

УДК 551.465

А.Н. Демидов¹, Е.В. Колтовская², М.Е. Куликов³

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМОХАЛИННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Прослежены изменения температуры и солёности для Балтийского моря в целом и отдельно для районов Слупского желоба и Гданьской котловины по данным WOA 13 и HELCOM, а также по результатам натурных измерений. Основное внимание в исследованиях уделяется затокам североморских вод (ЗСВ), формирующих глубинный слой вод Балтийского моря. Произведен анализ условий формирования вод холодного промежуточного слоя. Прослежена связь характеристик вод этого слоя и ЗСВ с индексом североатлантического колебания (САК).

Ключевые слова: Балтийское море, Самбийский полуостров, Калининградская область, структура вод, затоки североморских вод, индекс САК.

Введение. Одной из важнейших задач океанологии является выявление связи гидрометеорологических факторов со структурой и динамикой вод, с целью прогнозирования изменений морской среды. В целом, структура вод Балтийского моря в теплое время года состоит из верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) и холодного промежуточного слоя (ХПС), которые разделяются термоклином. Ниже располагается глубинный слой, формирующийся за счет затока соленых и относительно теплых вод из Северного моря.

Гидрометеорологический режим, структура и циркуляция прибрежных вод Балтийского моря подробно изучены [Антонов, 1987; Нефть ..., 2012; Гидрометеорология ..., 1994]. Для характеристики режимообразующих факторов структуры вод Балтики в работе [Антонов, 1987] привлекались данные о пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических элементов за 1900–1986 гг. В то же время, изменение режима затоков североморских вод, в том числе существование длительных периодов без затоков в новейшее время и наличие новых данных являются основой для данной работы.

Структура и циркуляция вод Гданьской котловины, частично входящей в экономическую зону РФ, давно исследуется российскими учеными [Нефть ..., 2012; Демидов с соавт., 2011; Лаврова с соавт., 2014]. Большое внимание уделяется затокам североморских вод (ЗСВ) через Датские проливы, поскольку водообмен с Северным морем вносит существенный вклад в водный баланс Балтики вместе с другими его компонентами: стоком рек, атмосферными осадками и испарением [Антонов, 1987; Matthäus, Nausch, 2003; Matthäus, 2006; Matthäus et al., 2008; Mohrholz et al., 2015]. Соленые и плотные североморские воды при их больших поступлениях обновляют глубинные и придонные слои Балтийского моря. В случае отсутствия ЗСВ на больших глубинах

котловин проявляются застойные явления вплоть до возникновения сероводородного заражения [Антонов, 1987; Дроздов, Смирнов, 2008; Бабкин, 2015]. Слупский желоб – ключевой район для проникновения ЗСВ из Арконской котловины в котловины юго- и северо-восточной Балтики (Гданьскую, Готландскую и др.).

Целью настоящей работы является выявление особенностей многолетних изменений температуры и солёности, как для всей акватории Балтики, так и для отдельных ее регионов. Также произведен анализ условий формирования вод холодного промежуточного слоя и ЗСВ в Слупском желобе, Гданьской и Арконской котловинах и их связи с индексом североатлантического колебания (САК) и интенсивностью затоков.

Данные и методика измерений. Для выявления изменчивости температуры и солёности в Слупском желобе за период с 2004 по 2016 гг. были использованы CTD и батометрические данные на океанологических станциях HELCOM [www.helcom.org], а также результаты измерений из совместных экспедиций МГУ, БФУ, МФТИ и ИКИ РАН (рис. 1). Для определения значений придонной солёности в Арконской котловине использовались данные MARNET, взятые с сайта [http://www.bsh.de]. В рамках немецкого проекта MARNET установлено несколько автономных заякоренных станций на Балтике, измеряющих гидрологические параметры.

Данные для анализа многолетней изменчивости гидрологических характеристик (средних по десятилетиям) были взяты из атласа WOA 13 (World Ocean Atlas 2013) [Locarini et al., 2013; Zweng et al., 2013]. Измерения, положенные в основу WOA 13, были распределены по регулярной сетке на всей акватории моря с шагом в 0,5 градуса. При анализе использовано 220 точек с осредненными значениями по 26 слоям. В результате получены средние значения температуры и солёности за десятилетия, как по всему морю, так и по его отдельным частям.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии, ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: alik1@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии, студент; Институт океанологии имени П.П. Ширшова, лаборатория физико-геологических исследований, ст. лаборант; e-mail: katuayaya15@gmail.com

