

А.Е.НОВИХИН, В.М.СМАГИН

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

### ВЛИЯНИЕ ПРИТОКА АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД НА ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ

*Атлантические воды, поступающие в Арктический бассейн на современном этапе, кроме повышенной температуры, характеризуются также повышенными концентрациями ряда биогенных элементов и более низким содержанием растворенного кислорода. Анализ разрезов в зоне материкового склона северной части Карского моря выявил изменение вертикального распределения биогенных элементов и растворенного кислорода благодаря притоку более теплых, по сравнению с климатической нормой, атлантических вод начиная с 1975 года. Наиболее заметно это изменение проявилось с 1992 г. Также замечен процесс вытеснения придонных водных масс Восточно-Сибирского моря из северо-восточной части шельфа моря Лаптевых. Дальнейшее увеличение влияния атлантических вод может привести к перестройке вертикальной гидрохимической структуры в зоне сибирского материкового склона.*

#### ВВЕДЕНИЕ

Поступающие в Арктический бассейн на современном этапе атлантические воды, кроме повышенной температуры, характеризуются также повышенными концентрациями ряда биогенных элементов и более низким содержанием растворенного кислорода. Таким образом, изменения притока атлантических вод влекут за собой также и изменения в распределении биогенных элементов, что в свою очередь может отразиться на первичной продуктивности рассматриваемых районов.

Согласно исследованиям [5] большая часть изменений теплозапаса мирового океана, включая Северную Атлантику, за последние 50 лет отмечается в слое 0–700 м. Накопление тепла началось приблизительно с 1970 г. Отмечается локальный минимум в 1980-х гг., после чего с начала 1990-х гг. теплозапас снова начал расти. Похожая картина наблюдается и в Арктических морях.

#### ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

В работе использованы данные о концентрациях биогенных элементов, аккумулярованные в базе данных Российско-американского электронного гидрохимического атласа Северного Ледовитого океана [4]. Использованная часть данных охватывает период с 1945 по 2005 г. Однако основная часть данных приходится на летний сезон (июль–октябрь), в то время как зимних данных недостаточно.

Были построены вертикальные профили распределения температуры и гидрохимических параметров через 20° по долготе (от 60 до 180° в.д.) для выявления среднего многолетнего положения ядра атлантических вод. Вдоль среднего многолетнего положения ядра были построены разрезы многолетнего распределения температуры, растворенного кислорода, кремния и фосфатов. Разрез был поделен на 4 части, для каждой из которых проводился отдельный анализ.

Для выявления изменений в вертикальной гидрохимической структуре были построены разрезы вдоль кромки шельфа морей Карского и Лаптевых за периоды с 1945 по 1990 г. и с 1990 по 2005 г., что соответствует периодам пониженного и повышенного влияния атлантических вод на исследуемый район. К сожалению, выполнить подобные исследования для шельфового склона Восточно-Сибирского моря не позволяет малое количество гидрохимических данных 1990–2005 гг.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ

Гидрохимический режим арктических морей формируется под воздействием целого комплекса факторов. С одной стороны, это влияние атлантических вод и процессы взаимодействия с водами материкового стока. С другой стороны, это гидрометеорологические условия, циркуляция вод в пределах границ моря, влияние рельефа дна, образование и таяние льда, неравномерность распределения ледяного покрова, неравномерность обмена энергией и веществом с атмосферой и донными осадками, гидробиологические условия, биохимические и физико-химические процессы. Воздействие различных факторов взаимосвязано и изменяется с хорошо выраженной цикличностью [1, 3, 8].

Летом в северной и западной частях Карского моря режим определяется, в основном, поступающими из Арктического бассейна плотными и холодными водами атлантического происхождения. В осенне-зимний период на мелководных участках моря в результате развивающейся при ледообразовании вертикальной конвекции водная толща становится почти однородной по глубине по своим характеристикам. Лишь в глубоководных желобах Карского моря отмечается значительное влияние теплых промежуточных атлантических вод.

Наибольшие различия в вертикальном распределении кислорода в Карском море наблюдаются между северными глубоководными районами и южным мелководьем, где на гидрохимическом режиме сильно сказывается влияние речного стока. Характерной особенностью глубоководной части моря является наличие промежуточного минимума кислорода на глубине 70–75 м, совпадающего с минимумом температуры и слоем скачка плотности. Очевидно, этот минимум кислорода связан со скоплением в этом районе остатков детрита на границе раздела вод различной плотности, на окисление которого и расходуется кислород. На глубине 100–200 м наблюдается слой максимума насыщения. Здесь, как правило, наблюдаются максимальные температуры, что указывает на поступление в северную часть Карского моря со стороны Арктического бассейна вод атлантического происхождения. Поступление атлантических вод прослеживается в северо-западном районе моря в течение всего года.

