

Гидрометеорология и экология. 2026. № 82. С. 54—74.  
Hydrometeorology and Ecology. 2026;(82):54—74.

## ***ОКЕАНОЛОГИЯ***

---

Научная статья  
УДК 551.46:597.4(1-13)  
doi: 10.33933/2713-3001-2026-82-54-74

### **Влияние крупномасштабных изменений в атмосфере и океане на состояние запасов тресковых рыб Северного полушария. Часть I. Северная Атлантика**

***Андрей Сергеевич Кровнин, Сергей Петрович Мельников,  
Георгий Петрович Мурый***

Государственный научный центр Российской Федерации федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («ВНИРО»), akrovnin@vniro.ru

*Аннотация.* Приведены результаты оценки влияния крупномасштабных изменений в атмосфере и океане на состояние запасов тресковых рыб в североатлантическом регионе за период с 1946 г. по 2024 г. На основе метода главных компонент выделены группы рыбных запасов и физических параметров с идентичным характером многолетней изменчивости. Показано, что синхронное влияние одного или группы взаимосвязанных (дальние связи «атмосфера — океан») крупномасштабных климатических факторов обуславливает наличие как трансокеанических статистических связей в колебаниях численности пополнения между северо-западными и северо-восточными запасами тресковых рыб, так и региональных связей у близко расположенных запасов.

*Ключевые слова:* Северная Атлантика, тресковые рыбы, климатические индексы, дальние связи, метод главных компонент.

*Для цитирования:* Кровнин А. С., Мельников С. П., Мурый Г. П. Влияние крупномасштабных изменений в атмосфере и океане на состояние запасов тресковых рыб Северного полушария. Часть I. Северная Атлантика // Гидрометеорология и экология. 2026. № 82. С. 54—74. doi: 10.33933/2713-3001-2026-82-54-74.

Original article

## **Impact of the large-scale variations in the atmosphere and ocean on state of gadid stocks in the Northern Hemisphere. Part 1. The North Atlantic**

*Andrei S. Krovnin, Sergei P. Melnikov, Georgy P. Moury*

State Science Center of the Russian Federation Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»)

*Summary.* The gadid stocks in the North Atlantic (NA) undergo the considerable long-term and inter-annual variability due to climate change and variations. The aim of this work is to study spatiotemporal relationships between their recruitment abundance and various large-scale climatic factors in order to improve the long-term forecasts of the stock state. Data on recruitment abundance for 11 cod, 5 haddock, and 4 saithe stocks have been used. The principal component analysis (PCA) was applied to total 53 time series of recruitment abundance and various oceanic and atmospheric indices. The calculations were performed for the period of 1984—2013. Based on PCA method, the groups of gadid stocks and physical parameters with similar character of multi-year variability were identified. It was shown that recruitment dynamics of most gadid stocks was associated with the main modes of climatic variability, such as Atlantic multidecadal oscillation and North Atlantic oscillation. This climatic modes determine, in particular, the opposite relationships of recruitment abundance variations between the northwestern and northeastern gadid stocks in the North Atlantic ocean. The relationships revealed may be explained partly by biological reasons, in particular, by absence of complete reproductive isolation of stocks of the same species, with extensive larval transfer between spawning grounds located in the adjacent areas and migrations of maturing individuals. The results obtained can be used as a scientific basis for predicting the long-term dynamics of gadid stock state and abundance.

*Keywords:* North Atlantic, gadid stocks, climatic indices, teleconnections, principal component analysis.

*For citation:* Krovnin A. S., Melnikov S. P., Moury G. P. Impact of the large-scale variations in the atmosphere and ocean on state of gadid stocks in the Northern Hemisphere. Part 1. The North Atlantic *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2026;(82):(54—74). doi: 10.33933/2713-3001-2026-82-54-74. (In Russ.).

### **Введение**

Тресковые рыбы семейства Gadidae широко распространены в большинстве районов континентального шельфа северной части Атлантического океана. Популяции таких видов тресковых рыб как атлантическая треска, пикша и сайда успешно адаптировались к обитанию в районах с различными условиями окружающей среды и сложным набором экологических факторов. В силу своей массовости и доступности для рыболовства, тресковые рыбы являются одними из наиболее распространенных промысловых видов в Северном полушарии, обладая высоким коммерческим и социальным значением для экономики целого ряда прибрежных государств. Статистические данные Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций (ФАО) со второй половины XX в. демонстрируют значительную изменчивость в уловах массовых видов тресковых

по годам и районам промысла [1]. В северной части Атлантического океана наиболее высокие уловы в объеме 4,1—5,1 млн т отмечались в конце 1960 г. — начале 1970 г., упав до минимума в 1,5 млн т к началу 2000 гг., и вновь возросли до 2 млн т в последнее десятилетие. Затем на протяжении двух десятилетий уловы последовательно снижались до 2,8—3,2 млн т и постепенно увеличивались до 4,0 млн т в последнее десятилетие. При этом во всех промысловых районах океана динамика вылова тресковых в указанные периоды носила нелинейный характер с чередованием в отдельные годы высоких и низких значений уловов.

Резкое падение уловов после их пиковых значений неизбежно ведет не только к прямому снижению доходов от рыболовства и переработки биоресурсов, но и зачастую катастрофически влияет на социальные показатели и структуру прибрежных сообществ [2—6]. Безусловно, рыболовство играет заметную роль в динамике запасов водных биологических ресурсов, в том числе и запасов тресковых. Проведенные исследования показывают, что, помимо изменения численности рыб, чрезмерная промысловая эксплуатация через избирательное нарушение структуры и качества родительского стада ведет к снижению воспроизводительной способности многих популяций тресковых [7, 8]. Отметим, что еще со времен классической работы Й. Хьорта [9] многие ученые уделяли особое внимание изучению разнообразных аспектов естественной изменчивости в динамике популяций. В рамках этого направления большое количество публикаций было посвящено проблемам влияния изменений условий окружающей среды и климата на распределение и численность промысловых рыб [10—21].

Большой вклад в изучение взаимодействия между окружающей средой и биотой в океане внес Г. К. Ижевский [22, 23]. На основе всеобщей взаимосвязи природных процессов им была разработана концепция «природных систем», которые представляют собой сложный комплекс взаимодействия физических и биологических процессов, происходящих на Земле. По мнению Г. К. Ижевского, внутри природных систем совокупность всех процессов протекает однонаправленно, в то время как в соседних системах — в противофазе. В основе долговременных изменений системного характера в Северном полушарии он выделял роль приливных сил с периодичностью от 5 до 19 лет, колебания которых преобразуют состояние атмосферы и гидросферы.

Происходящие изменения в динамике и теплосодержании вод через системные связи в итоге влияют и на биологическую продуктивность водоемов. Для различных районов Северной Атлантики были выделены факторы, в наибольшей степени влияющие на уровень продукции: среднегодовая температура воды на реперных разрезах, запас тепла, ледовитость, сток рек, биомасса кормового зоопланктона. В отношении атлантической трески свой подход Г. К. Ижевский подтверждал наблюдаемой динамикой ее запасов в двух соседних природных системах — Гренландско-Североамериканской и Атлантической. У запасов трески Западной Гренландии, Ньюфаундленда и Исландии отмечалась положительная корреляция в численности их пополнения с одновременными колебаниями в противофазе с треской Норвежского и Баренцева морей. Сходные результаты отмечались и другими исследователями, когда в этих двух природных системах

отмечалась противофазность в динамике запасов североморской и западногренландской трески [24]. В то же время существует целый ряд публикаций, где указывается на отсутствие противофазности в появлении урожайных поколений тресковых между удаленными районами Северной Атлантики, либо на отсутствие там какой-либо корреляции в динамике численности пополнения запасов даже в соседних областях [25—30].

Со временем становилось все очевидней, что, несмотря на широкую естественно-научную значимость идей Г. К. Ижевского, необходимо дальнейшее продолжение поиска разнообразных путей и подходов к изучению природы долгопериодной изменчивости окружающей среды и ее воздействия на популяции промысловых рыб [31]. Со второй половины XX столетия ученые уделяют большое внимание вопросам рассмотрения влияния термического режима вод на воспроизводство и распределение запасов тресковых рыб, что приобретало особую актуальность в условиях отмечаемых климатических изменений. По результатам многочисленных исследований было показано, что температура воды как один из основных факторов регулирования физиологических процессов у рыб оказывает существенное влияние на формирование пополнения запасов атлантической трески [32—37]. Как правило, в периоды потепления в северной части ареала этого вида отмечается рост численности пополнения запасов, в то время как в холодные годы формируются преимущественно бедные поколения рыб [27, 38]. При этом различные популяции трески по-разному реагируют на температурные колебания. В местах распределения запасов со среднегодовой придонной температурой воды менее 5,0 °C численность пополнения с ростом температуры увеличивается, а более 8,5 °C — уменьшается. В температурном диапазоне 5,0—8,5 °C в периоды потепления и похолодания колебания в пополнении запасов незначительны [39]. Моделирование биологических изменений климата показывает, что повышение температуры воды в Северной Атлантике на 3 °C в местах обитания тепловодных запасов трески приведет к снижению приемной емкости среды на 30 %. В Баренцевом море потепление воды на 1—4 °C вызовет увеличение пополнения запаса трески и скорости ее роста при одновременном снижении темпов полового созревания [40].

