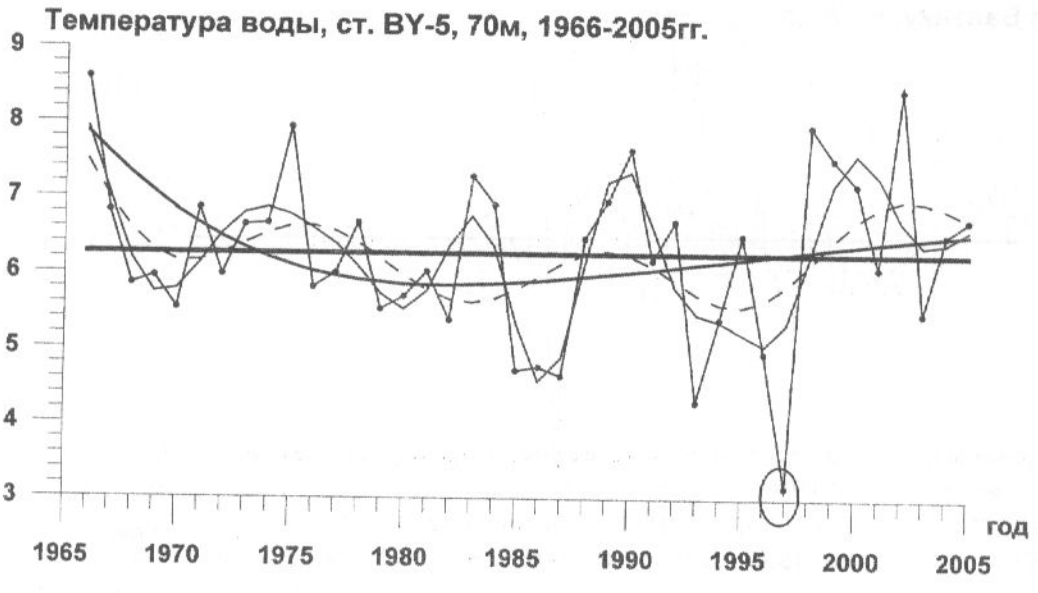
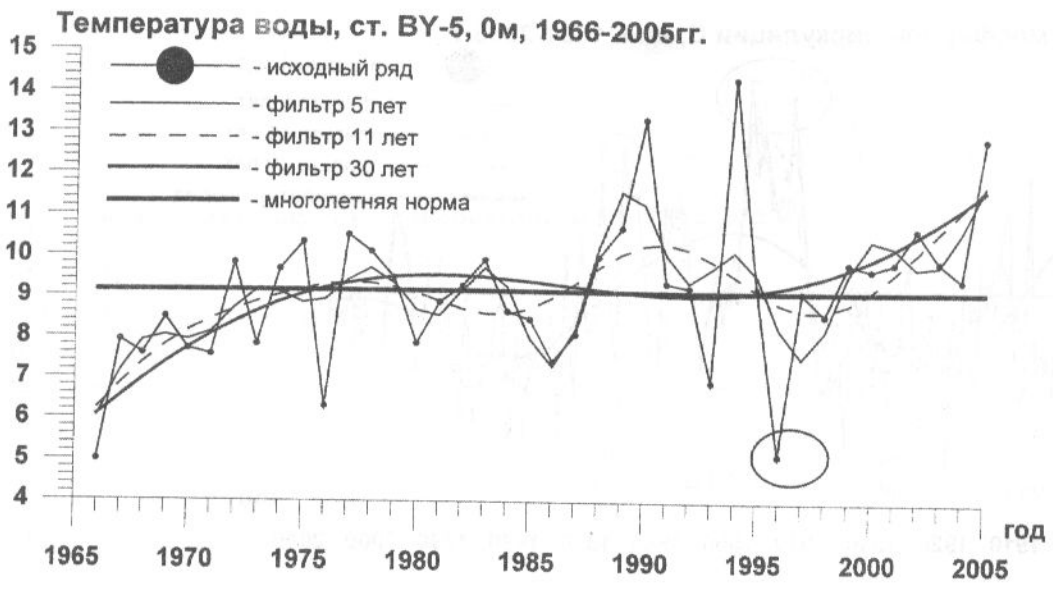


Рис 4. Среднегодовые и отфильтрованные значения температуры воды на глубоководных станциях Балтийского моря

Для более полного анализа причин резких изменений характеристик режима исследуемых акваторий, участвовавших в последнее десятилетие, наряду с перечисленными климатическими факторами, временные ряды которых продолжены до 2006 года, в совместный анализ были включены среднегодовые значения индексов Северо-Атлантического колебания NAO (North Atlantic Oscillation), наилучшим образом отражающих динамику параметров действия атмосферы и переносов воздушных масс над Северной Атлантикой (Смирнов Н.П. и др., 1998).

На рис. 2 для наглядного сопоставления представлены наблюдаемые и отфильтрованные со срезом 11 лет значения NAO, W и чисел Вольфа. Результаты предварительного совместного анализа межгодовой изменчивости и тенденций по временным интервалам выявили ряд общих особенностей у западного типа W и NAO₀₆ и NAO₄ (в дальнейшем использовались только временные ряды NAO₀₆).

В ходе W и NAO₀₆ отмечаются временные интервалы с совпадающими знаками тенденций, а также по времени совпали крупные аномалии 1996 г. Результаты совместного анализа отфильтрованных рядов позволили в дальнейшем использовать индексы NAO в качестве предикторов наряду с формами атмосферной циркуляции (W, E, C).

Длительные тенденции спада и подъема наиболее явно проявляются в повторяемости западного и восточного типов атмосферных переносов, в дальнейшем западный тип (рис. 2) был выбран как один из основных климатических режимоформирующих процессов, влияющих на тенденции изменений гидрометеорологического режима, в том числе и на появление крупных аномалий. В ходе NAO₀₆ подобного вида тенденции менее выражены. Тренды в колебаниях солнечной активности (числа Вольфа) более кратковременны, однако они, в свою очередь, имеют ряд общих черт с особенностями межгодовой изменчивости меридиональной формы атмосферной циркуляции C (рис. 3).