При анализе западной части разреза вдоль среднего многолетнего положения ядра атлантических вод (60–90° в.д.) видно, что основные изменения начались с 1975 г., а в период с 1980 по 1985 г. отмечается некоторое ослабление притока атлантических вод (рис. 1). Затем наиболее ярко изменения в ядре атлантических вод прослеживаются с 1992 г. Эти результаты хорошо согласуются с данными, приведенными в работе [5]. Параллельно с изменениями температуры произошло уменьшение содержания растворенного кислорода, что вызвано уменьшением растворимости вследствие повышения температуры воды. Отмечается также некоторое увеличение концентраций кремния и фосфатов, причем увеличение концентраций последних особенно выражено в период после 1985 г., когда отмечается наиболее заметное увеличение температуры ядра атлантических вод.

Вторая часть разреза (90–120° в.д.) затрагивает северо-западную глубоководную часть моря Лаптевых. Эта часть разреза наименее обеспечена гидрохимическими данными.

Поверхностные водные массы этой части моря Лаптевых хорошо насыщены растворенным кислородом – до 110 %, а у кромки льда насыщение кислородом

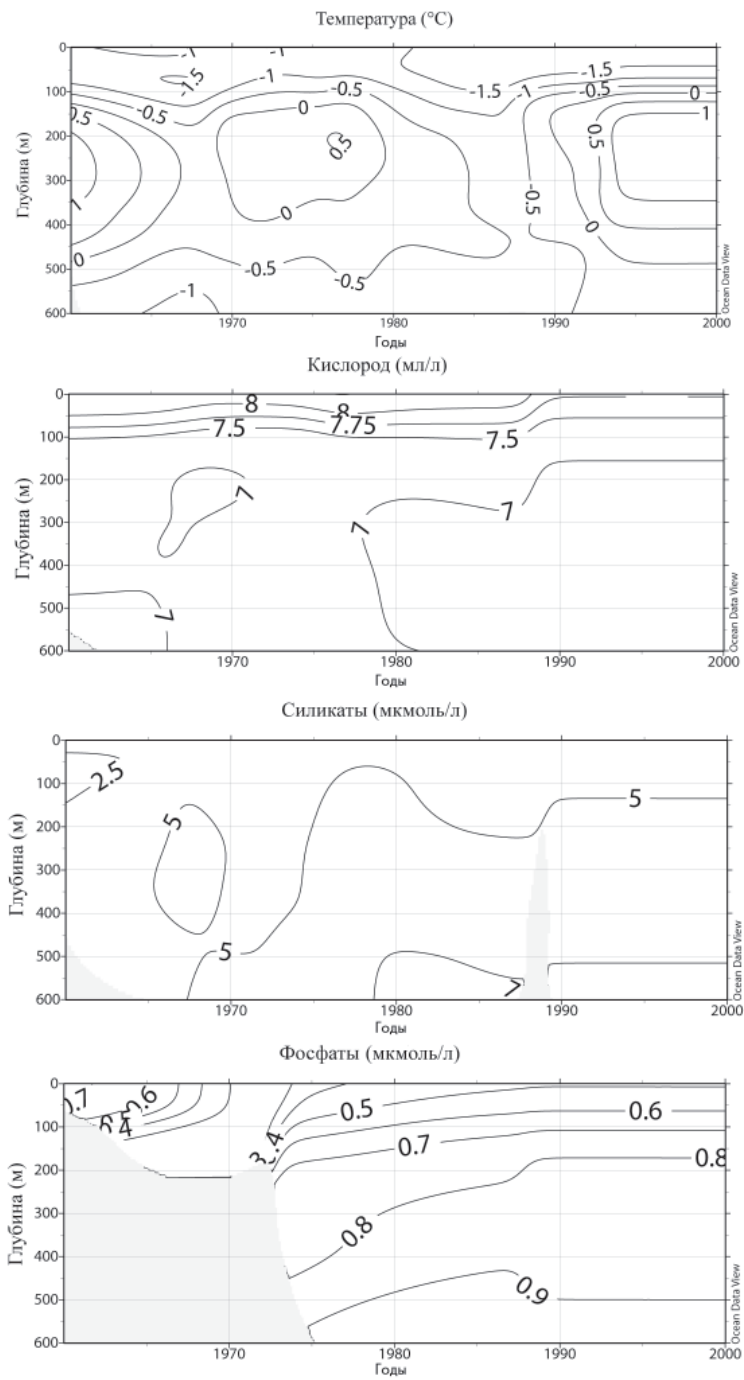


Рис. 1. Многолетняя изменчивость биогенных элементов на участке 60–90° в.д. (Карское море) разреза вдоль среднего многолетнего положения ядра атлантических вод

нередко достигает 125 %. Концентрации кремния, фосфатов и нитратов в этих водных массах очень низкие, часто около нуля. Отмечаются низкие значения щелочного коэффициента и высокие величины водородного показателя (рН) – до 8,30.