В ряде случаев между удаленными районами в Северном полушарии выявлены тесные связи в долгопериодной изменчивости запасов промысловых рыб, в том числе и тресковых. Например, устойчивые противофазные колебания демонстрируют запасы тихоокеанской и атлантической сельди [41]. По данным других исследователей, различия в многолетних климатических режимах в Северо-Восточной Атлантике и Беринговом море влияют на разнонаправленность в динамике запасов тресковых рыб этих регионов [28, 42—44]. Так, в теплый для Северо-Восточной Атлантики период в первой половине 1970 гг. отмечался существенный рост пополнения запаса аркто-норвежской трески. В эти же годы, характеризующиеся как холодные, в восточной части Берингова моря пополнение минтая было относительно слабым в сравнении с теплыми 1960 гг.

С. Н. Родионовым [45] была рассмотрена концепция «биологических дальних связей» на основе анализа годовых классов 10 запасов трески в Северной Атлантике и сопредельных арктических морях. Изучая влияние климата на пополнение

запасов трески в удаленных друг от друга районах, им было выдвинуто предположение, что механизм дальних связей охватывает атмосферные и океанические процессы различных временных масштабов. По мнению автора, роль атмосферных дальних связей может заключаться в формировании различных штормовых траекторий и в изменении вероятности прохождения их над нерестилищами. Связанное с этим процессом охлаждение и углубление перемешанного слоя вод может привести к появлению бедного поколения, даже при наличии остальных оптимальных абиотических и биотических условий. Вместе с тем, автор приходит к выводу, что механизм взаимодействия атмосферных дальних связей неясен и требует более глубокого экологического исследования.

Цель работы состоит в изучении влияния крупномасштабных изменений в атмосфере и океане на состояние запасов тресковых рыб в североатлантическом регионе как научной основы прогнозирования долгосрочной динамики их состояния и численности. Аналогичное влияние крупномасштабных изменений в атмосфере и океане на состояние запасов тресковых рыб в Тихом океане будет рассмотрено в следующей статье.

### Материалы и методы

В работе использованы данные по численности пополнения 11 запасов трески, 5 запасов пикши и 4 запаса сайды в североатлантическом регионе. Положение районов, с которыми связаны указанные запасы, схематично показано на рис. 1. Названия запасов, соответствующие цифрам, представлены в табл. 1.

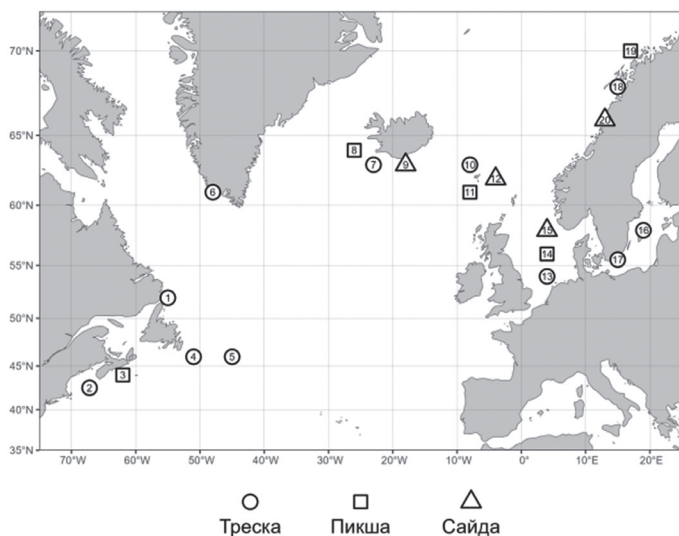


Рис. 1. Схематичное положение районов распределения основных запасов тресковых рыб в северной части Атлантического океана.

Fig. 1. Schematic position of distribution areas of main gadid stocks in the North Atlantic.

Таблица 1

Запасы тресковых рыб, используемые при анализе динамики численности их пополнения  
Gadid stocks used for analysis of recruitment abundance dynamics

№	Запас	Период, гг.
Северная часть Атлантического океана		
1	Треска лабрадорская	1978—2019
2	Треска шельфа Новой Шотландии и залива Мэн	1983—2018
3	Пикша шельфа Новой Шотландии и залива Мэн	1983—2018
4	Треска Большой Ньюфаундлендской банки	1959—2018
5	Треска банки Флемиш-Кап	1972—2017
6	Треска гренландская	1973—2019
7	Треска исландская	1953—2020
8	Пикша исландская	1979—2020
9	Сайда исландская	1960—2021
10	Треска Фарерского плато	1959—2020
11	Пикша фарерская	1957—2021
12	Сайда фарерская	1961—2021
13	Треска Северного моря	1963—2020
14	Пикша Северного моря	1972—2021
15	Сайда Северного моря	1972—2021
16	Треска восточнобалтийская	1946—2021
17	Треска западнобалтийская	1983—2021
18	Треска Норвежского и Баренцева морей	1946—2020
19	Пикша Норвежского и Баренцева морей	1950—2021
20	Сайда Норвежского и Баренцева морей	1960—2021

Изучение пространственно-временных связей между климатическими характеристиками и численностью пополнения тресковых рыб выполнено с использованием временных рядов среднемесячных значений различных климатических индексов за период с 1950 г. по 2023 г. [46]. Эти индексы характеризуют известные дальние связи в северной части Атлантического океана и атмосфере Северного полушария. Для всех рядов были рассчитаны средние зимние значения, которые охватывали период с декабря по февраль для атмосферных индексов и с января по апрель — для океанических индексов.

В работе использовались методы многомерного статистического анализа, получившие довольно широкое распространение в промысловой океанологии [47, 48]. Так, для характеристики зимних термических условий на поверхности Северной Атлантики выполнено районирование ее акватории с помощью иерархического кластерного анализа методом Уорда [49]. Для этой цели привлечен массив данных по температуре поверхности океана (ТПО) из архива Росгидрометцентра за период с 1957 г. по 2018 г. Выделены квазистационарные (в пространстве) районы, по которым можно проводить корректное осреднение средних зимних (январь-апрель) аномалий ТПО (АТПО). Положение районов показано на рис. 2.

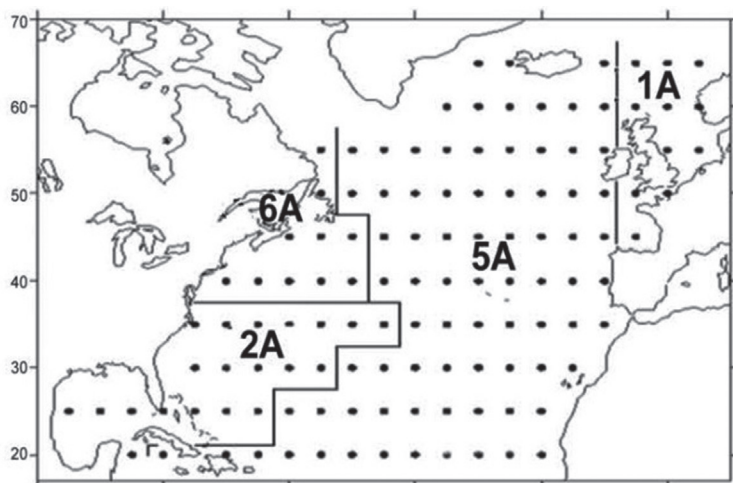


Рис. 2. Результаты иерархического кластерного анализа полей средних зимних АТПО в северной части Атлантического океана для периода с 1987 г. по 2018 г. [50].

Fig. 2. Results of cluster analysis of mean winter SSTA in the North Atlantic for 1987—2018 [50].

Выявление ведущих климатических факторов, влияющих на группы запасов тресковых рыб исследуемых регионов проведено с использованием метода главных компонент. Расчеты выполнены с помощью пакета программ Climate Data Operators [51] для 53 временных рядов биологических и физических параметров. Для указанных периодов имеются данные по численности пополнения всех рассматриваемых в работе запасов тресковых рыб.

### Результаты и обсуждение

В табл. 2 представлены коэффициенты корреляции между каждым из используемых в работе рядов и каждой из первых пяти главных компонент в североатлантическом регионе. Эти компоненты объясняют 56,64 % общей дисперсии всех 53 временных рядов. Для наглядности в таблице представлены только те биологические и физические характеристики, которые статистически значимо коррелируют с соответствующей ГК.

