

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.  
Материалы IX международной конференции  
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия  
Петрозаводск, 2005. С. 285-291.

## ОБЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ В ИЗМЕНЧИВОСТИ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМООБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРОВ, ЭЛЕМЕНТОВ МОРСКОЙ СРЕДЫ БЕЛОГО МОРЯ И ЧИСЛЕННОСТИ ЛОСОСЕВЫХ РЫБ, СОСТАВЛЕНИЕ ФОНОВЫХ ПРОГНОЗОВ

А.И. СМИРНОВА<sup>1</sup>, Н.И. МИНИНА<sup>1</sup>, Н.П. ЯКОВЛЕВА<sup>2</sup>, В.П. АНТОНОВА<sup>3</sup>, Л.Г. АНТОНОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургское отделение Государственного океанографического института Росгидромета, С. Петербург

<sup>2</sup> Арктический и антарктический НИИ Росгидромета, Москва

<sup>3</sup> Северное отделение Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (СевПИНРО), Архангельск

Исследования разномасштабной изменчивости гидрометеорологического режима прибрежных районов северо-западных морей в последние годы были существенно дополнены за счет рассмотрения современных особенностей колебаний элементов режима Белого моря, анализа изменчивости термохалинных характеристик в глубоководных районах, привлечения материалов по численности лососевых рыб и составления их фоновых прогнозов.

Анализ тенденций колебаний перечисленных процессов на историческом временном интервале позволил выявить аналогичные закономерности в межгодовой изменчивости элементов режима северо-западных шельфовых морей и в изменениях численности лососевых рыб. Выделенные особенности, подтвержденные корреляционными и спектральными оценками, определили выбор общеклиматических и однотипных региональных режимообразующих факторов, формирующих эти закономерности.

При комплексном исследовании общих закономерностей в межгодовой и долгопериодной изменчивости процессов использовались методы статистического оценивания вероятностных характеристик, а для выявления общих тенденций в колебаниях элементов гидрометеорологического режима и лососевых рыб была применена низкочастотная фильтрация с различными срезами фильтра. В результате применения многофакторного анализа были выявлены основные режимообразующие факторы, а модели множественной и авто – регрессий использовались для оценки тенденций на перспективу и при составлении фоновых прогнозов.

**A.I. Smirnova, N.I. Minina, N.P. Jakovleva, V.P. Antonova, L.G. Antonov. General trends in the variability of global climatic and regional regime-forming factors, elements of sea environment in the White Sea and quantity of salmon fishes, making background prognoses** // The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea. Proceedings of the IXth International Conference, October, 11-14, 2004. Petrozavodsk, Karelia, Russia. Petrozavodsk, 2005. P. 285-291.

The general regularities have been revealed in different-scale variability of hydrometeorological regime parameters in the White and Barents Seas, quantity of organisms living in seas, climatic and regional external factors. General trends in variations of sea parameters and regime-forming factors have been confirmed by the estimations of spectral density and correlation functions. Similar tendencies in variations of external factors and parameters of sea environment, where marine organisms (including salmon fishes) live, which were obtained from the results of joint analysis, allowed defining the main regime-forming processes affected indirectly changes in their quantity. Optimal equations have been chosen from the results of multi-factors analysis to calculate background forecasts of salmon quantity in the river Pechora and in the White Sea. The estimation of forecast accuracy confirmed the correctness of suggested method.

Исследования разномасштабной изменчивости гидрометеорологического режима прибрежных районов северо-западных морей (в том числе Белого моря), результаты которых были доложены на XI Конференции по промысловой океанографии и VIII Региональной конференции по Белому морю (Смирнова и др., 1999; 2001), в последние годы были существенно дополнены и расширены за счет рассмотрения современных особенностей колебаний элементов режима Белого моря, анализа изменчивости термохалинных характеристик в глубоководных рай-

онах, привлечения материалов по численности лососевых рыб и составления их фоновых прогнозов.