Можно отметить, что при отсутствии векового тренда, колебания с периодичностью 40-60 лет присутствуют в межгодовой изменчивости повторяемости меридионального типа атмосферной циркуляции (C) и примерно со сдвигом в 10 лет повторяют особенности, присущие ходу тенденций чисел Вольфа. Совместный анализ особенностей межгодовых колебаний и выявленных тенденций изменчивости глобальных климатических факторов позволяет отметить следующие закономерности, характерные для современного этапа:

- прекращение быстрого роста повторяемости W со второй половины XX века и переход к режиму, близкому к квазистационарному (последние годы наметилось некоторое уменьшение интенсивности W);

- соответственно для восточной формы (Е) в эти же годы замедлилось падение значений ее повторяемости, в течение последних 10 лет также наблюдался режим, близкий к квазистационарному с некоторым увеличением повторяемости в последние 3-4 года;
- тенденция незначительного роста повторяемости меридиональных процессов (формы С) в третьем тысячелетии также замедлилась и в последние годы характеризовалась малой изменчивостью;
- в межгодовой изменчивости чисел Вольфа в последние 10 лет четко выявилась тенденция ярко выраженного падения солнечной активности, что в значительной мере определило резкие перепады погодных условий.

Крупномасштабные атмосферные процессы оказывают влияние не только непосредственно на изменения элементов гидрометеорологического режима моря, но и опосредованно – через воздействие на региональные режимоформирующие факторы, к которым, в первую очередь, относятся водообмен (и его составляющие) через проливы с сопредельными акваториями, а также пресный сток в море (имеется в виду как суммарный речной сток, так и сток отдельных рек).

Согласно нашим оценкам, наибольшее влияние на приток вод из Северного моря оказывают колебания повторяемости формы С. Наглядно подобное влияние проявляется в однонаправленности тенденций (рис.3), при этом отмечается запаздывание притока вод по отношению к меридиональным переносам на 10-15 лет. Соответственно при больших временных сдвигах значения взаимокорреляционной функции достигают значений 0,7-0,9, поэтому при составлении фоновых прогнозов притока вод в Балтику форма С была выбрана в качестве основного предиктора.

Под воздействием колебаний атмосферной циркуляции также меняется соотношение основных составляющих водного баланса Балтийского моря. Однако, несмотря на то, что ход межгодовой изменчивости притока имеет ряд общих черт с колебаниями стока р.Невы (рис.3), наступление их экстремумов часто находится в противофазе.

В трендах колебаний термохалинного режима уровня моря и ряда других характеристик морской среды Балтийского и Белого морей проявляются общие черты с тенденциями колебаний режимоформирующих факторов.

Отфильтрованные со срезами фильтра 11 и 30 лет значения уровня на станциях Балтийского и Белого морей позволяют отметить, что продолжавшаяся тенденция роста уровня в 90-х годах сменила свой знак, что совпало (с запаздыванием на несколько лет) с прекращением быстрого роста W.

На Балтике (ст.ст.Стокгольм и Ратан)в последнее десятилетие спад уровня совпал по времени с направлением тенденции его изменений в большинстве районов моря и с

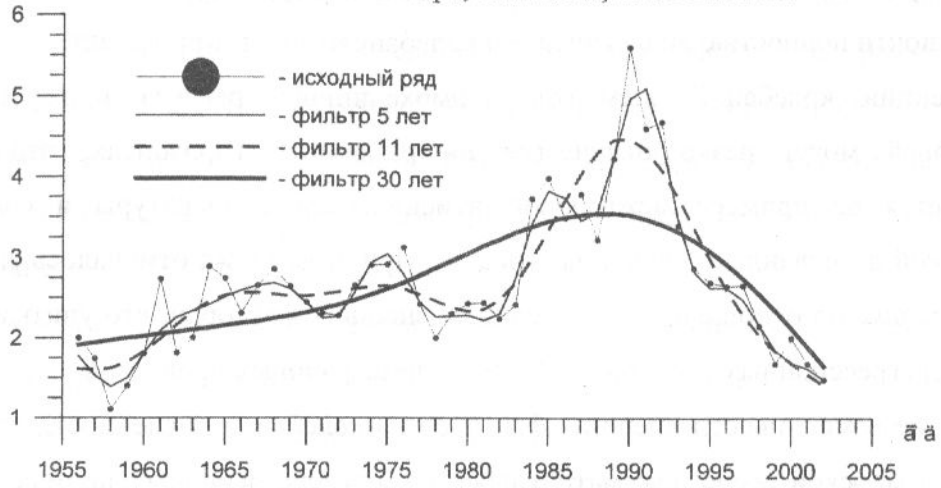
отмеченным уменьшением стока отдельных рек, а ход уровня в проливной зоне (ст. Гедсер-Рев) почти полностью аналогичен его колебаниям на ст. Кронштадт.

Тенденции колебаний элементов термохалинного режима в глубоководных районах морей могут резко отличаться на различных горизонтах, что наглядно иллюстрируется на примере межгодовой изменчивости температуры и солености в Борнхольмской и Готландской впадинах (рис. 4). При этом также отмечалось различие во временном сдвиге по отношению к колебаниям внешних факторов, что учитывалось при составлении регрессионных соотношений для расчета фоновых прогнозов.