Первая ГК (20,27 %) обнаруживает тесную отрицательную статистическую связь с индексом атлантической многодекадной осцилляции (АМО) ( $r = -0,87$ ,  $p < 0,01$ ). Распределение коэффициентов корреляции между ГК1 и полей средних зимних (январь-апрель) АТПО в исследуемой акватории демонстрирует пространственную структуру, характерную для отрицательной (холодной) фазы АМО (рис. 3 б). Атлантическая многодекадная осцилляция является ведущей модой многолетней изменчивости температурных аномалий в Северной Атлантике, что обуславливает статистически значимые корреляции ГК1 с аномалиями ТПО на северо-востоке Атлантики (Район 1А) и ее центральной части (Район 5А)

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между пятью первыми главными компонентами 53 временных биологических и физических временных рядов и каждым из рядов за период с 1984 г. по 2013 г. Выделены коэффициенты корреляции с абсолютными значениями  $r \geq 0,40$  ( $r_{кр} = 0,35$  при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ )

Loadings of the first five principal components of the 53 biological and climatic time series for 1984—2013.  
Color indicates correlation coefficients with absolute values  $r \geq 0,40$

Название временного ряда	ГК1	ГК2	ГК3	ГК4	ГК5
	20,27 %	11,47 %	9,47 %	8,53 %	6,90 %
Треска лабradorская	0,48	0,53	0,03	0,22	0,31
Треска шельфа Новой Шотландии	0,65	0,24	0,25	0,17	0,25
Треска банки Флеминг-Кап	0,39	0,55	-0,35	0,21	0,39
Треска гренландская	-0,06	0,15	-0,11	0,07	0,64
Треска исландская	0,15	-0,18	-0,18	-0,29	0,50
Пикша исландская	-0,11	-0,23	0,22	0,23	0,61
Сайда исландская	-0,23	-0,04	-0,25	-0,43	0,57
Треска фарерская	0,21	-0,45	0,32	-0,48	0,19
Пикша фарерская	0,02	-0,45	0,12	-0,43	0,20
Сайда фарерская	-0,22	-0,22	0,14	-0,42	0,62
Треска Северного моря	0,66	0,19	-0,25	-0,03	0,06
Пикша Северного моря	0,05	-0,43	-0,11	-0,33	0,12
Сайда Северного моря	0,46	-0,12	0,41	-0,11	0,22
Треска восточно-балтийская	-0,32	0,39	-0,56	0,01	0,38
Треска северо-восточная арктическая	-0,12	-0,46	-0,08	0,26	-0,22
Пикша северо-восточная арктическая	-0,41	-0,38	-0,26	0,39	0,01
Сайда северо-восточная арктическая	-0,18	-0,40	0,29	-0,09	-0,11
Индекс АМО* (январь-апрель)	-0,87	0,00	0,16	-0,22	-0,07
Индекс БМО* (декабрь-март)	0,24	0,15	-0,67	-0,36	0,27
Индекс ВА* (декабрь-март)	-0,10	0,18	0,63	0,16	-0,22
Индекс ВА/ЗР* (декабрь-март)	0,11	-0,27	0,62	0,17	0,07
Индекс САК (декабрь-март)	0,27	-0,71	-0,16	0,01	-0,03
Северотихоокеанский индекс (декабрь-март)	-0,11	-0,28	-0,47	0,21	-0,34
Индекс СКАНД* (декабрь-март)	-0,17	0,66	-0,31	-0,13	-0,13
Индекс ТСП** (декабрь-март)	0,19	-0,05	-0,50	0,40	0,10
Индекс ЗА* (декабрь-март)	-0,37	0,24	-0,13	-0,44	-0,10
Зимние АТПО в Районе 1А (январь-апрель)	-0,51	-0,54	0,26	0,27	0,11
Зимние АТПО в Районе 5А (январь-апрель)	-0,82	-0,31	0,17	-0,18	0,19
Зимние АТПО в Районе 6А (январь-апрель)	0,83	-0,14	-0,09	0,15	-0,17

\* — см. расшифровку аббревиатуры в тексте;

\*\* — дальняя связь «тропики—умеренные широты Северного полушария» в атмосфере.

(рис. 2). Первая ГК отражает колебания численности пополнения запасов в удаленных друг от друга районах Северной Атлантики — обитающих на северо-западе популяций трески моря Лабрадор и залива Мэн и населяющих воды восточной части североатлантического бассейна популяций трески и сайды Северного моря и северо-восточной арктической пикши (Баренцево море) (рис. 3 а). Как видно из табл. 2, изменения численности пополнения всех указанных выше запасов, за исключением северо-восточной арктической пикши, происходят в противофазе с изменениями индекса АМО.

Во временном ходе ГК1 выделяются два режима с различным уровнем ее колебаний, переход между которыми произошел в 1998 г. (рис. 3 в). Учитывая отрицательный знак корреляции между временными рядами ГК1 и индекса АМО, указанная смена режимов отражает установление положительной фазы атлантической многодекадной осцилляции. Таким образом, потепление североатлантических вод неблагоприятно сказалось на численности пополнения практически всех связанных с первой главной компонентой тресковых рыб и, в первую очередь, на тепловодных запасах Северного моря, обитающих вблизи южной границы

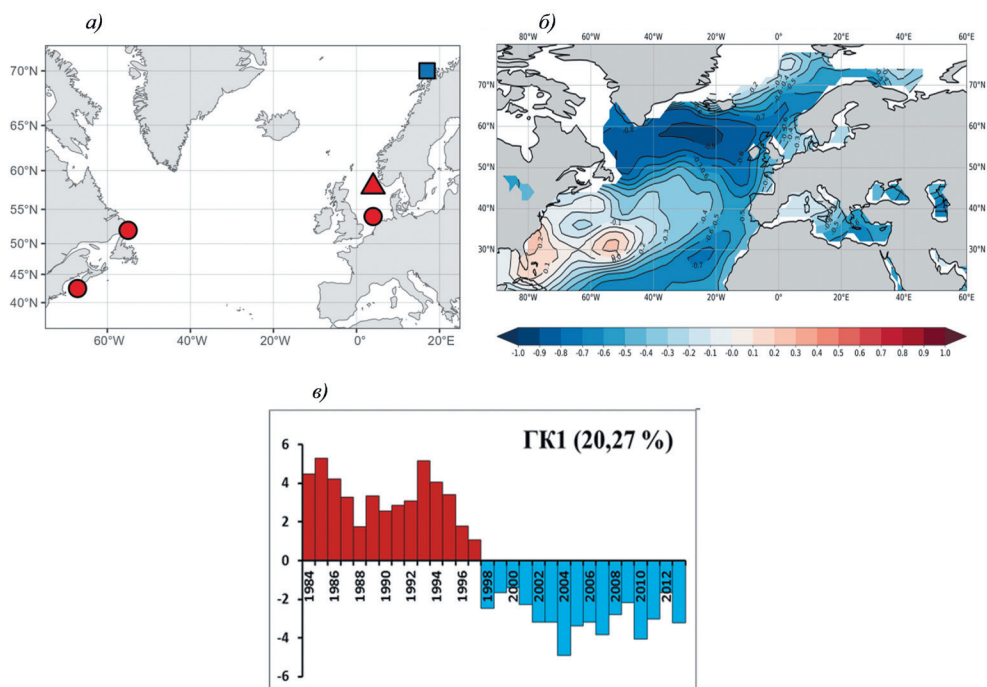


Рис. 3. Запасы тресковых рыб, связанные с ГК1 (а), пространственное распределение коэффициентов корреляции между ГК1 и полем средних зимних АТПО в Северной Атлантике (б), временной ход ГК1 (в).

Fig. 3. Gadid stocks associated with PC1 (a), correlation pattern of PC1 with mean winter SSTA field in the North Atlantic (b), time series of PC1 (c).

ареала. Единственным исключением стала популяция северо-восточной арктической пикши, живущая в относительно холодных водах Баренцева моря на северной границе ареала. Для нее рост температуры воды оказал позитивное влияние на выживаемость пополнения.

Особо следует отметить лабрадорскую треску. Учитывая, что ее популяция, как и популяция северо-восточной арктической пикши, обитает около северной границы ареала тресковых рыб Северной Атлантики, можно было бы ожидать, что переход к положительной фазе АМО приведет к росту численности пополнения. Однако корреляция между временными рядами численности пополнения лабрадорской трески и индекса АМО оказалась отрицательной, хотя и не очень высокой по абсолютному значению ( $r = -0,44$ ). Примерно таким же значением характеризуется и связь пополнения этой трески с ГК1 ( $r = 0,48$ ; табл. 2).