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии, студент; Институт океанологии имени П.П. Ширшова, лаборатория цунами им. С.Л. Соловьева, мл. науч. с.; e-mail: meksonesk@gmail.com

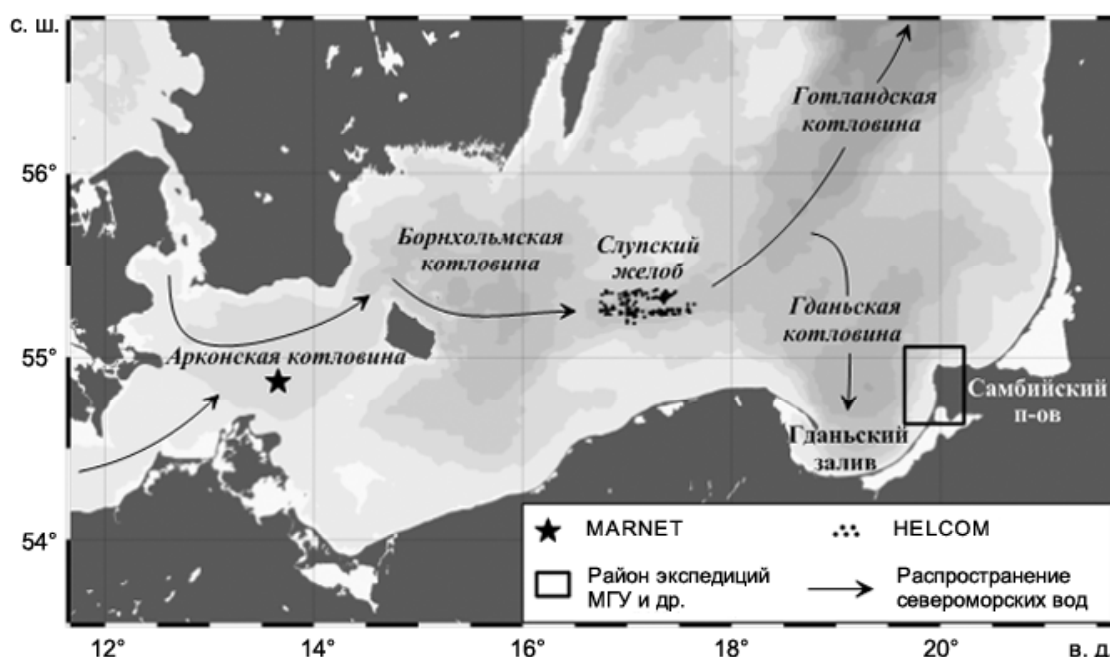


Рис. 1. Положение использованных станций в Слупском желобе [HELCOM] и точки долговременного мониторинга в Арконской котловине [http://www.bsh.de]. Стрелками обозначено распространение североморских вод (по [Дорохов с соавт., 2007] и [Matthäus, 2008])

Fig. 1. Position of used stations in the Slupsk trough [HELCOM] and the station of long-term monitoring in the Arkona deep [http://www.bsh.de]. The arrows indicate the propagation of the North Sea waters according to [Dorohov et al., 2007] and [Matthäus, 2008]

Для анализа связи затоков и среднееголетних изменений гидрологических параметров был взят индекс САК [www.cpc.ncep.noaa.gov]. Считается, что развитие ХПС достигает максимальной глубины в марте [Степанова с соавт., 2015]. Для анализа условий формирования ХПС использовались значения индекса САК за март с 2004 по 2016 гг.

Результаты исследований и их обсуждение. Климатические изменения температуры и солености. Анализировались среднееголетние значения термохалинных параметров Балтийского моря с 1955 по 2012 гг. [Locarnini et al., 2013; Zweng et al., 2013]. Рис. 2 иллюстрирует результаты расчетов изменений средней за десятилетия температуры и солености всей толщи вод в сравнении со среднегодовыми значениями этих параметров из работы [Omstedt, Nohr, 2004].