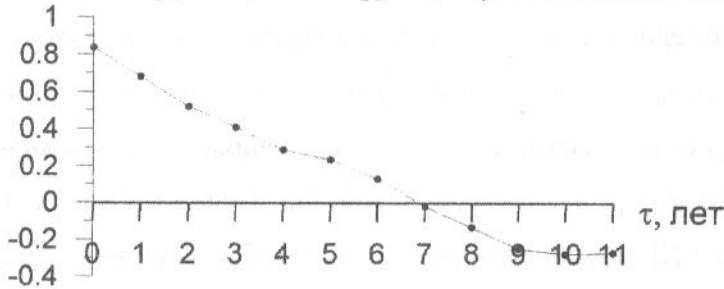
Влияние изменчивости внешних факторов на колебания численности организмов, обитающих в морской среде, рассматривалось на примере основных промысловых рыб Балтийского моря (треска, сельдь, шпрот и лосось) (Доклад об основных результатах..., 2005). Количественные показатели их биомассы существенно зависят от колебаний элементов термохалинного режима и, в первую очередь, от солености. Длительное опреснение моря неблагоприятно сказывается на условиях их выживания и воспроизводства. С начала 80-х годов наблюдался устойчивый спад биомассы трески и сельди с минимумом в начале XXI века, в отличие от этих рыб устойчивое уменьшение уловов лосося началось в начале 90-х годов (рис. 5). Любопытно отметить, что результаты фильтрации временного ряда численности печорской семги также выявили четкую тенденцию ее уменьшения к 2000-му году и последующим годам (Смирнова А.И. и др., 2004). В настоящее время рост солености в Балтике привел к некоторому увеличению рыбных запасов. Дальнейшие прогностические оценки могут служить основой при составлении рекомендаций по планированию уловов.

При переходе к сопоставлению (по данным факторного анализа) фоновых прогнозов элементов гидрометеорологического режима и показателей биомассы промысловых рыб северо-западных морей были использованы результаты совместного анализа взаимокорреляционных оценок климатических и региональных режимообразующих факторов, элементов режима и численности промысловых рыб. Примеры высокой степени взаимосвязи для гидрометеорологических процессов Балтийского и Белого морей приведены в работах (Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР, Т.3, Вып.1, 1992; Смирнова А.И. и др., 2000). Выбор оптимальных вариантов множественной регрессии для последующего составления прогнозов показателей биомассы промысловых рыб можно проиллюстрировать на примере численности печорской семги (временные ряды численности семги были предоставлены сотрудниками СевПИИРО).

Уловы лосося в Балтийском море, тыс. тонн, 1956-2003 гг.



Нормированная корреляционная функция улова лосося в Балтийском море, 1956-2002 гг.



Спектр улова балтийского лосося, 1956-2002 гг.

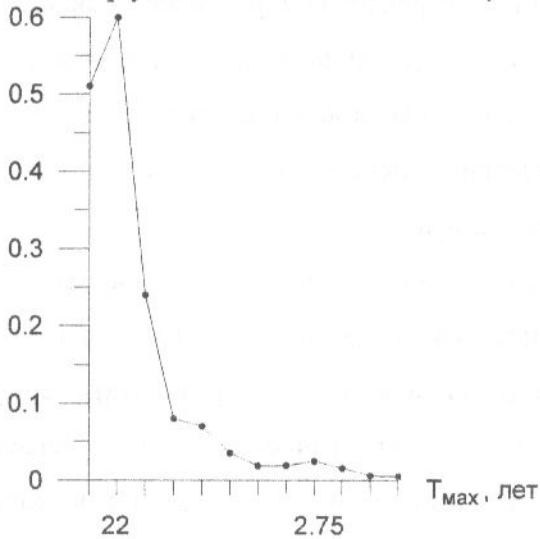


Рис.5. Среднегодовые и отфильтрованные значения уловов лосося и их корреляционные и спектральные оценки (Балтийское море).

Взаимокорреляционные функции численности семги и различных внешних факторов были рассчитаны для временных рядов, отфильтрованных со срезами 30, 11 и 5 лет (см. табл.1).

Таблица 1

Взаимокорреляционные функции между численностью нерестовых стад печорской семги (тыс.штук) и западной(W), восточной (E) и меридиональной (С) формами атмосферной циркуляции, числами Вольфа, стоком р. Печора, а также аномалиями температуры воды в слое 0-200м на разрезе «Кольский меридиан»при различных срезах фильтра и сдвигах по времени

	Сдвиг по времени, годы															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Численность нерестовых стад печорской семги (тыс.штук),1923-2001, фильтр 5 лет																
W	-0,22	-0,11	-0,04	-0,01	0,03	0,10	0,15	0,12	0,04	0,01	0,12	0,34	0,54	0,57	0,42	0,24
E	0,09	0,05	-0,04	-0,14	-0,22	-0,24	-0,20	-0,17	-0,20	-0,33	-0,51	-0,66	-0,71	-0,64	-0,51	-0,38
С	0,15	0,07	0,11	0,24	0,30	0,24	0,12	0,10	0,27	0,51	0,65	0,59	0,40	0,26	0,25	0,29
Числа Вольфа	0,14	-0,10	-0,29	-0,34	-0,25	-0,08	0,11	0,26	0,35	0,33	0,17	-0,08	-0,33	-0,44	-0,36	-0,15
Сток р.Печора 1932-2000	-0,31	-0,23	-0,18	-0,14	-0,09	-0,05	-0,07	-0,15	-0,21	-0,20	-0,12	-0,05	-0,09	-0,21	-0,31	-0,27
Аномалии и темп-ры	0,04	0,13	0,23	0,32	0,37	0,34	0,21	0,06	-0,03	-0,02	0,06	0,11	0,10	0,09	0,18	0,34
Численность нерестовых стад печорской семги (тыс.штук),1923-2001, фильтр 11 лет																
W	-0,29	-0,23	-0,16	-0,09	-0,02	0,06	0,14	0,21	0,28	0,35	0,41	0,47	0,52	0,56	0,59	0,61
E	0,01	0,00	-0,03	-0,07	-0,14	-0,24	-0,35	-0,47	-0,59	-0,71	-0,79	-0,85	-0,88	-0,86	-0,82	-0,75
С	0,37	0,31	0,27	0,25	0,26	0,31	0,40	0,50	0,61	0,71	0,77	0,79	0,76	0,68	0,56	0,41
Числа Вольфа	0,26	0,17	0,07	-0,01	-0,06	-0,06	-0,02	0,03	0,08	0,10	0,08	0,02	-0,05	-0,14	-0,20	-0,24
Сток р.Печора 1932-2000	-0,54	-0,51	-0,46	-0,39	-0,31	-0,24	-0,19	-0,17	-0,17	-0,19	-0,23	-0,27	-0,32	-0,37	-0,40	-0,42
Аномалии и темп-ры 1923-2000	0,19	0,33	0,44	0,50	0,52	0,48	0,39	0,27	0,16	0,07	0,03	0,06	0,16	0,31	0,49	0,67
Численность нерестовых стад печорской семги (тыс.штук),1923-2001, фильтр 30 лет																
W	-0,30	-0,22	-0,15	-0,07	0,01	0,09	0,17	0,25	0,32	0,39	0,46	0,53	0,59	0,65	0,70	0,75
E	-0,13	-0,22	-0,30	-0,38	-0,46	-0,54	-0,62	-0,69	-0,75	-0,81	-0,86	-0,90	-0,94	-0,97	-0,99	0,99
С	0,81	0,85	0,88	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,96	0,95	0,93	0,90	0,87	0,82	0,76	0,70
Числа Вольфа	0,18	0,20	0,21	0,22	0,21	0,20	0,18	0,15	0,11	0,07	0,02	-0,03	-0,09	-0,15	-0,21	-0,28
Сток р.Печора 1932-2000	-0,57	-0,57	-0,57	-0,56	-0,56	-0,55	-0,54	-0,53	-0,52	-0,51	-0,50	-0,49	-0,48	-0,46	-0,45	-0,44
Аномалии и темп-ры 1923-2000	0,22	0,32	0,41	0,49	0,58	0,65	0,72	0,78	0,83	0,88	0,92	0,95	0,97	0,98	0,98	0,97