Анализ имеющихся данных показал, что высокая биомасса запаса лабрадорской трески отмечалась в 1980 г. [52], что способствовало развитию интенсивного промысла, который в итоге привел к коллапсу запаса. В результате с начала 1990-х годов и вплоть до 2005 г., уровень биомассы нерестового запаса и численности пополнения был ниже среднесноголетнего со слабо выраженными межгодовыми колебаниями, несмотря на благоприятные условия для выживания поколений в период с 1997 г. по 2005 г. вследствие начавшегося потепления. Среднеурожайные поколения стали появляться только в период с 2006 г. по 2013 г. Таким образом, численность пополнения лабрадорской трески на большей части периода с 1984 г. по 2013 г., данные за который использовались для расчета главных компонент, оставалась низкой, несмотря на формирование благоприятных условий среды в результате роста температуры воды. В значительной степени она определялась биологическим состоянием популяции и, возможно, какими-то другими климатическими факторами, кроме АМО.

Из табл. 2 видно, что ГК2 (11,47 %) показывает тесную отрицательную связь с индексом североатлантического колебания (САК в отрицательной фазе,  $r = -0,71$ ). САК представляет собой меридиональную осцилляцию в поле атмосферного давления с двумя центрами действия, один из которых расположен в районе Исландии (Исландский минимум атмосферного давления), а другой — над субтропической частью Северной Атлантики в районе Азорских островов (рис. 4 б). В холодный период года САК является доминирующей модой атмосферной изменчивости в Атлантико-Европейском регионе. Североатлантическое колебание оказывает значительное влияние на изменения температурных аномалий в северной части Атлантического океана, обуславливая формирование трехполюсной структуры с положительными АТПО на северо-западе и юго-востоке ее акватории и отрицательными аномалиями в центральных и северо-восточных районах (отрицательная фаза САК) (рис. 4 в). Отрицательные аномалии поверхностной температуры отмечаются также в Северном и Балтийском морях. При положительной фазе североатлантического колебания знаки АТПО меняются на противоположные.

ГК2 показывает также тесную положительную связь с изменениями индекса скандинавской дальней связи (СКАНД) в средней тропосфере Северного

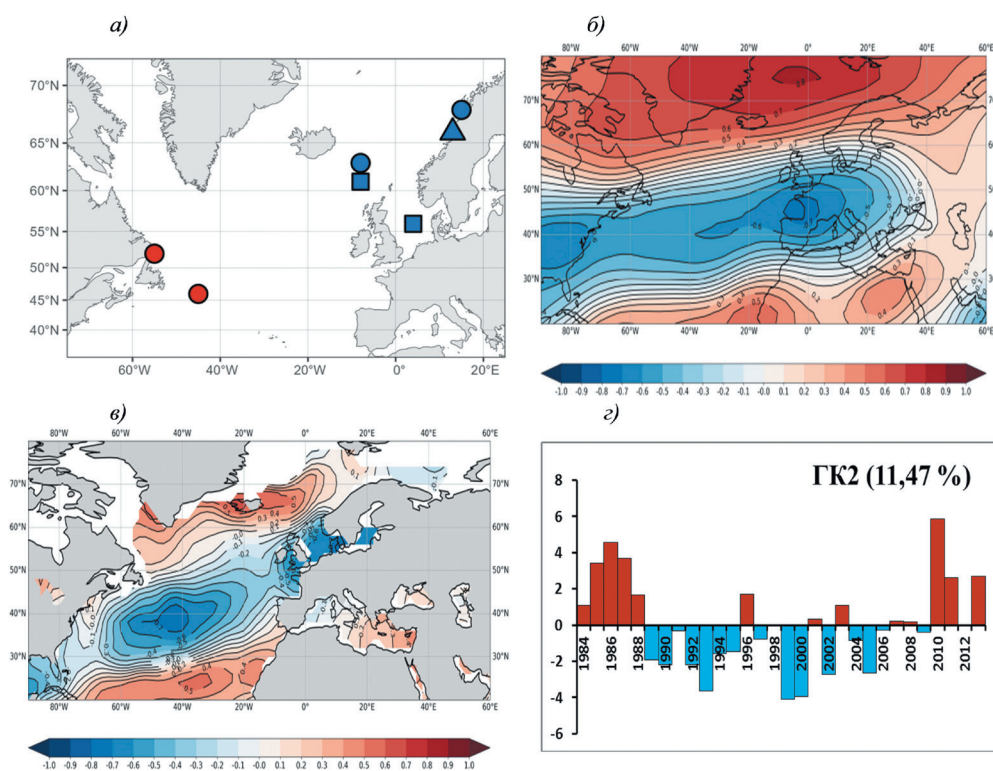


Рис. 4. Запасы тресковых рыб, связанные с ГК2 (а); пространственное распределение коэффициентов корреляции между ГК2 и полями средних зимних аномалий геопотенциальных высот поверхности 500 гПа (б) и ТПО (в) в Северной Атлантике; временной ход ГК2 (г).

Fig. 4. Gadid stocks associated with PC2 (a), correlation patterns of PC2 with fields of mean winter anomalies of H500 (b) and SST (c) in the North Atlantic, time series of PC2 (d).

полушария [51]. Положительная фаза СКАНД связана с присутствием блокирующего антициклона над восточной Скандинавией или северо-западом России и высотной ложбины над Западной Европой.

ГК2 отражает обратную связь между изменениями индексов СКАНД и САК: положительная фаза СКАНД чаще формируется при отрицательной фазе САК и наоборот. Возможное объяснение заключается в том, что ослабление центров действия САК при его отрицательной фазе обуславливает ослабление западного переноса в атмосфере над Северо-Восточной Атлантикой и Северо-Западной Европой в зимний период года, что способствует формированию блокирующего антициклона над Скандинавским полуостровом.

Вторая ГК описывает региональные и трансатлантические связи 7 запасов атлантических тресковых рыб (табл. 2, рис. 4 а). При этом изменения численности

пополнения северо-восточных запасов (трески Фарерского плато, фарерской пикши, пикши Северного моря, северо-восточной арктической трески и сайды) происходят в одной фазе с САК, а северо-западных (лабрадорской трески и трески банки Флемиш-Кап) — в обратной фазе. Отсюда следует, что именно фаза САК в значительной степени определяет противоположную связь между колебаниями уровня пополнения указанных выше северо-западных и северо-восточных популяций тресковых рыб. Кроме того, САК может быть тем климатическим фактором, который, как предполагалось выше, может влиять на величину пополнения лабрадорской трески. Развитие отрицательной фазы САК способствует формированию положительных АТПО на северо-западе атлантического бассейна, что, вероятно, оказывает благоприятное влияние на выживание лабрадорской трески на ранних стадиях ее развития.

Временной ход ГК2 характеризуется наличием 3 режимов, с переходом от положительных значений к преимущественно отрицательным значениям в 1989 г. и обратным переходом в 2010 г. (рис. 4 *з*).

ГК3 (9,47 %) тесно связана с атмосферными дальними связями (ДС) над восточной частью североатлантического бассейна: положительными фазами восточно-атлантической ДС (ВА) ( $r = 0,63, p < 0,01$ ) и ДС «Восточная Атлантика/Западная Россия» (ВА/ЗР) ( $r = 0,62, p < 0,01$ ) и отрицательной фазой баренцевоморской осцилляции (БМО) ( $r = -0,67, p < 0,01$ ) (табл. 2). Пространственная структура ВА схожа со структурой САК и представляет собой меридиональный диполь двух центров аномалий геопотенциальных высот, простирающихся над всей акваторией океана с востока на запад. Центры действия ВА расположены юго-восточнее относительно центров САК. Положительная фаза ВА/ЗР связана с положительными аномалиями геопотенциальных высот над Западной Европой и их отрицательными аномалиями, расположенными севернее Каспийского моря и западнее Гренландии [53]. Баренцевоморская осцилляция представляет собой вторую ЭОФ зимних (декабрь-март) аномалий давления на уровне моря (ДУМ) в диапазоне  $90^\circ$  з.д. —  $90^\circ$  в.д. севернее  $30^\circ$  с.ш. [54]. Отрицательная фаза БМО характеризуется первичным центром пониженного атмосферного давления над Баренцевоморским регионом, вторым центром действия того же знака над Северной Атлантикой и центром противоположного знака к юго-западу от Пиренейского п-ва (рис. 5 *б*). Эта мода атмосферной изменчивости тесно связана с меридиональным потоком над Северным, Норвежским и Балтийским морями и аномалиями зонального переноса над Баренцевым морем.

С ГК3 связаны 2 запаса тресковых рыб североатлантического бассейна: сайда Северного моря ( $r = 0,41$ ) и восточнобалтийская треска ( $r = -0,56$ ) (рис. 5 *а*). Как видно из табл. 2, изменения численности пополнения трески положительно связаны с БМО: аномальный северный перенос в атмосфере над восточной частью Балтийского моря при отрицательной фазе баренцевоморской осцилляции (рис. 5 *б*) приводит к снижению численности пополнения восточнобалтийской трески. В то же время, такая ситуация, по-видимому, оказывает благоприятное влияние на северо-морскую сайду.