Видно, что для осредненных по десятилетиям значениям температуры и солености всего моря наблюдаются 2 периода. Первый период (с середины 1950-х до середины 1980-х гг.) характеризуется совместным ростом параметров: температуры на 0,2–0,3°C, солености на 0,2 епс. Во второй же период, начавшийся в конце 1980-х, наблюдается несовпадение в тенденциях хода температуры и солености: средняя температура моря повышается к десятилетию с 1995 по 2004 гг., затем понижается в

следующий период (2005–2012 гг.). Соленость, напротив, сначала резко падает в 1990-е гг. на 0,5 епс, достигая минимального значения в 7,1 епс к 1995–2004 гг., а затем увеличивается на 0,2 епс в 2005–2012 гг. Причем новейшие наблюдения (2012–2016 гг.) за соле-

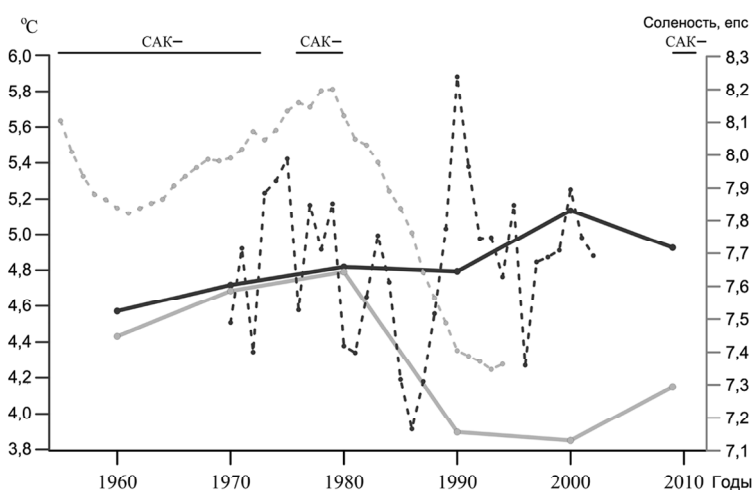


Рис. 2. Изменение температуры (черным) и солености (серым) Балтийского моря. Среднегодовые значения из [Omstedt, Nohr, 2004] – тонкие пунктирные линии. Среднедесятилетние значения по результатам расчетов по WOA 13 обозначены сплошными линиями. Показана отрицательная фаза индекса САК за декабрь–март в течение 2-х и более лет

Fig. 2. Changes of temperature (black) and salinity (gray) of the Baltic Sea. The mean annual values from [Omstedt, Nohr, 2004] are shown by thin dashed lines. The average decadal values from the results of calculations for WOA 13 are indicated by solid lines. The negative phase of the NAO index is shown for December–March for more than two years periods

ностью свидетельствуют о том, что она возрастает, судя по ЗСВ 2014–2016 гг. Тенденция изменений среднегодовой солёности [Omstedt, Nohr, 2004] хорошо согласуется с результатами настоящей работы, однако из-за исключения из осреднения [Omstedt, Nohr, 2004] вод Ботнического и Финского заливов средние величины солёности примерно на 0,5 епс меньше.

Температура вод Балтийского моря выросла в последние двадцать лет в связи с потеплением в Европе из-за сдвига на восток центров действия атмосферы в Северной Атлантике, что привело к большей (по сравнению с периодом 1955–1984 гг.) вероятности выхода глубоких циклонов в направлении на Северную Европу [Нестеров, 2013]. Эти климатические изменения хорошо характеризуются индексом САК. В отрицательную фазу индекса, до начала 80-х гг., средние гидрологические параметры слабо изменялись на протяжении тридцати лет. А когда индекс САК резко вырос, особенно в конце 80-х – начале 90-х годов, то вместе с повышением температуры, увеличилось количество осадков над акваторией и речными бассейнами Балтийского моря [Дроздов, Смирнов, 2008], что привело к повышению стока. В результате возрос уровень моря и затоки, регулярно повторявшиеся в предыдущие десятилетия (1955–1984 гг.), на несколько лет совсем прекратились [Matthäus, Nausch, 2003], а затем стали более редкими, хотя и большой интенсивности. Из них наиболее крупные затоки 1993, 2003 и 2014 гг. [Mohrholz et al., 2015].

Тенденция к возрастанию суммарного речного стока, характерная для второй половины 80-х гг., сменилась в 90-е гг. резким уменьшением стока, что привело к снижению уровня моря и возобновлению затоков [Дроздов, Смирнов, 2008]. На рубеже тысячелетий суммарный сток вновь возрос (с полувековым максимумом к 2000 г.), однако затем резко упал, достигнув минимума в 2004 г. за последние 60 лет, что также отразилось на его уровне и привело к мощному затопу 2003 г. [Matthäus, 2006]. Таким образом, существует цикличность в колебаниях уровня моря, связанная со значимыми периодами колебаний речного стока, например, 8, 11 и 16-летними циклами для большинства других рек водосбора Балтийского моря (например, Невы, Неман) [Бабкин, 2015].