Срез фильтра в 30 лет позволяет получать фоновые оценки изменчивости процессов с сохранением 20-63% от дисперсий исходных рядов. В этом варианте для разных сдвигов во времени значения взаимнокорреляционных оценок достигают 0,90-0,99, что определяет возможность использования вариантов сочетаний глобальных и региональных режимобразующих факторов (за исключением чисел Вольфа) при составлении прогностических фоновых оценок численности семги разной заблаговременности.

Для этого варианта фильтрации наиболее тесная взаимосвязь имеет место между рядами численности семги и повторяемостью меридиональной формы атмосферной циркуляции (С). Оценки взаимнокорреляционной функции достигают значимых величин (0,81) при нулевом сдвиге во времени и возрастают до 0,97 при опережении формы С в 7 лет. Подобный вид оценок свидетельствует о возможности использования в качестве предиктора повторяемости формы С для составления прогностических уравнений с заблаговременностью от года и более. При проведении многофакторного анализа варианты уравнений выбирались с учетом оптимальных временных сдвигов других внешних факторов, используемых в уравнениях.

Две других формы атмосферной циркуляции (W и E) оказывают максимальное влияние (с разными знаками) на колебания численности семги только при значительном опережении во времени (10 и более лет).

Сток реки Печоры аналогично восточной форме атмосферной циркуляции (E) оказывает влияние на изменчивость численности семги с обратным знаком, однако, в этом случае, величины взаимнокорреляционных оценок мало зависят от сдвига во времени, что подтверждает устойчивую связь между предиктором и предиктантом. Для всех вариантов временных сдвигов коэффициенты взаимной корреляции колеблются в пределах от 0,5 до 0,6.

В отличие от стока р.Печоры влияние аномалий температуры воды на разрезе «Кольский меридиан» на численность семги имеет много общих черт с ее зависимостью от формы циркуляции атмосферы С: коэффициенты взаимной корреляции достигают значений 0,97-0,98, а их значимые величины наблюдаются, начиная со сдвигов в 3 года и до 15 лет.

При сглаживании временных рядов со срезом фильтра 30 лет взаимосвязь отсутствует только для показателей солнечной активности, поэтому для этого варианта сглаживания, при выборе оптимальных вариантов прогностических уравнений, были задействованы остальные внешние факторы. Однако, для больших сдвигов по времени при завершении полного 22-летнего цикла колебаний чисел Вольфа, влияние их на

изменчивость численности семги будет увеличиваться и, в этом случае, этот показатель можно использовать в уравнениях регрессии в сочетании с другими факторами.

Временные ряды, отфильтрованные со срезом в 11 лет, дают бóльшую степень приближения к наблюдаемым значениям, их относительный вклад в общую дисперсию колебаний процессов изменяется от 39 до 69%, но коэффициенты взаимосвязи численности семги с режимообразующими факторами уменьшаются, однако при больших сдвигах во времени (11-14 лет) достигают величин 0,80-0,88. При составлении вариантов фоновых прогнозов для различной заблаговременности в качестве предикторов могут быть использованы три формы атмосферной циркуляции и аномалии температуры воды, а сток р.Печоры – только для малой заблаговременности (1-2 года).

Наиболее приближены к натурным данным временные ряды, отфильтрованные со срезом 5 лет, их относительный вклад колеблется от 65 до 96 % (за исключением расходов р.Печоры). Однако, для этих рядов значения взаимнокорреляционной функций не поднимаются выше 0,71, даже при значительных сдвигах во времени. При составлении фоновых прогнозов численности нерестовых стад семги предпочтительно в качестве предикторов использовать типы атмосферной циркуляции и числа Вольфа.

Варианты фоновых прогнозов численности семги различной заблаговременности составлялись на основе использования сочетаний внешних факторов, подобранных с учетом результатов многофакторного анализа.

Аналогичные высокие показатели степени взаимосвязи численности рыб с климатическими факторами (Е, W, С) и числами Вольфа были получены и для других акваторий северо-западных морей. Наибольшая степень зависимости от изменчивости режимообразующих факторов была обнаружена для показателей биомассы трески, сельди, шпрота и значений уловов лосося в Балтийском море.