При постановке задачи учитывалось, что, с одной стороны, крупномасштабные изменения режима морских акваторий и жизнедеятельности организмов, обитающих в морской среде, развиваются на общеклиматическом и геофизическом фоне, а с другой – зависят от ряда региональных внешних факторов.

Анализ тенденций колебаний перечисленных процессов на историческом временном интервале, включающем современный этап, позволил выявить

аналогичные закономерности в межгодовой изменчивости элементов режима северо-западных шельфовых морей, и как следствие, – в изменениях численности лососевых рыб. Выделенные особенности, подтвержденные корреляционными и спектральными оценками, определили выбор общеклиматических и однотипных региональных режимообразующих факторов, формирующих эти закономерности.

К глобальным факторам относятся атмосферные процессы над Атлантико-Европейским сектором Северного полушария (западная W, восточная E и меридиональная S формы циркуляции) и показатель солнечной активности (числа Вольфа).

К числу региональных внешних процессов Белого моря принадлежит сток основных рек или суммарный сток, а для организмов, обитающих в морской среде, к таким формирующим процессам можно отнести термический режим. Учитывая, что морская среда одновременно является и средой обитания лососевых рыб, выделенные режимообразующие факторы могут воздействовать опосредованно и на изменчивость их численности. В качестве объекта исследований были выбраны:

- печорская семга, в связи с наличием длинных временных рядов и особенностей ее жизненного цикла, в течение которого она проходит «речную» стадию, мигрирует через Баренцево море в Атлантический океан и возвращается на нерест в реку Печору, испытывая, таким образом, на себе влияние тех же глобальных и региональных внешних факторов, которые формируют колебания режима шельфовых морей;
- семга Терского берега, временные ряды которой составляют уловы как по отдельным речкам, так и в целом по всему берегу (Мельникова, 1966). К сожалению, для анализа использовались материалы послевоенных лет – за 1940-е – 60-е годы.

При комплексном исследовании общих закономерностей в межгодовой и долгопериодной изменчивости процессов использовались методы статистического оценивания вероятностных характеристик, а для выявления общих тенденций в колебаниях элементов гидрометеорологического режима и лососевых рыб была применена низкочастотная фильтрация с различными срезами фильтра. В результате применения многофакторного анализа были выявлены основные режимообразующие факторы, а модели множественной и авто – регрессий использовались для оценки тенденций на перспективу и составления фоновых прогнозов.

Оценки современных особенностей режима солености прибрежных районов Белого моря за 1980-е – 90-е годы показали, что, несмотря на ее низкие значения на южных, юго-восточных и частично восточных станциях, средние величины солености за эти годы превышают «норму» на 0,33–1,77‰. В Горле, на северном берегу и в северо-западных районах моря в 1990-х годах сохранялся низкий уровень солености, причем, если в Чаваньге ее значения

были близки к «норме», то при продвижении к западу соленость была ниже «нормы» (от -0,24 до -0,92‰).

Особенности режима солености в глубоководных районах летом в поверхностных горизонтах имеют разнонаправленные тенденции в различных районах моря. В водах, поступающих из Баренцева моря, уровень солености продолжал оставаться ниже «нормы» на 0,10–0,30‰, а в Горле – на 0,5‰. В центральных районах, ближе к западному и восточному берегам, в 1990-е годы средняя соленость была выше «нормы» на 0,10–0,36‰, однако, в районе центральной глубоководной впадины, водные массы которой формируются за счет поступающих баренцевоморских вод, соленость продолжала быть ниже «нормы», в отдельных случаях до 2,0‰ и более. На нижней границе термоклина летний сезон 1990-х годов, практически, на всей акватории характеризовался величинами солености ниже «нормы».

Температурный режим прибрежных акваторий Белого моря в 1980 – 90-е годы, благодаря наличию высоких значений температуры воды в конце 1980-х годов, несмотря на изменение знака тенденций ее колебаний в начале 1990-х годов, продолжает сохранять положительные аномалии, которые достигают наибольших значений, до 0,4°C, в южных районах.