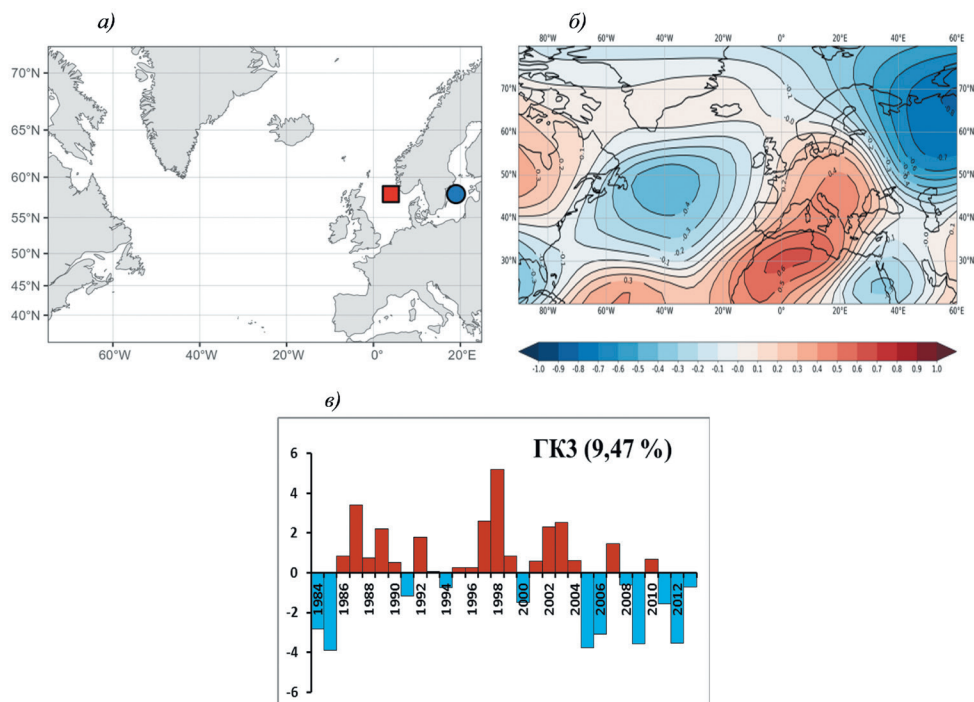


Рис. 5. Запасы тресковых рыб, связанные с ГКЗ (а); пространственное распределение коэффициентов корреляции между ГКЗ и полем средних зимних аномалий геопотенциальных высот поверхности 500 гПа (б) в Северной Атлантике; временной ход ГКЗ (в).

Fig. 5. Gadid stocks associated with PC3 (a), correlation pattern of PC3 with field of mean winter anomalies of H500 (b) in the North Atlantic, time series of PC3 (c).

Изменения ГКЗ характеризуются наличием трех режимов с переходом между ними в 1986 г. и 2005 г. (рис. 5 в).

У ГК4 (8,53 %) имеется статистически значимая, хотя и не очень высокая по абсолютному значению, отрицательная связь с западно-атлантической (ЗА) ДС в средней тропосфере ( $r = -0,41$ , отрицательная фаза ЗА) (табл. 2). ЗА ДС характеризуется двумя центрами противоположного знака, расположенными вдоль 55 °з.д., соответственно на 55°с.ш. и 30°с.ш. [55] (рис. 6 б). Значимую (как и ЗА, отрицательную) корреляционную связь с ГК4 обнаруживают ряды численности пополнения исландской сайды, трески Фарерского плато, фарерской пикши и сайды (рис. 6 а). Следовательно, изменения численности их пополнения происходят в одной фазе с ЗА. При отрицательной фазе ЗА в ее северном центре отмечаются отрицательные аномалии геопотенциальных высот, а центры действия САК и зональный перенос над Северной Атлантикой усиливаются. Такая ситуация приводит к формированию положительных АТПО в районе Исландии и Фарерских островов (рис. 6 в), что, вероятно, оказывает негативное влияние на уровень пополнения обитающих в этих районах тресковых рыб.

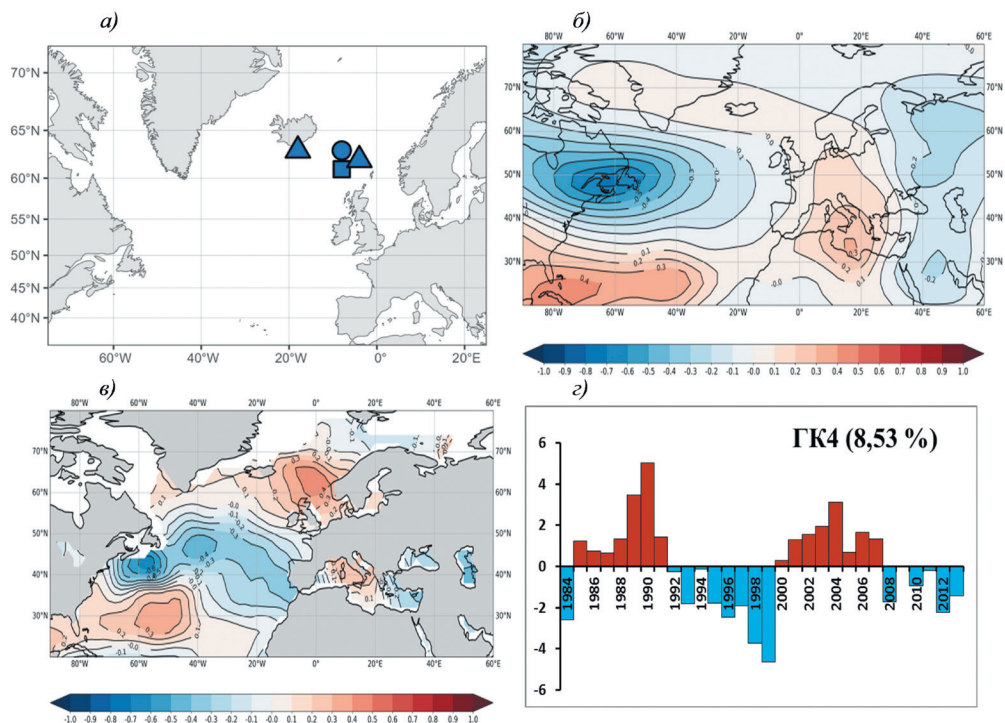


Рис. 6. Запасы тресковых рыб, связанные с ГК4 (а), распределение коэффициентов корреляции между ГК4 и полями средних зимних аномалий геопотенциальных высот поверхности 500 гПа (б) и ТПО (в) в Северной Атлантике, временной ход ГК4 (г).

Fig. 6. Gadid stocks associated with PC4 (a), correlation patterns of PC4 with fields of mean winter anomalies of H500 (b) and SST (c) in the North Atlantic, time series of PC4 (d).

У ГК4 хорошо выражены декадные колебания с преобладанием ее положительных значений в период с 1985 г. по 1991 г. и в период с 2000 г. по 2007 г., а отрицательных — в период с 1992 г. по 1999 г. и в период с 2008 г. по 2013 г. (рис. 6 г).

ГК5 (6,90 %) не обнаруживает какую-либо значимую статистическую связь ни с одним климатическим показателем (табл. 2). Она отражает лишь синхронные изменения численности пополнения тресковых рыб, обитающих в пределах одного или в смежных районах океана: гренландской и исландской трески, исландской пикши, исландской и фарерской сайды (рис. 7 а). Такая синхронизация в динамике численности пополнения между различными запасами тресковых может быть результатом протяженных миграций взрослых особей в нерестовый период, а также обширного переноса личинок между нерестилищами и миграций созревающих особей. При этом крупные популяции при благоприятных условиях могут вносить существенный вклад в пополнение соседних популяций того вида, как это происходило в 1970 гг., когда половозрелые особи трески мигрировали от побережья Гренландии в воды Исландии [8].

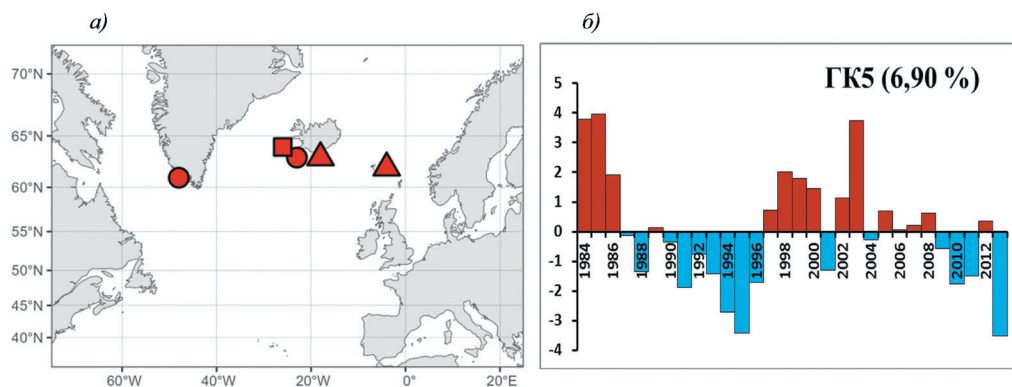


Рис. 7. Запасы тресковых рыб, связанные с ГК5 (а), временной ход ГК5 (б).