Ниже приводятся результаты расчетов и совместного анализа фоновых прогнозов региональных внешних факторов, элементов гидрологического режима и численности промысловых рыб морей северо-запада России.

Учитывая тот факт, что для шельфовых морей с ограниченным водообменом, к которым относятся Балтийское и Белое моря, приток и отток вод из сопредельных акваторий является важным фактором формирования особенностей режима этих морей, метод их прогноза усовершенствовался и уточнялся до 2007 г. Составленный в итоге фоновый прогноз притока вод в Балтику (рис. 3) удалось продлить до 2006 г., а корректировка прогноза показала вероятность постепенного увеличения годовых объемов поступающих вод вплоть до 2010-2012 гг. Несмотря на то, что прогнозируемые фоновые значения $Q_{пр}$ немного ниже нормы, не исключается вероятность появления затоков в море, подобным $Q_{пр}$ в начале 70-х годов, которые имели место на аналогичном фоне

практического отсутствия тенденций в изменчивости западных атмосферных переносов и близости процесса к квазистационарному.

Фоновые прогнозы стока р. Невы позволяют сделать вывод, что после отмеченных в 2003 г. минимальных значений последует период его увеличения, особенно заметного после 2008 г.

Составленные варианты фоновых прогнозов уровня в различных районах Балтийского моря так же показывают наличие общих тенденций. Согласно прогнозу уровня в Финском заливе (ст. Кронштадт), составленному с использованием в качестве предикторов стока р. Невы, W и чисел Вольфа, начиная с 2007-2008 гг. должна проявиться тенденция его роста до 2012 г. На европейском побережье (ст. Ратан) также прогнозируется повышение уровня до 2010–2011 г. (+4, +5 см).

Выбранные по результатам факторного анализа варианты фоновых прогнозов элементов термохалинного режима показали, наряду со случаями роста, вероятность понижения температуры в отдельных районах, а также возможность значительного осолонения до 2011 – 2012 г. в большинстве районов Белого и Балтийского морей (рис. 6). Процесс осолонения продолжается, начиная с начала 90-х годов XX века, включая некоторые его нарушения в течение отдельных лет. Согласно прогнозу, максимальных значений соленость может достигнуть к 2009-2011 гг.

Фоновые прогнозы количественных показателей биомассы наиболее значимых промысловых рыб Балтийского моря (трески, сельди и шпрот), составленные на основе учета колебаний климатических и региональных внешних факторов показали возможность их увеличения в ближайшие годы. Пример прогноза трески может подтвердить прямую зависимость роста ее биомассы по мере осолонения вод в Балтике (рис. 7). В соответствии с прогнозом увеличение количества нерестовой трески будет продолжаться до 2011 г.

Что касается прогноза биомассы нерестового шпрота (рис. 7), то введение в качестве предикторов дополнительно формы S и $NAO_{об}$ позволило получить коэффициент корреляции наблюдаемых и прогностических значений, равный 0,995. Согласно фоновому прогнозу, по сравнению с максимумом биомассы шпрота в конце 90-х годов, прогнозируемые его значения будут уменьшаться, что может быть связано с возможным ростом биомассы трески и сельди, для которой шпрот служит пищей.

Несмотря на вероятность усиления затоков в Балтийское море и создание гидрологических условий, благоприятных для увеличения численности рыб, стрессовые ситуации последнего десятилетия и пока еще низкие значения биомассы рыб предполагают более осторожное отношение при использовании подобных прогнозов для планирования уловов рыбы.