Наличие общих особенностей в межгодовой изменчивости элементов режима, внешних факторов и численности лососевых рыб, обитающих в Белом и Баренцевом морях, подтверждается результатами совместного анализа их спектральных и корреляционных оценок (Рис. 1). Для коррелограмм режимообразующих факторов, элементов термохалинного режима и численности печорской и беломорской семги характерно постепенное их затухание и значительный радиус корреляции, достигающий нескольких лет, а для атмосферных процессов – превосходящий 10 лет, что свидетельствует о значительном влиянии на изменчивость исследуемых процессов их предыстории.

Спектральные оценки перечисленных процессов характеризуются высоким вкладом низкочастотных составляющих в межгодовую изменчивость. Смещение энергетических максимумов спектральных характеристик климатических и региональных режимообразующих факторов в сторону низких частот подтвердило вероятность их существенного влияния на формирование особенностей долгопериодной изменчивости элементов режима морских акваторий.

Экспертные оценки направленности колебаний внешних факторов, термохалинных характеристик и численности семги показали наличие однонаправленных трендов (с некоторым опережением по времени режимообразующих процессов) в ходе их изменчивости на всем историческом интервале и на современном этапе, включая смену знаков тенденций и близкое по времени расположение экстремумов (Рис. 2).

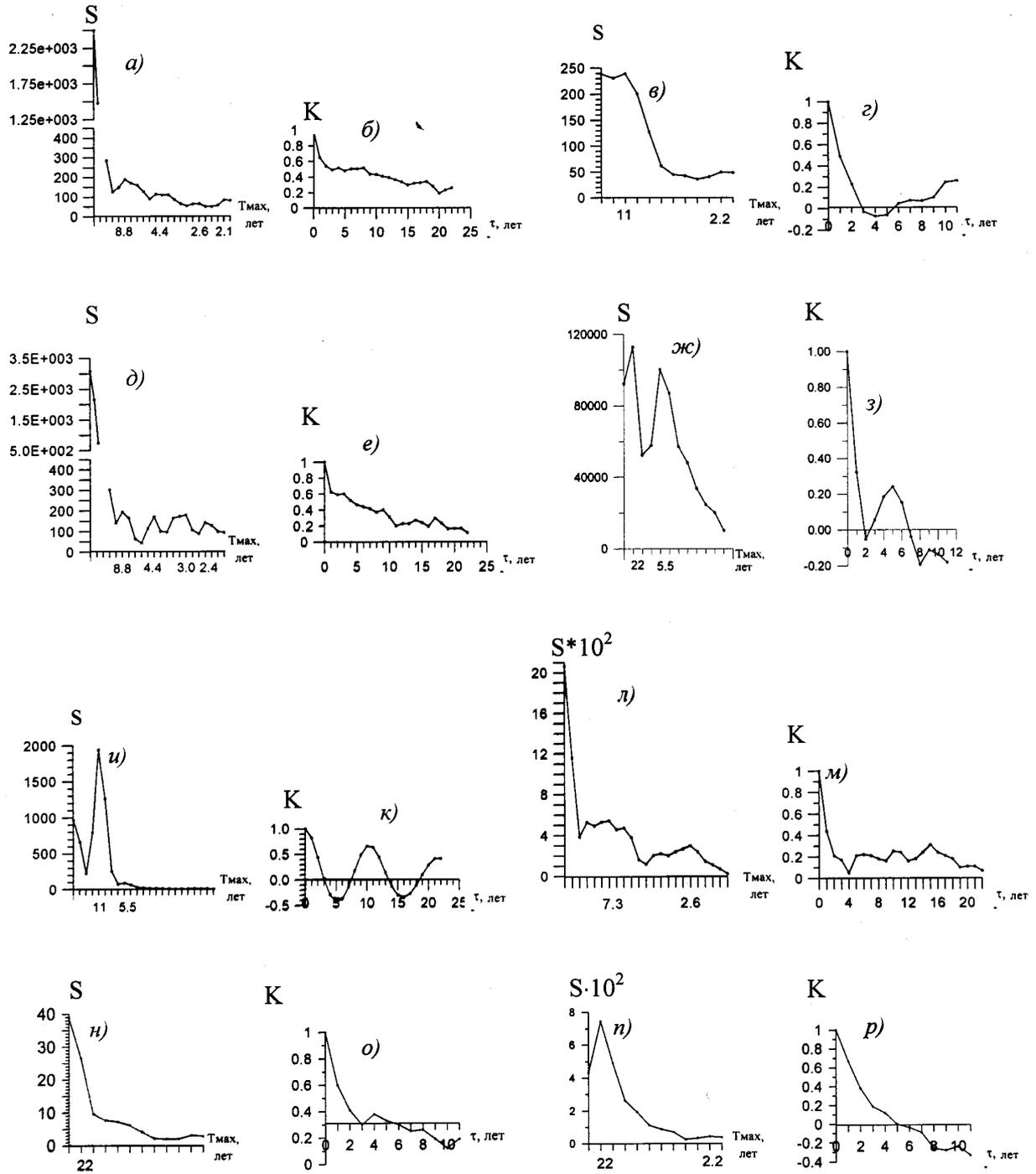


Рис. 1. Оценки спектральной плотности  $S(a, в, д, ж, л, н, р)$  и корреляционных функций  $K(б, г, е, з, к, м, о, р)$  режимобразующих факторов и численности нерестовых стад семги: форма атмосферной циркуляции  $W$  ( $a, б$ ); форма атмосферной циркуляции  $E$  ( $д, е$ ); числа Вольфа ( $и, к$ ); численность нерестовых стад печорской семги ( $в, г$ ); среднемесячные расходы р. Северная Двина ( $ж, з$ ); относительные величины аномалии температуры воды в слое 0-200м на разрезе «Кольский меридиан» ( $л, м$ ); соленость на ст. Жижгин ( $н, о$ ); соленость на ст. 124, дно, август ( $п, р$ ).