На глубине более 80 м сказывается отепляющее влияние атлантических промежуточных водных масс Арктического бассейна. Содержание растворенного кислорода в них составляет 7,0÷7,2 мл/л, кремния – 150÷200 мкг/л, фосфатов – 150÷180 мкг/л. Характерные значения рН составляют 8,15÷8,20 ед., а щелочного коэффициента – 680÷700 ед. [2, 7].

С начала 1990-х годов здесь также отмечается увеличение температуры атлантических вод. Присутствует, хотя и менее выражено, локальный минимум температуры в 1980-х гг. В этой части разреза концентрации кремния в слое атлантических вод изменяются незначительно. Отмечается лишь их уменьшение в поверхностной структурной зоне. Адвекция атлантических водных масс в последние годы обусловила также аномальное распространение речного стока в море Лаптевых – поверхностные водные массы, подвергшиеся воздействию речного стока, оказались зажатými в юго-западных районах моря.

Третья часть разреза (120–150° в.д.) относится к северо-восточной части моря Лаптевых. Характер многолетнего изменения температуры атлантических вод в этой части разреза сохраняется. Отмечается некоторое увеличение концентраций кислорода с 1975 г. Изменения концентраций растворенного кислорода хорошо согласуются с уменьшением концентраций кремния, на окисление которого кислород расходуется.

В части разреза между 150° и 180° в.д. также имеет место увеличение температуры атлантических вод в период 1993–1994 г. (рис. 2). С этого времени достаточно четко прослеживается уменьшение концентраций кремния в слое атлантических вод, обладающих пониженным содержанием силикатов, и увеличение содержания растворенного кислорода, изменение концентраций которого зависит от уменьшения концентраций кремния. Также отмечается заметное уменьшение поверхностных концентраций фосфатов в тот же период и на тех же горизонтах, как и при уменьшении содержания кремния.

Для выявления изменений в вертикальной гидрохимической структуре был проанализирован разрез вдоль шельфового склона морей Карского и Лаптевых (от 60 до 150° в.д.). Анализ разрезов в северной части желобов Св. Анны и Воронина в Карском море выявил значительное повышение температуры атлантических вод и связанное с ним падение концентраций растворенного кислорода. Увеличение придонных концентраций кремния, вероятно, обусловлено взмучиванием донных отложений под действием течения атлантических вод, взаимодействующего с донными отложениями на склоне желоба Св. Анны.

При анализе всего разреза от Карского моря до западной части Восточно-Сибирского моря также заметно увеличение температуры атлантических вод (рис. 3). Интересной особенностью восточной части разреза является падение концентраций кремния в поверхностной структурной зоне. Повышенное содержание кремния в этом районе характерно для водных масс Восточно-Сибирского моря.

Согласно схеме водных масс в море Лаптевых [6] повышенные концентрации кремния на приведенном выше разрезе до 1990 г. обусловлены присутствием придонных водных масс Восточно-Сибирского моря. Однако в связи с усилением влияния атлантических вод происходит оттеснение восточно-сибирских водных масс к востоку. При условии, что данная тенденция сохранится в дальнейшем, гидрохимическая структура восточной части моря Лаптевых и, соответственно, придонные концентрации кремния в северо-восточной части шельфа моря Лаптевых могут претерпеть изменения, что отразится на видовом составе организмов, обитающих в этом районе моря Лаптевых.