Изменение гидрологических параметров в отдельных бассейнах Балтики. По данным HELCOM были прослежены изменения температуры и солёности за период с 2004 по 2014 гг. в районе Слупского желоба (рис. 3). Североморские воды, помимо повышенной солёности, заметно теплее вод ХПС. Помимо больших затоков североморских вод 2003 и 2014 гг., хорошо выделяются затоки 2006 и 2008 гг.

Для рассмотрения затоков североморских вод в Арконской котловине и Слупском желобе были построены графики изменения придонной солёности за период с 2002 по 2016 гг. (рис. 4).

Помимо мощных затоков 2003 и 2014 гг. выделяются затоки 2006, 2008 и 2009 гг., что соответ-

ствует ЗСВ из работ [Matthäus, Nausch, 2003; Matthäus et al., 2008]. Выделение этих затоков соответствует представлениям [Franck et al., 1987; Fischer and Matthäus, 1997], по которым наименьший объём среди больших затоков североморских вод составил 97 км³. В колебаниях солёности для придонных слоев Слупского желоба характерно смещение по времени наступления пиков наибольшей солёности после регистрации затоков в Арконской котловине. Это смещение варьируется для каждого затока в зависимости от его интенсивности составляет от одного до трех месяцев.

Для возникновения ЗСВ, согласно [Matthäus et al., 2008], необходима определенная синоптическая обстановка накануне и во время затока в Северной Атлантике. Как правило, затопу предшествует отток вод из Балтики, связанный с продолжительными восточными ветрами, повышающими уровень моря в районе Арконской котловины. Затем, на фоне смены атмосферной циркуляции, возникает мощный градиент давления, усиливающий зональные ветры, направленные в сторону Балтийского моря. И чем сильнее и продолжительнее эти ветры, тем интенсивнее будет затоп вод из Северного моря.

На рис. 4 видно, что затоки наступают после смены режима атмосферной циркуляции Северной Атлантики. Это выражается скачком индекса САК со сменной знака, что соответствует выводам [Matthäus et al., 2008]. За период с 1993 по 2016 гг. было проанализировано 18 затоков и выявлено 2 сценария их зависимости от среднемесячной величины САК. В 12-ти случаях за 1–2 два месяца до затока наблюдается изменение величины САК в среднем на 0,75, что часто сопровождается сменой фазы с отрицательной на положительную. Этому сценарию соответствуют 67% случаев затоков. К ним относятся самые большие затоки последних сорока лет (1993, 2003 и 2014–2015 гг.), сопровождающиеся очень резким скачком САК из выраженной отрицательной фазы в октябре до положительной (рис. 4). Оставшаяся доля (33%) приходится на сценарий, когда величина САК постепенно уменьшается на протяжении двух предшествующих затопу месяцев, и остается, как правило в положительной фазе. Этому сценарию соответствуют затоки 2003, 2008 и января 2014 гг. 2010 г. характеризуется резко выраженной отрицательной фазой САК в течение всего зимнего периода, в результате чего затоки были слабо выражены. В целом, количество затоков, произошедших за период с 1993 по 2016 гг., существенно выросло по сравнению с предшествующим десятилетием. Следует отметить, что в декабре 2015 года [Nausch et al., 2015] и в марте 2016 г., судя по записи станции MARNET [<http://www.bsh.de>], в Арконской котловине произошло 2 последовательных затока, следы которых, были зафиксированы в прибрежной зоне Самбийского полуострова во время экспедиционных исследований.

Изменчивость характеристик вод холодного промежуточного слоя. На рис. 3, А и Б хорошо выражен ХПС с минимальными температурами вод.