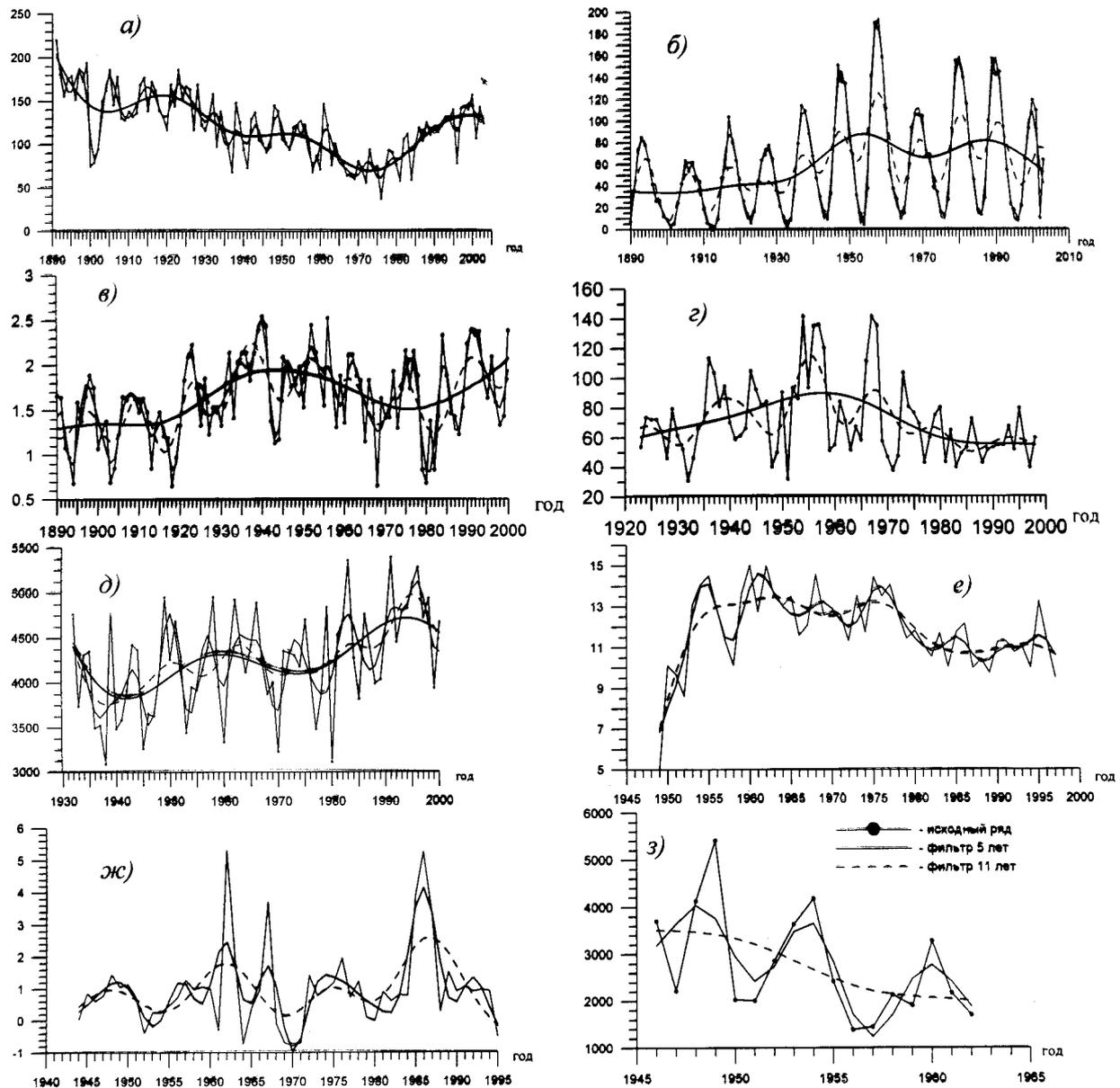


Рис. 2. Среднегодовые и отфильтрованные с различными срезами значения режимобразующих факторов элементов режима Белого и Баренцева морей и лососевых рыб:

а) повторяемость западной формы циркуляции W (сут); б) числа Вольфа; в) аномалии температуры воды в слое 0-200 м на разрезе "Кольский меридиан" (относительные величины); г) численность печорской семги (тыс.шт.); д) сток р.Печоры ( $m^3/c$ ); е) соленость п. Кандалакша; ж) температура воды, ст.9, Белое море, гориз.80 м, октябрь; з) улов семги в целом по Белому морю (ц, Терский берег)

Однонаправленные тренды межгодовой изменчивости температуры воды прибрежных и глубоководных районов Белого и Баренцева морей во второй половине XX-го века имеют два длительных временных интервала уменьшения и последующего ее роста. В начале 90-х годов имел место режим, близкий к квазистационарному, со слабой тенденцией падения температуры. Длительное распреснение, начавшееся на морях северо-запада России в 60-х - 70-х годах, в конце XX века сменилось увеличением

солености, что хорошо согласуется с наметившимся падением речного стока.

К числу внешних факторов, вид межгодовой изменчивости которых наиболее близок к ходу колебаний численности печорской семги, можно отнести повторяемость меридиональной формы атмосферной циркуляции и относительные аномалии температуры воды на разрезе «Кольский меридиан», с определенным опережением по времени последних.