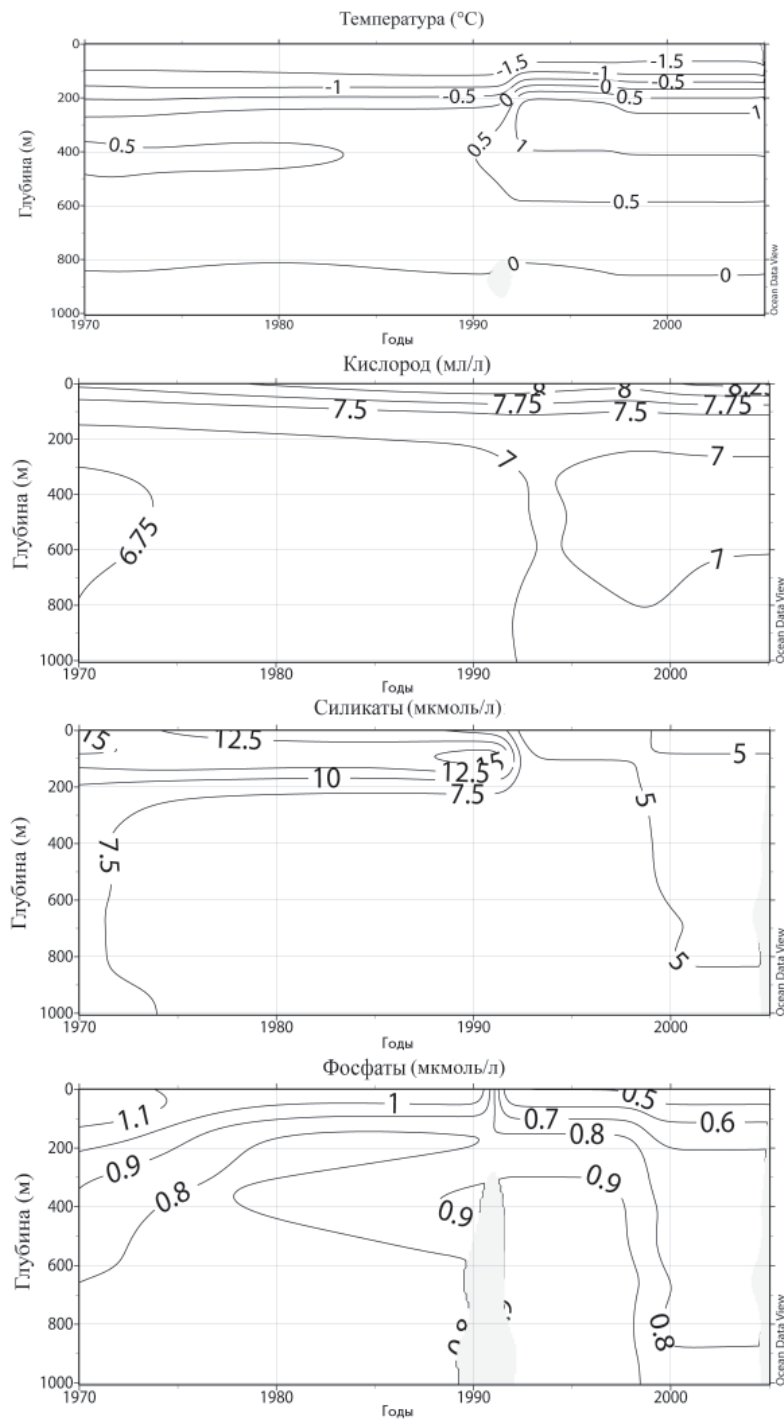


Рис. 2. Многолетняя изменчивость биогенных элементов на участке 150–180° в.д. (Восточно-Сибирское море) разреза вдоль среднего многолетнего положения ядра атлантических вод

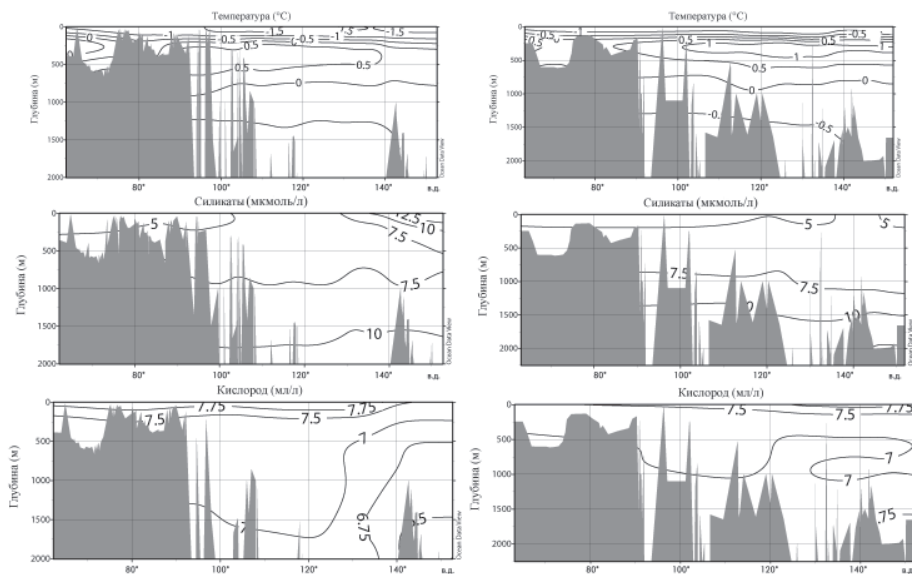


Рис. 3. Многолетняя изменчивость биогенных элементов на разрезе вдоль шельфового склона морей Карского и Лаптевых (60–150° в.д.) за периоды 1945–1990 гг. (слева) и 1990–2005 гг. (справа)