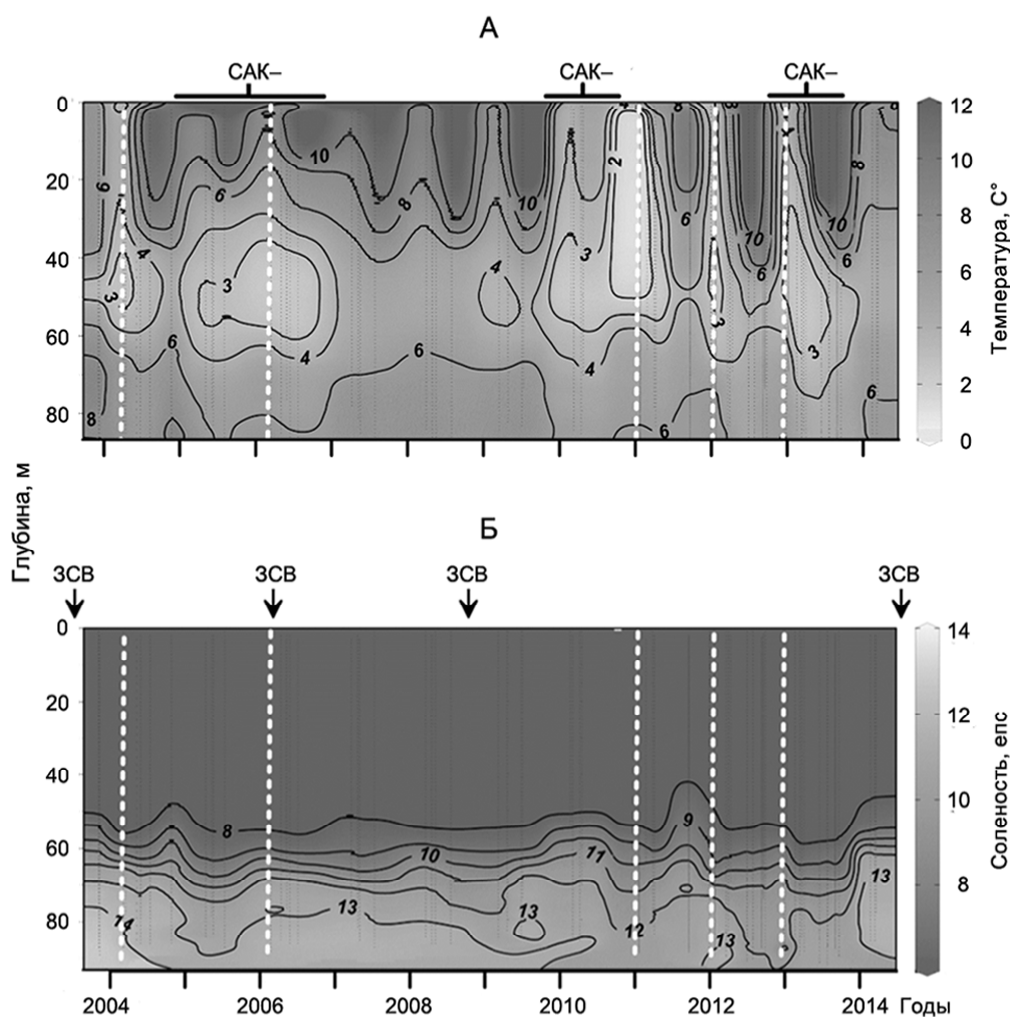


Рис. 3. Изменение температуры (А) и солёности (Б) с глубиной за период с 2004 по 2014 гг. в Слупском желобе. Пунктиром обозначены годы с зимними наблюдениями (февраль–март). Сверху САК– указаны годы с отрицательным мартовским индексом североатлантического колебания. ЗСВ – заливы североморских вод (по [Matthäus, 2008; Mohrholz et al., 2015], а также по данным io-warnemuende.de

Fig. 3. Changes of temperature (A) and salinity (Б) with depth for 2004–2014 in the Slupsk trough. White dotted lines indicate years with winter observations (February–March). Years with the negative March indices of the North Atlantic Oscillation are above the NAO. MBI – Major Baltic Inflows according to [Matthäus, 2008; Mohrholz et al., 2015; io-warnemuende.de]

Верхняя его граница представляет собой максимальный градиент температуры в слое термоклина. Нижняя граница – максимальный градиент солёности в галоклине, сформированный глубинными североморскими водами, причем его глубина меняется, что вероятно связано с локальными особенностями циркуляции вод или последствиями ЗСВ. Положение галоклина по глубине изменяется с течением времени и проявляется в некоторые годы в виде относительно высоких значений солёности на глубинах 60–70 м, и они способны замещать нижнюю часть слоя ХПС.

Можно проследить связь толщины и минимальной температуры ХПС с индексом САК. В Балтийском море температура в ядре ХПС достигает минимума в марте–апреле, при этом мощность и продолжительность его существования во многом зависит от суровости зим, атмосферной циркуляции и особенно от минимальной температуры в марте [Степанова с соавт., 2015]. В свою очередь, мар-

товский индекс САК определяет атмосферные условия в момент формирования ХПС – температуру воздуха, которая влияет на интенсивность зимней конвекции.

При отрицательной фазе САК преобладает отрицательная аномалия температуры воздуха. По сравнению с периодами положительных фаз САК, разницы между положительными и отрицательными аномалиями температуры составляют 8–10°C. Усиливается меридиональный перенос, и траектории прохождения циклонов смещаются на юг [Нестеров, 2013], а над южной частью Балтийского моря преобладают антициклоны с пониженной температурой воздуха. В такие годы мартовский индекс САК был отрицательным, и температуры воздуха в марте были ниже среднееголетних (в таблице они выделены курсивом) [<http://www.wetterzentrale.de>].