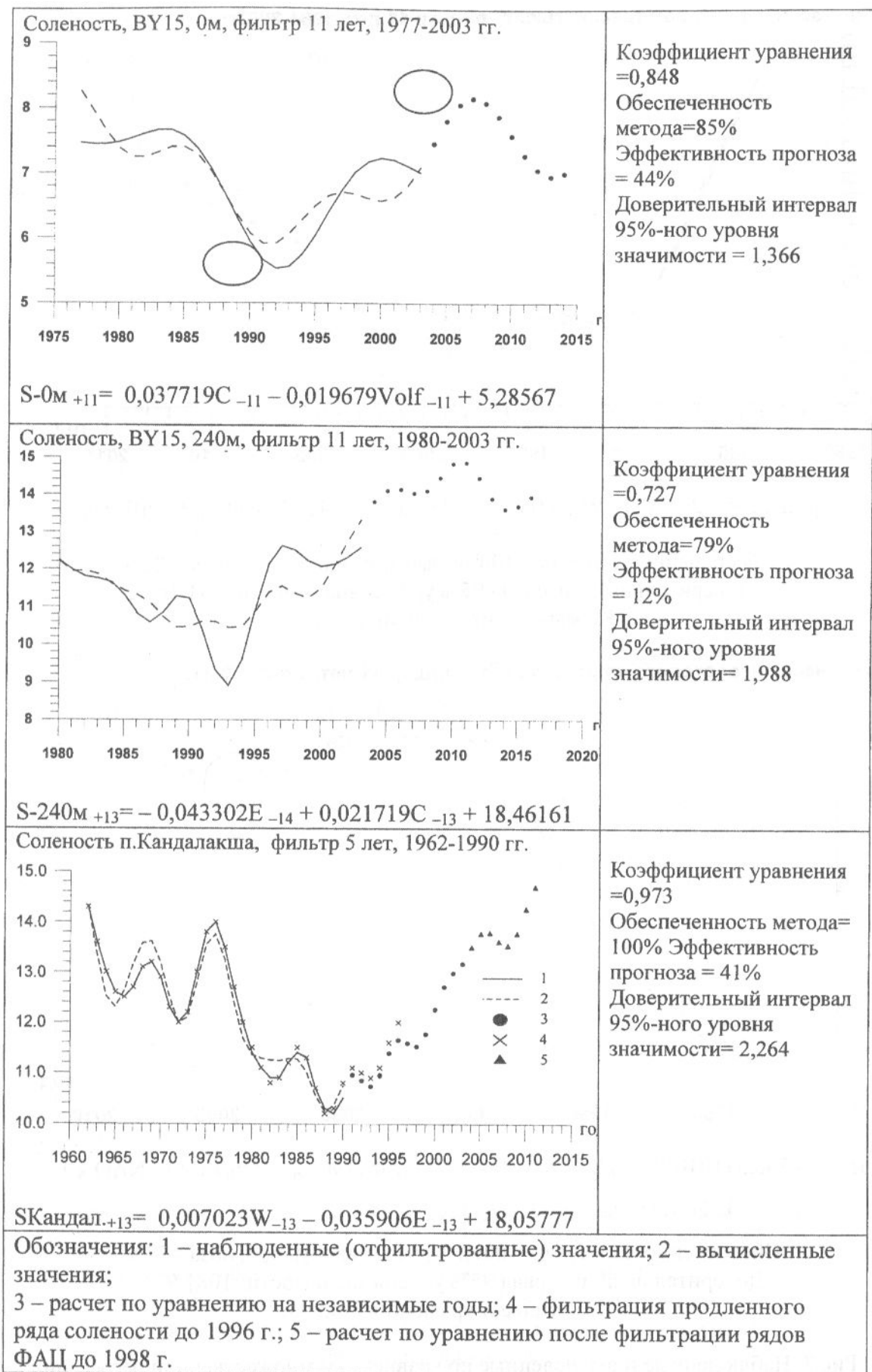
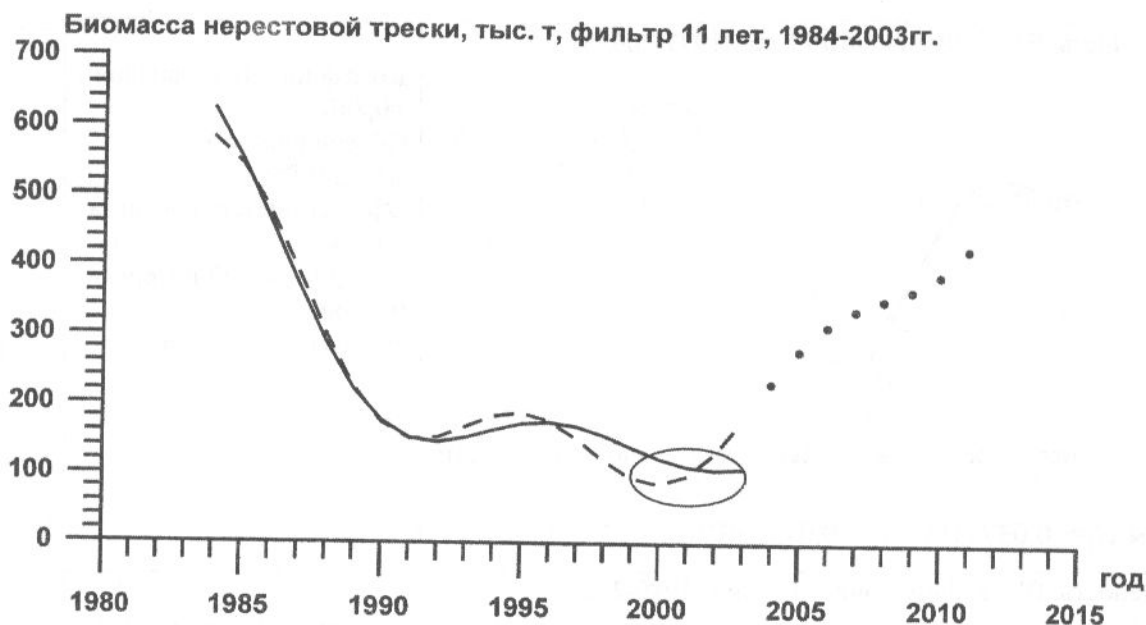


Рис.6. Наблюдаемые и вычисленные по уравнениям множественной регрессии значения солености на ст.ВУ15 на горизонтах 0 и 240 м (Балтийское море) и солености на ст. Кандалакша (Белое море).

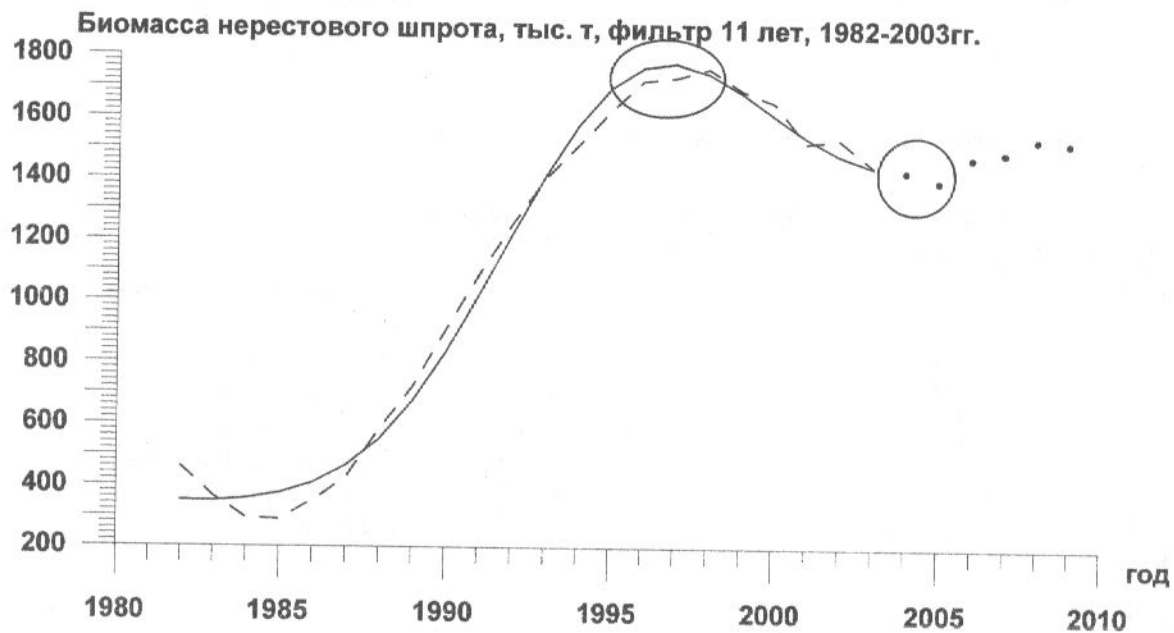


$$\text{Треска}_{+8} = -2,788697 W_{-8} - 0,422137 \text{Нева}_{-8} - 2,941297 \text{Volf}_{-10} + 1801,95469$$

Обеспеченность метода=100%. Эффективность прогноза =20%.