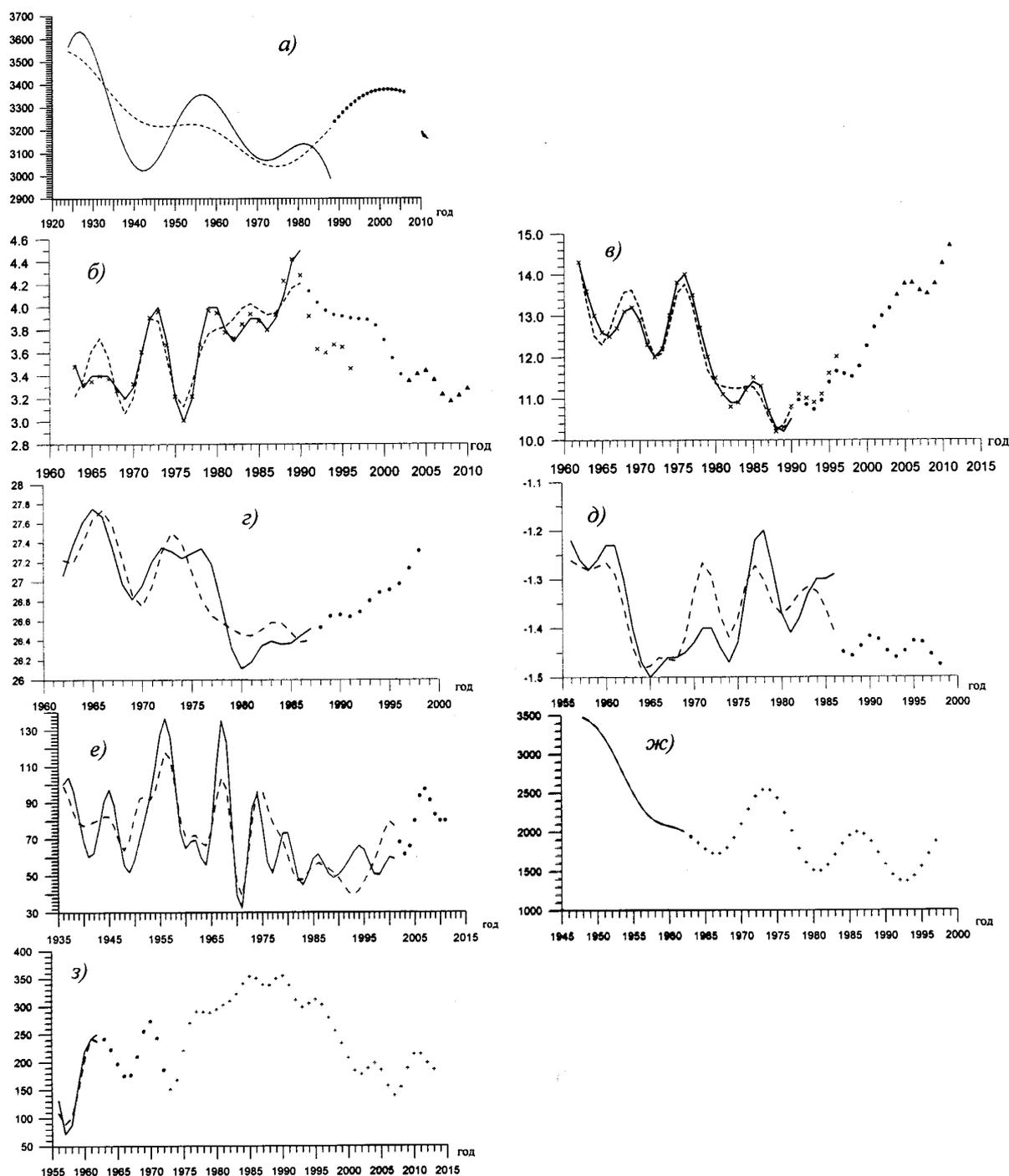


Рис. 3. Наблюдаемые и вычисленные по уравнениям регрессии прогностические тенденции колебаний региональных режимоформирующих факторов, элементов термохалинного режима Белого моря и численности лососевых рыб

Фактические (отфильтрованные) значения – сплошная линия; вычисленные значения – пунктир; расчет по уравнениям на независимые годы – точки, кресты и т.д.

а) сток р. Северная Двина (куб.м), фильтр 30 лет; б) температура воды у п. Кандалакша, фильтр 5 лет; в) соленость воды у п. Кандалакша, фильтр 5 лет; г) соленость на ст.124, октябрь, 0 м; д) температура воды на ст.124, август, дно, фильтр 5 лет; е) численность печорской семги (тыс.шт.), фильтр 5 лет; ж) семга Белого моря, прогноз суммарного улова(ц), фильтр 11 лет; з) семга Белого моря, прогноз по п. Чаваньга, фильтр 5 лет.