В летний период 2005, 2006, 2010, 2011 и 2013 гг. температура в ядре ХПС не поднималась выше

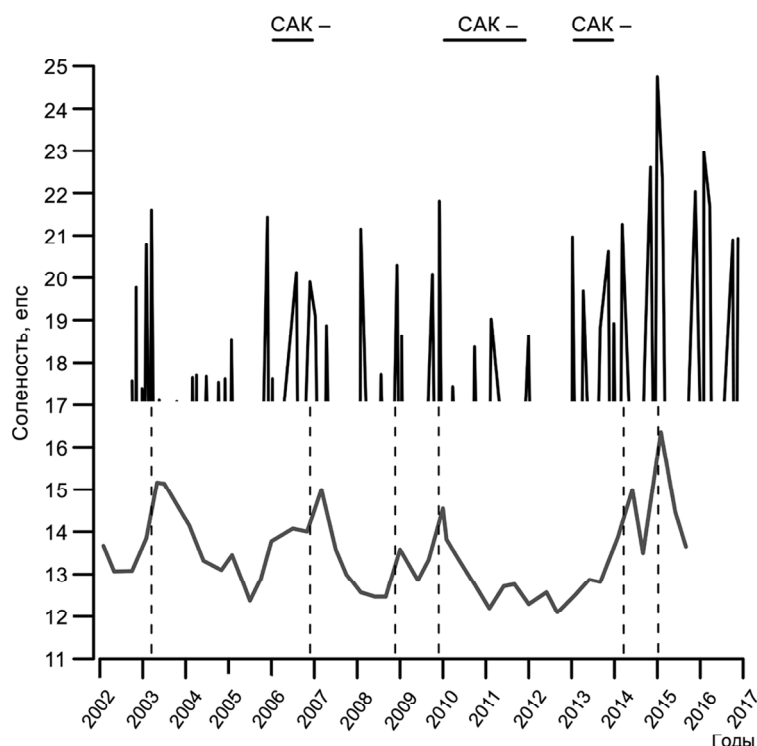


Рис. 4. Колебания придонной солености за период 2002–2016 гг. в Арконской котловине (черные линии) и Слупском желобе (темно-серая линия). Для Арконской котловины показаны только максимумы солености, пунктирной линией время наступления пиков максимальной солености. САК – это годы с отрицательным индексом североатлантического колебания за период декабрь–март

Fig. 4. Near bottom salinity fluctuations during 2002–2016 in the Arkona deep (black lines) and the Slupsk trough (dark gray line). For the Arkona deep the salinity maxima (>17 PSU) are shown; the dashed line shows the time of salinity peaks. NAO are the years with negative indices of the North Atlantic Oscillation in December–March

2,6°C. По результатам летних измерений можно сделать вывод, что в перечисленные выше годы ХПС сохранялся на протяжении всего года, залегая летом в среднем на глубинах 40–70 м.

В 2007, 2008, 2012, 2014 и 2015 гг. мартовский индекс САК был положительным. В атмосфере это характеризуется усилением зонального типа циркуляции [Нестеров, 2013] и преобладанием циклонов над южной частью Балтийского моря. Это сопровождается многочисленными осадками и, как следствие, положительными аномалиями приземной температуры воздуха. Зимние периоды 2007 и 2008 гг. отличались повышенной аномалией температуры воздуха в среднем на 3,5°C. В эти годы не отмечено зимнее выхолаживание, что препятствовало формированию ХПС с температурой в ядре ниже 4°C.

В холодный период 2010 г. сформировался ХПС с температурой ниже 2°C. Нижняя часть ХПС наблюдалась на глубинах 65–70 м два последующих года, а верхняя постепенно прогревалась. Этот оставшийся с 2010 г. слой в 2011 г. залегал на горизонтах от 40 м, в 2012 г. толщина слоя уменьшилась на 15 м, и верхняя граница была на 55 м. В 2012 г. в ХПС наблюдалась температура в ядре ниже 2,9°C.