Доверительный интервал 95% уровня значимости=291,163.

Коэффициент уравнения = 0,984



$$\begin{aligned} \text{Шпрот}_{+6} = & -262,511916 W_{-6} - 280,336918 E_{-6} - 282,738919 C_{-6} + 226,763512 \text{NAO}_{-6} + \\ & + 0,526611 \text{Нева}_{-8} + 99053,15202 \end{aligned}$$

Обеспеченность метода=100%. Эффективность прогноза =77%.

Доверительный интервал 95% уровня значимости=1081,973.

Коэффициент уравнения = 0,995

Рис.7. Наблюденные и вычисленные по уравнениям множественной регрессии значения биомассы нерестовой трески и нерестового шпрота. Наблюденные значения - сплошная линия. Вычисленные значения - пунктир. Точки - расчет на независимые годы.

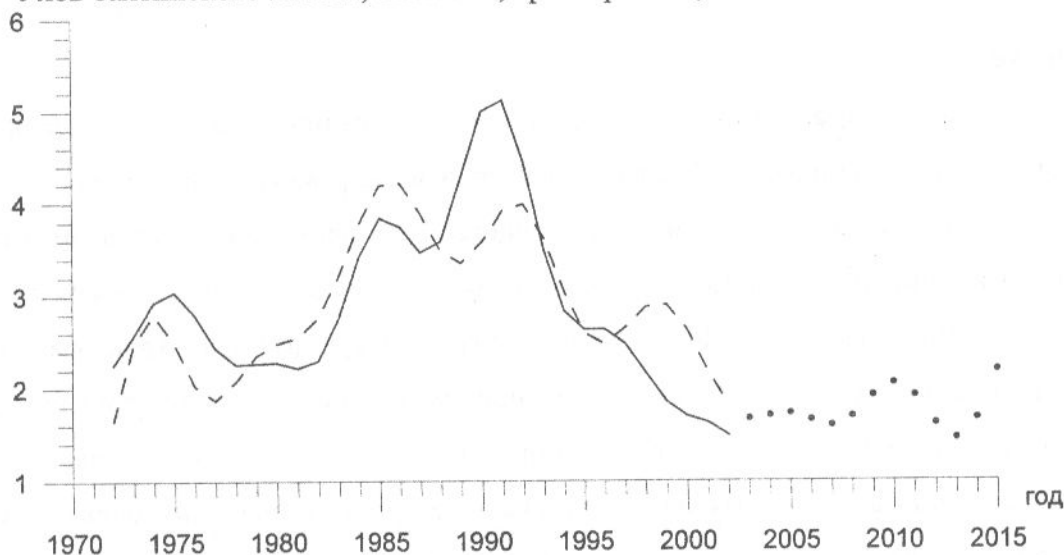
Для подтверждения факта присутствия общих закономерностей в разномасштабной изменчивости не только элементов гидрометеорологического режима, но и численности организмов, обитающих в морях северо-запада России, в заключение приводятся результаты сопоставления фоновых прогнозов численности печорской семги и уловов балтийского лосося (рис.8).



$$\text{Semga}_{+10} = 0,196067 W_{-13} - 0,176381 E_{-12} + 0,490863 C_{-10} - 0,158239 \text{Volf}_{-13} + 47,99888$$

Обеспеченность метода = 91%. Эффективность прогноза = 17%.
 Доверительный интервал для 95% уровня значимости = 46,34422.
 Коэффициент уравнения = 0,816

Улов балтийского лосося, тыс. тонн, фильтр 5 лет, 1972-2002гг



$$\text{Лосось}_{+13} = -0,014362 W_{-16} + 0,012300 E_{-15} - 0,001710 \text{Нева}_{-13} + 5,84224$$

Обеспеченность метода = 84%. Эффективность = 13%.
 Доверительный интервал 95% уровня значимости = 1,81519
 Коэффициент уравнения = 0,78

Рис.8. Наблюдаемые и вычисленные по уравнению множественной регрессии значения численности нерестовых стад печорской семги и улова балтийского лосося. Наблюдаемые значения - сплошная линия. Вычисленные значения - пунктир. Точки - расчет по уравнению на независимые годы

Для правомерности сопоставления варианты фоновых прогнозов составлялись на основе учета в качестве предикторов климатических режимообразующих факторов, общих для территории северо-запада России. Фоновый прогноз численности семги составлялся для сглаженных рядов со срезом фильтра 5 лет. В качестве предикторов были использованы три формы атмосферной циркуляции и числа Вольфа (рис.8).

Как следует из графика, фоновый прогноз показал продолжение тенденции уменьшения численности семги с начала третьего тысячелетия до 2003 г., что полностью соответствовало наблюдаемым значениям. В соответствии с прогнозом тенденция меняет знак, становится более благоприятной и численность семги должна достигнуть максимальных значений в 2008 году (до 97 тыс.штук). В дальнейшем предполагается уменьшение ее численности до 2012 года.

Фоновый прогноз уловов балтийского лосося составлялся с учетом факторного анализа для рядов, отфильтрованных так же со срезом фильтра 5 лет и с использованием в качестве предикторов западной и восточной форм атмосферной циркуляции, однако в уравнении был учтен и региональный фактор (сток р. Невы).