Таблица 1. Взаимнокорреляционные функции между численностью нерестовых стад печорской семги (тыс. штук) и западной (W), восточной (E) и меридиональной (C) формами атмосферной циркуляции, числами Вольфа и стоком р. Печора, при различных срезях 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), 1923-2003, фильтр 5 лет																
W	-0,24	-0,14	-0,08	-0,07	-0,02	0,06	0,12	0,10	0,01	-0,03	0,07	0,30	0,50	0,53	0,38	0,20
E	0,11	0,07	-0,02	-0,11	-0,18	-0,18	-0,15	-0,13	-0,17	-0,29	-0,46	-0,61	-0,66	-0,61	-0,49	-0,38
C	0,15	0,08	0,14	0,27	0,31	0,21	0,08	0,07	0,26	0,50	0,63	0,55	0,37	0,26	0,27	0,33
Числа Вольфа	0,16	-0,10	-0,31	-0,36	-0,26	-0,06	0,15	0,31	0,38	0,35	0,17	-0,12	-0,39	-0,50	-0,40	-0,15
Сток р. Печора 1932-2003 гг	-0,31	-0,19	-0,12	-0,11	-0,12	-0,13	-0,17	-0,24	-0,29	-0,27	-0,20	-0,13	-0,15	-0,24	-0,30	-0,25
Численность нерестовых стад печорской семги (тыс. штук), 1923-2003, фильтр 11 лет																
W	-0,33	-0,27	-0,21	-0,15	-0,08	0,00	0,07	0,14	0,21	0,28	0,34	0,39	0,44	0,48	0,52	0,54
E	0,05	0,04	0,01	-0,03	-0,09	-0,17	-0,27	-0,39	-0,50	-0,61	-0,70	-0,76	-0,80	-0,80	-0,77	-0,72
C	0,38	0,32	0,28	0,25	0,26	0,29	0,36	0,45	0,55	0,64	0,71	0,74	0,73	0,67	0,57	0,45
Числа Вольфа	0,27	0,16	0,07	0,01	-0,01	0,01	0,05	0,09	0,11	0,09	0,03	-0,05	-0,13	-0,20	-0,24	-0,24
Сток р. Печора 1932-2003 гг	-0,52	-0,48	-0,44	-0,40	-0,38	-0,37	-0,37	-0,37	-0,38	-0,39	-0,40	-0,41	-0,42	-0,43	-0,44	-0,46
Численность нерестовых стад печорской семги (тыс. штук), 1923-2003, фильтр 30 лет																
W	-0,35	-0,28	-0,22	-0,15	-0,08	-0,01	0,05	0,12	0,19	0,25	0,32	0,38	0,44	0,50	0,56	0,62
E	-0,03	-0,11	-0,18	-0,25	-0,33	-0,40	-0,46	-0,53	-0,59	-0,65	-0,70	-0,75	-0,79	-0,83	-0,86	0,89
C	0,71	0,75	0,78	0,81	0,83	0,85	0,87	0,88	0,89	0,88	0,88	0,86	0,84	0,81	0,77	0,72
Числа Вольфа	0,37	0,33	0,29	0,26	0,22	0,18	0,13	0,09	0,04	-0,01	-0,06	-0,12	-0,17	-0,23	-0,29	-0,35
Сток р. Печора 1932-2003 гг	-0,68	-0,65	-0,63	-0,61	-0,60	-0,59	-0,58	-0,58	-0,58	-0,58	-0,58	-0,58	-0,58	-0,58	-0,57	-0,55

Тенденция межгодовой изменчивости уловов семги в целом по Терскому берегу Белого моря, с 1950-го года, практически совпадает с явным падением численности печорской семги до 60-х годов включительно. Таким образом, можно сделать вывод об однонаправленном воздействии на них глобальных внешних факторов.