Аналогичная ситуация прослеживается и в 2015 г., когда был высокий индекс САК, температуры с января по март были выше обычного (табл.), ХПС залегал на глу-

Значения аномалий средней температуры марта по сравнению со среднемноголетними по данным [http://www.wetterzentrale.de] в районе метеостанции Аркона. Также приведен мартовский индекс САК и характеристики ХПС в летние месяцы по данным HELCOM [www.helcom.org] и натурным измерениям в летний период. Годы с отрицательным мартовским САК выделены курсивом

Год	Средняя температура воздуха в марте, °C	Аномалии средней температуры воздуха марта, °C	Значения индекса САК за март	Температура ядра ХПС, °C	Положение слоя ХПС, м
2004	3,9	+1,0	1,02	3,06	40–70
2005	1,1	–1,8	–1,83	2,6	45–70
2006	0,5	–2,4	–1,28	2,07	20–65
2007	5,5	+2,6	1,44	4,18	30–70
2008	3,9	+1,0	0,08	4,30	30–70
2009	3,2	+0,3	0,57	4,04	30–65
2010	2,7	–0,2	–0,88	1,91	20–65
2011	2,4	0,5	0,61	2,02	30–65
2012	4,7	+1,7	1,27	2,68	30–70
2013	–0,3	–3,2	–1,61	2,16	25–70
2014	5,5	+2,5	0,8	3,93	25–55
2015	4,5	+1,5	1,45	4,95	45–65
2016	3,7	+0,8	0,73	5,07	35–60

бинах 30–40 м с температурой в ядре 5°C. Снизу его ограничивал галоклин, сместившийся вверх на 10–20 м (до горизонта 60 м) от обычного положения. На протяжении шести месяцев, с марта по август, в этом районе преобладали ветра западных румбов [http://www.wetterzentrale.de], и поверхностные течения были направлены в сторону Самбийского полуострова. Предположительно, это привело к заглублению теплых поверхностных вод. Также в 2015 г. придонные соленые воды поднимались до глубин 65–70 м. Был сформирован мощный ВКС, продолжавшийся до глубин 45 м летом. ХПС занял лишь тонкую прослойку между термоклином и галоклином толщиной менее 20 м.

В 2016 г., как и в предыдущем, температура в ядре ХПС составляла 5°C. Слой залегал на глубинах 35–60 м, однако температура в ядре ниже 5 градусов (4,9°C) с соленостью более 8 епс наблюдались и глубже – до 70 м, что стало следствием двух интенсивных заток, произошедших осенью 2015 г. и весной 2016 г.

Выводы:

– термохалинные характеристики Балтийского моря подвержены значимым многолетним изменениям. Для хода температуры и солености Балтийского моря в период 1955–1984 гг. тенденции их изменений были однонаправленные, а с 1985 по 2012 гг. – разнонаправленные, что связано с изменением фазы индекса североатлантического колебания (САК). Когда индекс САК резко вырос, особенно в конце 80-х – начале 90-х годов, то вместе с повышением температуры увеличилось количество осадков над акваторией и речными бассейнами Балтийского моря, что привело к увеличению стока [Дроздов, Смирнов, 2008]. В результате повысился уровень моря и затоки, регулярно повторявшиеся в предыдущие десятилетия (1955–1984 гг.), на несколько лет совсем прекратились (1989–1992; 1994–2002 гг.), а

затем стали более редкими, хотя и большой интенсивности [Дроздов, Смирнов, 2008]. В последние годы наблюдается уменьшение температуры и увеличение солености и достаточно частые затоки, не характерные для периода 1994–2002 гг.;

– наступление заток сопровождается сменой режима атмосферной циркуляции, что выражается в смене фазы и величины индекса САК. Больше половины значимых заток происходит при росте среднемесячных значений САК за 1–2 месяца в среднем на 0,75 и, в 66% случаев, при смене его знака с отрицательного на положительный. Менее значимые затоки в малом количестве происходили при сохранении положительной фазы САК и уменьшении его величины за 1–2 месяца;

– по данным изменчивости придонной солености в Арконской котловине и Слупском желобе за период с 2002 по 2016 гг. видно, что в периоды больших заток (2003, 2014 гг.) североморские воды в большом количестве поступают в Балтику. Максимумы солености в придонном слое Слупского желоба наступают через 1–3 месяца от момента регистрации заток в Арконской котловине, до которой непосредственно от Датских проливов они проходят за 2 недели – месяц;

– интенсивность зимнего выхолаживания и летнего прогрева поверхностного слоя зависит от температуры воздуха и преобладающего типа переноса воздушных масс, что связано с индексом САК. Соответственно, это влияет на формирование вод холодного промежуточного слоя (ХПС). Низкая температура ядра ХПС возникает при отрицательном мартовском индексе САК, относительно теплый ХПС формируется при его положительных значениях; очень холодный ХПС 2010 г. сохранился в 2011 г. при слабоположительном индексе САК. В слое 60–70 м ХПС может замещаться переходной зоной к североморским водам.