Результаты сопоставления прогнозов подтвердили наличие ряда общих закономерностей в ходе межгодовых изменений численности семги и лосося: так для балтийского лосося выявилась тенденция постепенного увеличения уловов до 2010 года, с последующим их снижением в течение трех лет и с вероятностью роста к 2015 году.

Заключение

В результате проведения комплексных исследований общих закономерностей разномасштабной изменчивости внешних факторов и гидрометеорологического режима Балтийского и Белого морей на основе использования стандартных и усовершенствованных методов статистического оценивания вероятностных характеристик низкочастотной фильтрации с разными срезами фильтров, факторного анализа и различных моделей множественной регрессии, а также привлечения к совместному анализу данных наблюдений за последние годы и ряда новых режимообразующих факторов (NAO и т.д.), были получены уточненные оценки степени влияния внешних факторов на колебания процессов, происходящих в морской среде.

Совместный анализ этих процессов позволил составить варианты фоновых прогнозов изменчивости элементов режима морей и численности морских организмов, а также выявить в перспективе временные интервалы с различными направлениями развития процессов, включая возможные экстремальные условия.

Необходимо отметить, что крупномасштабные атмосферные процессы оказывают влияние не только на колебания состояния характеристик морской среды, но и на

изменения основных региональных режимоформирующих факторов, к которым в первую очередь относятся такие элементы водного баланса как водообмен с сопредельными акваториями и пресный сток. По нашим оценкам наибольшее воздействие на приток вод из Северного моря в Балтику оказывают колебания повторяемости меридиональной формы атмосферной циркуляции (С). Корректировка фонового прогноза притока, полученная с учетом современных данных повторяемости формы С, показала вероятность постепенного увеличения объема приходящих вод до 2011-2012 гг.

Под влиянием колебаний атмосферной циркуляции может также меняться соотношение составляющих водного баланса. Так резкие отрицательные аномалии формы W практически одновременно отразились на уменьшении стока р. Невы: соответственно его аномалии 1996, 1997 и 2003 гг. достигали значений $-365 \text{ м}^3/\text{с}$, $-375 \text{ м}^3/\text{с}$ и $-800 \text{ м}^3/\text{с}$.

Фоновые прогнозы элементов термохалинного режима, наряду со случаями повышения температуры воды, показали для отдельных регионов Балтийского и Белого морей вероятность ее понижения, а значительное осолонение до 2011-2012 гг. возможно на большей части их акватории. Согласно прогнозам уровня, начиная с 2007-2008 гг. должна проявиться тенденция к его росту, которая продлится до 2012 г.

Фоновые прогнозы количественных показателей биомассы наиболее значимых промысловых рыб Балтики, составленные на основе учета колебаний как климатических, так и региональных внешних факторов, выявили вероятность их увеличения в ближайшие годы, в первую очередь это относится к сельди и треске.

В итоге необходимо отметить, что, несмотря на вероятность усиления затоков в Балтийское море и создания условий, благоприятных для увеличения численности рыб, стрессовые ситуации последнего десятилетия и пока еще низкие значения биомассы предполагают все же осторожное отношение при использовании результатов прогнозов для планирования уловов, а также повышения стандартов экологической безопасности рыболовства.

Литература

Арсенчук М.О., Смирнова А.И., Яковлева Н.П. Аппроксимация и восстановление годового хода уровня и элементов термохалинного режима в пределах прибрежных районов Белого моря. VIII Международная специализированная выставка и конференция «АКВАТЕРРА-2005». Санкт-Петербург. 14-16 июня 2005 г. Материалы конференции, С. 278-284.

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.2. Белое море. Вып.1. Гидрометеорологические условия./Под ред. Б.Х.Глуховского.– Л., Гидрометеиздат, 1991. – 240 с.

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.3. Балтийское море. Вып.1. Гидрометеорологические условия./Под ред. Ф.С.Терзиева, В.А.Рожкова, А.И.Смирновой.– СПб, Гидрометеоздат, 1992. – 450 с.

Доклад об основных результатах научных рыбохозяйственных исследований в 2004 году. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Федеральное агентство по рыболовству. М., 2005. – 596 с.

Смирнов Н.П., Воробьев В.Н., Кочанов С.Ю. Северо-Атлантическое колебание и климат. – СПб.: Изд.РГГМУ, 1998. – 122 с.

Смирнова А.И., Яковлева Н.П., Колесниченко Н.Н., Гольник Я.М.. Особенности долгопериодных колебаний элементов гидрологического режима Белого моря, тенденции их развития за исторический период, на современном этапе и в перспективе. Материалы VII международной конференции «Проблемы изучения рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря». Спб, 1998.– С. 32-36.

Смирнова А.И., Терзиев Ф.С., Арсенчук М.О., Яковлева Н.П. Общие закономерности изменчивости гидрометеорологического режима Балтийского и Белого морей. Метеорология и гидрология № 11, М. Издательский центр «Метеорология и гидрология», 2000.– С.62-72.

Смирнова А.И., Арсенчук М.О., Минина Н.И., Ерофеева Е.С. Выявление общих особенностей в разномасштабной изменчивости режимоформирующих факторов, элементов режима и организмов, обитающих в морской среде, составление фоновых прогнозов гидрологических характеристик и численности лососевых рыб морей северо-запада России. VII Международная специализированная выставка и конференция «АКВАТЕРРА-2004». Санкт-Петербург. 15-17 июня 2004 г. Сборник материалов по конференции, С.216-220.

Смирнова А.И., Арсенчук М.О., Яковлева Н.П., В.П.Антонова, Л.Г.Антонов. Учет влияния климатических и региональных гидрометеорологических режимообразующих факторов при составлении прогнозов численности лососевых рыб. Труды ГОИН. Выпуск 210 «Исследования океанов и морей», М. Изд. «Артифекс», 2007.–С.300-317.