Fig. 7. Gadid stocks associated with PC5 (a), time series of PC5 (b).

Многолетние изменения ГК5, также как и в ГК4, характеризуются хорошо выраженной декадной составляющей с преобладанием положительных значений в период с 1984 по 1986 г. и в период с 1997 г. по 2008 г. и отрицательных — в период с 1987 г. по 1996 г. и в период с 2009 г. по 2013 г. (рис. 7 б).

### Заключение

Анализ данных по численности пополнения для 20 запасов трески, пикши и сайды в североатлантическом регионе выявил значительное количество региональных и трансокеанских связей в динамике пополнения их запасов.

Установлено, что на межгодовую изменчивость численности пополнения одного и того же запаса тресковых рыб может воздействовать не один, а несколько крупномасштабных климатических факторов. Так, в северо-западной части Атлантического океана формирование благоприятных (неблагоприятных) условий для выживания молоди трески в значительной мере зависит от фазы как океанической атлантической многодекадной осцилляции, так и от атмосферного североатлантического колебания.

Отметим, что статистически значимые связи, как правило одного знака, обнаруживаются между близко расположенными запасами, а противоположного знака — между удаленными запасами тресковых рыб. В Атлантическом океане эти связи лучше всего проявляются для ГК 2, которая показывает высокую корреляцию с индексом североатлантического колебания. При этом изменения численности пополнения северо-восточных запасов (трески Фарерского плато, фарерской пикши, пикши Северного моря, северо-восточной арктической трески и сайды) происходят в одной фазе с североатлантическим колебанием, а северо-западных запасов (лабradorской трески и трески банки Флемиш-Кап) — в противофазе.

Отмеченная выше противофазность в изменениях динамики пополнения в северо-западных и северо-восточных районах Северной Атлантики определяется

разнонаправленностью процессов взаимодействия океана с атмосферой на западной и восточной периферии исследуемых регионов. На указанную противофазность также может оказывать влияние и термический режим поверхностных вод. В частности, связанное с конкретной фазой атлантической многодекадной осцилляции потепление или похолодание может оказывать противоположное влияние на пополнение запасов тресковых рыб в северной и южной частях их ареалов. Так, с ростом температуры воды происходит снижение численности пополнения у тепловодных запасов трески и пикши Новошотландского шельфа и Северного моря, в то время как у холодноводных запасов этих же видов в Норвежском и Баренцевом морях появляются преимущественно урожайные поколения.

В северной части Атлантического океана воздействие крупномасштабных климатических факторов во многом имеет схожий характер в пределах арктических, субарктических и умеренных широт. Выявленные связи обусловлены синхронным влиянием одного (атлантическая многодекадная осцилляция, североатлантическое колебание) или группы взаимосвязанных крупномасштабных климатических факторов (дальние связи «атмосфера-океан»).

Анализ корреляционных связей между главными компонентами и используемыми в работе физическими и биологическими факторами показал, что на пополнение некоторых запасов тресковых рыб в пределах одного океана могут влиять климатические факторы, действующие на акватории другого океана. Так, на динамику пополнения запасов трески в районах Северо-Западной Атлантики оказывает воздействие тихоокеанские атмосферные дальние связи, в частности, «тропики/Северное полушарие», один из центров действия которой расположен над Северной Атлантикой.

Выявленные закономерности воздействия крупномасштабных климатических факторов на популяции тресковых рыб в североатлантическом регионе могут служить научной основой для долгосрочного прогнозирования динамики пополнения их запасов.

### *Список литературы*

1. FAO — URL: <https://www.fao.org/fishery/en/statistics/software/fishstatj> (дата обращения: 11.07.2025 г.).
2. Kurlansky M. Cod: a biography of the fish that changed the world. New York/London: Penguin. 1997. 294 p.
3. Apostle R., Barrett G., Holm P. et al. Community, state, and market on the North Atlantic Rim : challenges to modernity in the fisheries. Toronto: University of Toronto Press. 1998. 363 p.
4. Haedrich., Hamilton L. C. The fall and future of Newfoundland's cod fishery. *Society and Natural Resources*. 2000. V. 13. P. 359—372.
5. Hamilton L. C., Butler M. J. Outport adaptations: Social indicators through Newfoundland's cod crisis. *Human Ecology Review*. 2001. 8(2). P. 1—11.
6. Hamilton L. C. Climate, fishery and society interactions: observations from the North Atlantic. *Deep Sea Research Part II*. 2007. P. 2958—2969.
7. Бойцов В. Д., Лебедь Н. И., Пономаренко В. П. и др. Треска Баренцева моря: биология и промысел. Изд. 2-е. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 2003. 296 с.
8. Мельников С. П., Кровнин А. С., Мурый Г. П. Эколого-биологические особенности динамики численности пополнения и нерестовой биомассы запасов тресковых (Gadiformes: Gadidae) в северной части Атлантического океана // *Журнал общей биологии*. 2025. Т. 86. № 2. С. 127—142.

9. Hjort J. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe viewed in the light of biological research // Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer. 1914. V. 20. P. 1—228.
10. Jensen A. S. Concerning a change of climate during recent decades in the Arctic and Subarctic regions, from Greenland in the west to Eurasia in the east, and contemporary biological and geophysical changes. Kongelige Danske Videnskabernes Selskab Biologiske Meddelelser. 1939. V. XIV. 76 p.
11. ICES. Climatic changes in the Arctic in relation to plants and animals // Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer. 1948. V. 125. P. 5—52.
12. Бирман И. Б. Влияние климатических факторов на динамику численности горбуши // Вопросы ихтиологии. 1966. Т. 6. № 2. С. 208—221.
13. Дементьева Т. Ф. 1976. Биологическое обоснование промысловых прогнозов. М.: Пищ. пром. 1976. 236 с.
14. Кушинг Д. Х. Морская экология и рыболовство. М.: Пищ. пром. 1979. 288 с.
15. Hennemuth R. C., Palmer J. E., Brown B. E. A statistical description of recruitment in eighteen selected fish stocks // J. Northwest Atl. Fish. Sci. 1980. V. 1. P. 101—111.
16. Борисов В. М. Естественная смертность как фактор динамики численности промысловых популяций рыб / Теория формирования численности стад промысловых рыб. М.: Наука. 1985. С. 158—166.
17. O'Boyle R. Fisheries management organizations: A study of uncertainty // Risk Evaluation and Biological Reference Points for Fisheries Management / Eds Smith J. S., Hunt J. J., Rivard D. Ottawa: National Research Council of Canada. 1993. P. 423—436.
18. Stenseth N. C., Ottersen G., Hurrell J. W. et al. Studying climate effects on ecology through the use of climate indices: the North Atlantic Oscillation, El Niño Southern Oscillation and beyond // Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences. 2003. V. 270 (1529). P. 2087—2096.
19. Drinkwater K. F., Beaugrand G., Kaeriyama M. et al. On the processes linking climate to ecosystem changes // Journal of Marine Systems. 2010. V. 79. P. 374—388.
20. Hakkinen S., Rhines P. B., Worthen D. L. Atmospheric blocking and Atlantic multidecadal ocean variability // Science. 2011. V. 334 (6056). P. 655—659.
21. Knudsen M. F., Jacobsen B. H., Seidenkrantz M., Olsen J. 2014. Evidence for external forcing of the Atlantic Multidecadal Oscillation since termination of the Little Ice Age // Nature Communications. 2014. V. 5. P. 1—8.
22. Ижевский Г. К. Океанологические основы формирования промысловой продуктивности морей. М.: Пищепромиздат. 1961. 216 с.
23. Ижевский Г. К. Системная основа прогнозирования океанологических условий и воспроизводства рыб. М.: ВНИРО. 1964. 165 с.
24. Elizarov A. A., Kotenev B. N., Rodionov S. N. Izhevskii's systems of nature in the light of modern investigations. ICES, Copenhagen. 1990. C.M. C:5/Ref G+H. 21 p.
25. Martin W. R., Kohler A. C. Variation in recruitment of cod (*Gadus morhua* L.) in southern ICNAF waters, as related to environmental changes // ICNAF Spec. Publ. 1965. V. 6. P. 833—846.
26. Templeman W. Relation of periods of successful yearclasses of haddock on the Grand Bank to periods of success of yearclasses for cod, haddock and herring in areas to the north and east // ICNAF Spec. Publ. 1965. V. 6. P. 523—533.
27. Templeman W. Year-class success in some North Atlantic stocks of cod and haddock // ICNAF Spec. Publ. 1972. V. 8. P. 223—238.
28. Dragesund O. Comparative analysis of year-class stlength among fish stocks in the North Atlantic // Fiskeridir Skr. Ser. Havunders. 1971. V. 16. P. 49—64.
29. Cushing D. H. Climate and fisheries. Academic Press. London. 1982. 373 p.
30. Shepherd J. G., Pope J. G., Couzens R. D. 1984. Variations in fish stocks and hypotheses concerning their links with climate // Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 1984. V. 185. P. 225—267.
31. Гершанович Д. Е., Потайчук С. И. Г.К. Ижевский и системные исследования условий среды для рыбохозяйственных целей // Долгопериодная изменчивость условий среды и некоторые вопросы рыбопромыслового прогнозирования. Сборник научных трудов. М.: ВНИРО. 1989. С. 5—31.
32. Brander K., Mahon R. Effect of the North Atlantic Oscillation on recruitment of Atlantic cod (*Gadus morhua*) // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 2004. V. 56. P. 2069—2077.
33. Brander K. M. Cod recruitment is strongly affected by climate when stock biomass is low // ICES J. Mar. Sci. 2005. V. 62. P. 339—343.