Что касается поверхностных вод, то на примере Карского моря можно показать, что хотя изменения распределения и концентраций биогенных элементов в связи с увеличением притока атлантических вод хорошо заметны в слое их распространения, в Карском море они не касаются распределения гидрохимических параметров в поверхностной структурной зоне. Как отмечалось выше, при анализе пространственного распределения гидрохимических параметров в слое 0–50 м Карского моря эти изменения не обнаружены.

#### ВЫВОДЫ

Таким образом, под влиянием увеличения притока атлантических вод происходит изменение вертикального распределения растворенного кислорода и силикатов в северной части желобов Св. Анны и Воронина в Карском море.

Происходит процесс вытеснения придонных водных масс Восточно-Сибирского моря из северо-восточной части шельфа моря Лаптевых.

Дальнейшее увеличение влияния атлантических вод на современном этапе может привести к перестройке вертикальной гидрохимической структуры в зоне материкового склона морей Сибирского шельфа. В то же время имеющихся натурных данных часто крайне мало для проведения исследований изменчивости гидрохимической структуры. В связи с этим требуется организация постоянных наблюдений за океанографическим режимом в зоне материкового склона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пивоваров С.В. Химическая океанография арктических морей России. СПб.: Гидрометеоздат, 2000. 88 с.
2. Пивоваров С.В., Смагин В.М. Гидрохимические исследования в море Лаптевых в 1993 г. // Научные результаты экспедиции ЛАПЭКС-93. СПб.: Гидрометеоздат, 1994. С. 210–221.

3. Смагин В.М., Русанов В.П., Катунин И.М. Гидрохимический режим и охрана вод низовьев и устьев рек западной Сибири и Карского моря в связи с перераспределением водных ресурсов // Проблемы Арктики и Антарктики. 1980. Вып. 55. С. 61–66.
4. Hydrochemical atlas of the Arctic Ocean. St. Petersburg, Fairbanks. 2001.
5. Levitus S., Antonov J., Boyer T. Warming of the World Ocean, 1955–2003 // Geophysical research letters. 2005. Vol. 32, L02604, doi:10.1029/2004GL021592.
6. Nitishinsky M., Pivovarov S., Holemman J. Water column structure and interannual variability of hydrochemical parameters at the transect along 75°30' N across the Laptev Sea in summer // ACSYS Final Conference: Book of Abstracts, WCRP-118 (CD), WMO/TD. № 1232. St.-Petersburg, Russia. 2004. P. 4.
7. Pivovarov S.V., Smagin V.M. Distribution of oxygen and nutrient in the Laptev Sea in summer // H.Kassens et al. (Eds.) Russian-German Cooperation: Laptev Sea System. Reports on Polar Research. 1995. № 176. P. 135–141.
8. Pivovarov S., Schlitzer R., Novikhin A. River run-off influence on the water mass formation in the Kara Sea // Siberian River Run-off in the Kara Sea: Characterisation, Quantification, Variability, and Environmental Significance. Proceedings in Marine Sciences. Vol. 6. Elsevier, Amsterdam. 2003. P. 9–27.

A.E.NOVIKHIN, V.M.SMAGIN

#### INFLUENCE OF THE ATLANTIC WATERS INFLOW ON THE NUTRIENTS VERTICAL DISTRIBUTION IN THE ARCTIC OCEAN

*The Atlantic waters inflowing to the Arctic Ocean at present days have lower oxygen and silicates concentrations together with higher temperature. Analysis of the transects in the Kara Sea continental slope region has revealed an altering of nutrients vertical distribution. This is an effect of the Atlantic waters inflow which have higher temperature in comparison with the climatic mean since 1975. This warming is more evident since 1992. Also, there is a displacement process of East-Siberian Sea water masses from the north-eastern part of the Laptev Sea. Further increasing of the Atlantic waters influence could cause the vertical hydrochemical structure reconstruction in the Siberian continental slope region.*