Фоновые прогнозы региональных режимобразующих факторов Белого моря составлялись на основе анализа климатических факторов. При расчете прогностических тенденций стока рек, в частности Северной Двины (Рис. 3а), высокие оценки взаимнокорреляционных функций (0,8–0,9) подтвердили правомерность выбора внешних факторов. Согласно прогностическим оценкам тенденции к уменьшению речного стока в XX веке (отмеченные также и для рек водосборного бассейна Балтийского моря), формирующие современные особенности изменчивости элементов морской сред, могут сохраниться до 2005–2008 годов.

Коэффициенты корреляции уравнений множественной регрессии для различных элементов режима моря могут колебаться от 0,80 до 0,95; обеспеченность метода – от 80 до 100%, а эффективность – от 20 до 60%. Намечившаяся в 90-х годах тенденция к понижению температуры воды в прибрежных и глубоководных районах Белого моря (Рис. 3б, д) подтвердилась прогностическими расчетами, которые показали вероятность дальнейшего уменьшения температуры в начале третьего тысячелетия с некоторым замедлением его интенсивности. Осолонение вод, имевшее место также с начала 90-х годов, согласно прогностическим расчетам, может сохраниться и в XXI веке, как в прибрежных, так и в глубоководных районах (Рис. 3 в, г).

При выборе оптимальных вариантов уравнений множественной регрессии для составления фоновых прогнозов численности семги были использованы результаты взаимнокорреляционного анализа численности нерестовых стад семги ( $N_S$ ) и режимооб-

разующих факторов, временные ряды которых были отфильтрованы со срезами 30, 11 и 5 лет для печорской семги (Табл. 1) и 11 и 5 лет – для беломорской.

Для вариантов сильного сглаживания корреляционные оценки могут достигать значительных величин (0,90–0,99).

Наиболее приближены к натурным данным временные ряды со срезом 5 лет, в качестве примера приведен вариант фонового прогноза печорской семги (Рис. 3е) с использованием в качестве предикторов только климатических режимообразующих внешних факторов. Коэффициент уравнения равен 0,82; обеспеченность метода 91%; эффективность прогноза 17%. Фоновый прогноз на независимые годы показал продолжение тенденций уменьшения  $N_S$ , начавшегося в 2001 г. до 2003 г., что полностью подтвердилось в последующем по данным наблюдений. В дальнейшем, согласно прогнозам, тенденция меняет знак, становясь более благоприятной, и численность печорской семги может достигнуть максимальных значений в 2006–2008 гг. (до 97 тыс. шт).

Что касается прогнозов улова семги на Терском берегу Белого моря, то для расчета суммарного улова использовались в качестве предикторов три формы атмосферной циркуляции, числа Вольфа и сток реки Онеги. При составлении прогнозов на независимые годы на конец XX-го века в уравнении использовались их современные значения (Рис. 3ж). Для расчета перспективных тенденций в пункте Ча-

ваньга в качестве предикторов были использованы только повторяемость восточной и меридиональной форм атмосферной циркуляции (Рис. 3з). Расчеты на независимые годы показывают длительную тенденцию к уменьшению уловов в конце XX-го века, их стабилизацию в начале XXI-го века и возможное увеличение после 2006 г.

### Литература

- Мельникова М.Н. 1966. Семга Терского берега Белого моря. // В кн.: Рыбы Мурманской области. Мурманск. С. 152-168.
- Смирнова А.И., Яковлева Н.П., Терзиев Ф.С., Колесниченко Н.Н. 1999. Общие закономерности долгопериодной изменчивости гидрометеорологического режима северо-западных морей России, тенденции ее развития за исторический период, на современном этапе и в перспективе (на примере Белого и Балтийского морей) // Тез. докл. 9-й Всероссийской конференции по промысловой океанологии. Калининград, 14-18 сентября, 1999. Москва, ВНИРО. С. 43-44.
- Смирнова А.И., Терзиев Ф.С., Яковлева Н.П., Арсенчук М.О. 2001. Закономерности разномасштабной изменчивости элементов гидрометеорологического режима Белого моря, фоновые оценки их колебаний на современном этапе // Тез. докл. 8-й Региональной научно-практической конференции «Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря». Беломорск, 16–18 апреля 2001 г. Архангельск. С. 22-29.