34. Brodziak J., O'Brian L. Do environmental factors affect recruits per spawner anomalies of New England groundfish? // ICES J. Mar. Sci. 2005. V. 62. P. 1394—1407.
35. Cook R. M., Heath M. R. 2005. The implications of warming climate for the management of North Sea demersal fisheries // ICES J. Mar. Sci. 2005. V. 62. P. 1322—1326.
36. Megrey A. B., Lee Y. W., Macklin S. A. Comparative analysis of statistical tools to identify recruitment-environment relationship and forecast recruitment strength // ICES J. Mar. Sci. 2005. V. 62. P. 1327—1337.
37. Atlantic Cod: A Bio-Ecology. / Ed. Rose G. A. Hoboken. John Wiley & Sons. 2019. 416 pp.
38. Sætersdal G., Loeng H. Ecological adaptation of reproduction in Northeast Arctic cod // Fish. Res. 1987. V. 5. P. 253—270.
39. Planque B., Frédou T. Temperature and the recruitment of Atlantic cod (*Gadus morhua*) // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1999. V. 56. P. 2069 — 2077.
40. ICES. Cod and future climate change. ICES Cooperative Research Report. 2010. No. 305. 88 p.
41. Kawasaki T. 1991. Effects of global climatic change on marine ecosystems and fisheries, In J. Jager and H. L. Ferguson [ed.] Climate change: science, impacts and policy. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 1991. P. 291—299.
42. ICES. Reports of the ICES Advisory Committee on Fishery Management. 1989. ICES. Copenhagen. Coop. Res. Rep. 1990. V. 168. 361 pp.
43. Rodionov S. N., Krovnin A. S. Interannual Variability of Thermal Conditions in the Bering Sea. In: Proceedings of International Symposium on the Bering Sea Fisheries, April 2—5, 1990, Khabarovsk, Russia. Alaska Fisheries Science Center, Seattle, Wash. 1991. P. 49—55.
44. Rodionov S. N., Krovnin A. S. The 1980's in the context of climate changes in the North Atlantic Region // ICES Mar. Sci. Symp. 1992. V. 195. P. 86—95.
45. Rodionov S. N. Atmospheric teleconnections and coherent fluctuations in recruitment to North Atlantic cod (*Gadus morhua*) stocks // Climate change and northern fish populations / R. J. Beamish (ed.). Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 1995. V. 121. P. 45—55.
46. PSL — Physical Sciences Laboratory. URL: <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/> (дата обращения: 11.08.2025 г.).
47. Малинин В. Н., Чернышков П. П., Гордеева С. М. Канарский апвеллинг: крупномасштабная изменчивость и прогноз температуры воды. СПб: Гидрометеоздат. 2002. 156 с.
48. Малинин В. Н., Гордеева С. М. Промысловая океанология юго-восточной части Тихого океана. Том I. Изменчивость факторов среды обитания. СПб: РГМУ. 2009. 278 с.
49. Ward J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function // J. Am. Stat. Assoc. 1963. V. 58. P. 236—244.
50. Кровнин А. С. Роль крупномасштабных климатических факторов Северного полушария в многолетних колебаниях запасов основных объектов российского промысла // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук. Москва. ФГБНУ ВНИРО. 2020. С. 1—26.
51. Schulzweida, Uwe. CDO User Guide (2.1.0). Zenodo. 2022. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7112925>.
52. Кровнин А. С., Мельников С. П. Динамика запасов тресковых рыб в североатлантическом регионе // Тр. ВНИРО. 2023. Т. 192. С. 55—67.
53. Barnston A. C., Livezey R. E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // Mon. Weather Rev. 1987. V.115. P. 1083—1126.
54. Chen H. W., Zhang Q., Körnich H., and Chen. D. A robust mode of climate variability in the Arctic: The Barents Oscillation // Geophys. Res. Lett. 2013. V. 40. P. 2856—2861. doi:10.1002/grl.50551.
55. Wallace J. M., Gutzler D. S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter // Mon. Weath. Rev. 1981. V. 109. P. 784—812.

### References

1. FAO — URL: <https://www.fao.org/fishery/en/statistics/software/fishstatj> (date of access: 11.07.2025).
2. Kurlansky M. Cod: a biography of the fish that changed the world. New York/London: Penguin. 1997: 294 p.
3. Apostle R., Barrett G., Holm P. et al. Community, state, and market on the North Atlantic Rim : challenges to modernity in the fisheries. Toronto: University of Toronto Press. 1998: 363 p.

4. Haedrich., Hamilton L. C. The fall and future of Newfoundland's cod fishery. *Society and Natural Resources*. 2000; (13): 359—372.
5. Hamilton L. C., Butler M. J. Outport adaptations: Social indicators through Newfoundland's cod crisis. *Human Ecology Review*. 2001; 8(2): 1—11.
6. Hamilton L. C. Climate, fishery and society interactions: observations from the North Atlantic. *Deep Sea Research Part II*. 2007; 2958—2969.
7. Boitsov V. D., Lebed' N. I., Ponomarenko V. P. et al. *Treska Barentseva moray: biologiya I promysel = Barents Sea cod: biology and fishing industry*. 2<sup>nd</sup> edition. Murmansk: PINRO Publishing House. 2003: 296 p. (In Russ.).
8. Melnikov S. P., Krovnin A. S., Moury G. P. Ecological and biological features in the dynamics of recruitment and spawning stock biomass of gadids (Gadiformes: Gadidae) in the North Atlantic. *Zhurnal obshchei biologii. = Journal of General Biology*. 2025, 86 (2): (127—142). (In Russ.)
9. Hjort J. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe viewed in the light of biological research. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer*. 1914; (20): 1—228.
10. Jensen A. S. Concerning a change of climate during recent decades in the Arctic and Subarctic regions, from Greenland in the west to Eurasia in the east, and contemporary biological and geophysical changes. *Kongelige Danske Videnskabernes Selskab Biologiske Meddelelser*. 1939: XIV. 76 pp.
11. ICES. Climatic changes in the Arctic in relation to plants and animals. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer*. 1948; (125): 5—52.
12. Birman I. B. The influence of climatic factors on the dynamics of pink salmon population. *Voprosy ichtiologii = Journal of Ichthyology*. 1966; 6(2): (208—221). (In Russ.).
13. Dement'yeva T. F. *Biologicheskoye obosnovanie promyslovykh prognozov = Biological ground of fisheries forecasting*. M.: Pishchevaya promyshlennost. 1976: 236 p. (In Russ.)
14. Cushing D. H. *Morskaya ekologiya I rybolovstvo = Marine ecology and fisheries*. M.: Pishchevaya promyshlennost'. 1979: 288 p. (In Russ.).
15. Hennemuth R. C., Palmer J. E., Brown B. E. A statistical description of recruitment in eighteen selected fish stocks. *J. Northwest Atl. Fish. Sci*. 1980; (1): 101—111.
16. Borisov V. M. Natural mortality as a factor of abundance dynamics of commercial fish populations. *Teoriya formirovaniya chislennosti stad promyslovykh ryb = Theory of formation of commercial fish stock abundance*. Moscow: Nauka. 1985; (158—166). (In Russ.).
17. O'Boyle R. Fisheries management organizations: A study of uncertainty // Risk Evaluation and Biological Reference Points for Fisheries Management, Eds Smith J.S., Hunt J.J., Rivard D. Ottawa: National Research Council of Canada. 1993; 423—436.
18. Stenseth N. C., Ottersen G., Hurrell J. W. et al. Studying climate effects on ecology through the use of climate indices: the North Atlantic Oscillation, El Nino Southern Oscillation and beyond. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*. 2003; 270(1529): 2087—2096.
19. Drinkwater K. F., Beaugrand G., Kaeriyama M., Kim S., Ottersen G., Perry R. I., Pörtner H.-O., Polovina J. J., Takasuka A. On the processes linking climate to ecosystem changes. *Journal of Marine Systems*. 2010; (79): 374—388.
20. Hakkinen S., Rhines P. B., Worthen D. L. Atmospheric blocking and Atlantic multidecadal ocean variability. *Science*. 2011; 334(6056): 655—659.
21. Knudsen M. F., Jacobsen B. H., Seidenkrantz M., Olsen J. 2014. Evidence for external forcing of the Atlantic Multidecadal Oscillation since termination of the Little Ice Age. *Nature Communications*. 2014; (5): 1—8.
22. Izhevsky G. K. *Okeanologicheskie osnovy formirovaniya promyslovoi produktivnosti morei = Oceanological bases of formation of fishery productivity of the seas*. Moscow: Pishchepromizdat. 1961: 216 p. (In Russ.).
23. Izhevsky G. K. *Systemnaya osnova prognozirovaniya okeanologicheskikh uslovii I vosproizvodstva ryb = System basis for forecasting of oceanographic conditions and fish reproduction*. Moscow: VNIRO. 1964: 165 p. (In Russ.).
24. Elizarov A. A., Kotenev B. N., Rodionov S.N. Izhevskii's systems of nature in the light of modern investigations. ICES, Copenhagen. 1990: C.M. C:5/Ref G+H. 21 p.
25. Martin W. R., A. C. Kohler. Variation in recruitment of cod (*Gadus morhua L.*) in southern ICNAF waters, as related to environmental changes. *ICNAF Spec. Publ*. 1965; (6): 833—846.

26. Templeman W. Relation of periods of successful yearclasses of haddock on the Grand Bank to periods of success of yearclasses for cod, haddock and herring in areas to the north and east. *ICNAF Spec. Publ.* 1965; (6): 523—533.
27. Templeman W. Year-class success in some North Atlantic stocks of cod and haddock. *ICNAF Spec. Publ.* 1972; (8): 223—238.
28. Dragesund O. Comparative analysis of year-class stlength among fish stocks in the North Atlantic. *Fiskeridir Skr. Ser. Havunders.* 1971; (16): 49—64.
29. Cushing D. H. Climate and fisheries. Academic Press, London. 1982: 373 p.
30. Shepherd J. G., Pope J. G., Cousens R. D. Variations in fish stocks and hypotheses concerning their links with climate. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer.* 1984; (185): 225—267.
31. Gershanovich D. E., Potaichuk S. I. G. K. *Izevsky i systemnye issledovaniya uslovii sredy dlya rybok-hozyaistennykh tselei = Izevsky G.K. and system environmental investigations in relation to fisheries.* In: Long-term environmental changes and some problems of fisheries prediction. Collected papers. Moscow: VNIRO. 1989; (5—31) (In Russ.).
32. Brander K., Mahon R. Effect of the North Atlantic Oscillation on recruitment of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2004; (56): 2069—2077.
33. Brander K. M. Cod recruitment is strongly affected by climate when stock biomass is low. *ICES J. Mar. Sci.* 2005; (62): 339—343.
34. Brodziak J., O'Brian L. Do environmental factors affect recruits per spawner anomalies of New England groundfish? *ICES J. Mar. Sci.* 2005; (62): 1394—1407.
35. Cook R. M., Heath M. R. The implications of warming climate for the management of North Sea demersal fisheries. *ICES J. Mar. Sci.* 2005; (62): 1322—1326.
36. Megrey A. B., Lee Y. W., Macklin S. A. Comparative analysis of statistical tools to identify recruitment-environment relationship and forecast recruitment strength. *ICES J. Mar. Sci.* 2005; (62): 1327—1337.
37. Atlantic Cod: A Bio-Ecology. / Ed. Rose G. A. Hoboken. John Wiley & Sons. 2019: 416 p.
38. Sætersdal G., Loeng H. Ecological adaptation of reproduction in Northeast Arctic cod. *Fish. Res.* 1987; (5): 253—270.
39. Planque B., Frédo T. Temperature and the recruitment of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1999; (56): 2069—2077.
40. ICES. Cod and future climate change. ICES Cooperative Research Report. 2010, 305: 88 p.
41. Kawasaki T. 1991. Effects of global climatic change on marine ecosystems and fisheries, In J. Jager and H.L. Ferguson [ed.] Climate change: science, impacts and policy. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 1991: 291—299.
42. ICES. Reports of the ICES Advisory Committee on Fishery Management, 1989. ICES. Copenhagen. *Coop. Res. Rep.* 1990; 168: 361 p.
43. Rodionov S. N., Krovnnin A. S. Interannual Variability of Thermal Conditions in the Bering Sea. In: Proceedings of International Symposium on the Bering Sea Fisheries, April 2—5, 1990, Khabarovsk, Russia. Alaska Fisheries Science Center, Seattle, Wash. 1991: 49—55.
44. Rodionov S. N., Krovnnin A. S. The 1980's in the context of climate changes in the North Atlantic Region. *ICES Mar. Sci. Symp.* 1992; (195): 86—95.
45. Rodionov S. N. Atmospheric teleconnections and coherent fluctuations in recruitment to North Atlantic cod (*Gadus morhua*) stocks. Climate change and northern fish populations / R. J. Beamish (ed.). *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 1995; (121): 45—55.
46. PSL – Physical Sciences Laboratory. URL: <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/> (date of access: 11.08.2025).
47. Malinin V. N., Chernyshkov P. P., Gordeeva S. M. *Kanarskiy apvelling: krupnomasshtabnaya izmenchivost' i prognoz temperatury vody. = Canary Islands Upwelling: Large-Scale Water Temperature Variability and Forecast.* St. Petersburg. Gidrometeoizdat. 2002: 156 p. (In Russ.).
48. Malinin V. N., Gordeeva S. M. *Promyslovaya okeanologiya yugo-vostochnoy chasti Tikhogo okeana. Tom I. Izmenchivost' faktorov sredy obitaniya = Fishery oceanology of south-east Pacific. Volume 1. Variability of habitat factors.* St. Petersburg: Russian State Hydrometeorological University. 2009: 278 p. (In Russ.).
49. Ward J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Am. Stat. Assoc.* 1963, 58: 236-244.

50. Krovnin A. S. Role of large-scale climatic factors of the Northern hemisphere in long-term variations of main commercial fish stocks of the Russian fishery. *Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchyonoj stepeni kandidata geographicheskikh nauk = Synopsis of the thesis prepared by candidate of Earth sciences*. Moscow: VNIRO. 2020: (1—26) (In Russ.).
51. Schulzweida, Uwe. CDO User Guide (2.1.0). Zenodo. 2022. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7112925>.
52. Krovnin A. S., Melnikov S. P. Dynamics of codfish stocks in the North Atlantic region. *Trudy VNIRO = Proceedings of VNIRO*. 2023, 192: 55—67 (in Russ.).
53. Barnston A. C., Livezey R. E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Weather Rev.* 1987; (115): 1083—1126.
54. Chen H. W., Zhang Q., Körnich H., and Chen. D. A robust mode of climate variability in the Arctic: The Barents Oscillation. *Geophys. Res. Lett.* 2013; (40): 2856—2861. doi:10.1002/grl.50551.
55. Wallace J. M., Gutzler D. S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Weath. Rev.* 1981; (109): 784—812.

### **Сведения об авторах**

*Кровнин Андрей Сергеевич*, доктор географических наук, старший научный сотрудник/начальник Отдела динамики климата и водных экосистем Государственного научного центра РФ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), [akrovnin@vniro.ru](mailto:akrovnin@vniro.ru).

*Мельников Сергей Петрович*, доктор биологических наук, начальник Отдела многостороннего международного сотрудничества Государственного научного центра РФ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), [melnikov@vniro.ru](mailto:melnikov@vniro.ru).

*Мурый Георгий Петрович*, ведущий специалист Отдела динамики климата и водных экосистем Государственного научного центра РФ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), [moury@vniro.ru](mailto:moury@vniro.ru).

### **Information about authors**

*Krovnin Andrei Sergeevich*, doctor (Geogr. Sci.), senior scientist/Head of Division of climate dynamics and aquatic ecosystems, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO).

*Melnikov Sergei Petrovich*, doctor (Biol. Sci.), Head of Division of multi-lateral international cooperation, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO).

*Moury Georgy Petrovich*, lead specialist of Division of climate dynamics and aquatic ecosystems, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO).

**Конфликт интересов:** конфликт интересов отсутствует.

*Статья поступила 17.12.2025*

*Принята в печать 12.02.2026*

*The article was received on 17.12.2025*

*The article was accepted on 12.02.2026*