Благодарности. Результаты исследований, представленные в разделе «Изменчивость характеристик вод холодного промежуточного слоя», получены в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0015), а экспедиционные работы, обработка данных и исследования заток СМВ при поддержке гранта РГО-РФФИ (№ 17-05-41029 РГО_а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Антонов А.Е. Крупномасштабная изменчивость гидрометеорологического режима Балтийского моря и ее влияние на промысел. Л.: Гидрометеониздат, 1987. 248 с.

Архив метеорологических данных URL: <https://rp5.ru> (дата обращения 28.06.2017).

Бабкин В.И. Водные ресурсы в европейской территории России и их изменения в современный период // Общество. Среда. Развитие. 2015. № 2. С. 145–150.

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 3. Балтийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеониздат, 1994. 451 с.

Демидов А.Н., Мысленков С.А., Гриценко В.А. и др. Особенности структуры и динамика вод в прибрежной части Балтийского моря вблизи Самбийского полуострова // Вестн. Моск. ун-та. Сер. География. 2011. Вып. 1. С. 41–47.

Дорохов Д.В., Сивков В.В., Демидов А.Н. Опыт картирования придонной солености Балтийского моря в целях ландшафтного районирования // География и геоэкология: Поисковые исследования молодых ученых России. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. С. 52–60.

Дроздов В.В., Смирнов Н.П. Колебания климата и донные рыбы Балтийского моря. СПб.: Изд-во РГТМУ, 2008. 249 с.

Лаврова О.Ю., Краюшкин Е.В., Соловьев Д.М. и др. Влияние ветрового воздействия и гидродинамических процессов на распространение вод Калининградского залива в акватории Балтийского моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. Вып. 4. С. 76–99.

Нестеров Е.С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. М.: Триада ЛТД, 2013. 144 с.

Нефть и окружающая среда Калининградской области. Т. II. (Море) / Под ред. В.В. Сивкова, Ю.С. Каджояна, О.Е. Пичужкиной, В.Н. Фельдмана, Калининград: Терра Балтика, 2012. 576 с.

Степанова Н.Б., Чубаренко И.П., Шука С.А. Структура и эволюция холодного промежуточного слоя в юго-восточной части Балтийского моря по данным натурных измерений в 2004–2008 гг. // Океанология. 2015. Т. 55. № 1. С. 32–43.

Arcona station date (MARNET) URL: <http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen/MARNET-Messnetz/Stationen/arko.jsp> (28.06.2017).

Baltic Marine Environment Protection Commission – Helsinki Commission URL: <http://www.helcom.org> (дата обращения 28.06.2017).

Climate prediction center of NOAA URL: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov> (дата обращения 28.06.2017).

Fischer H., Matthäus W. The importance of the Drogden Sill in the Sound for major Baltic inflows // J. Mar. Syst. 1996. V. 9. P. 137–157.

Franck H. Major inflows of saline water into the Baltic Sea during the present century // Gerl. Beitr. Geophys. 1987. V. 96. P. 517–531.

Locarnini R. et al. World Ocean Atlas 2013. V. 1: Temperature / Ed.: S. Levitus, NOAA Atlas NESDIS 73. 2013. 40 p.

Leibniz Institute for Baltic sea Research Warnemünde URL: <http://www.io-warnemuende.de> (дата обращения 28.06.2017).

Matthäus W. The history of investigation of salt water inflows into the Baltic Sea from the early beginning to recent results // Inst. für Ostseeforschung. 2006. V. 65. P. 74.

Matthäus W., Nausch G. Hydrographic-hydrochemical variability in the Baltic Sea during the 1990s in relation to changes during the 20th century // ICES Mar. Sci. Symp. 2003. V. 219. P. 132–143.

Matthäus W., Nehring D., Fiestel R., Lass H. The inflow of highly saline water into the Baltic Sea // State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005: A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment. 2008. P. 265–309.

Mohrholz V., Naumann M., Nausch G., Krüger S., Gräwe U. Fresh oxygen for the Baltic Sea – An exceptional saline inflow after a decade of stagnation // J. Marine Systems. 2015. V. 148. P. 152–166.

National Oceanographic Data Center URL: <http://www.nodc.noaa.gov> (дата обращения 28.06.2017).

Nausch G. et al. Hydrographic-hydrochemical assessment of the Baltic Sea 2015 // Mar. Sci. Rep. 2015. V. 96. P. 1–92.

Omstedt A., Nohr C. Calculating the water and heat balances of the Baltic Sea using ocean modelling and available meteorological, hydrological and ocean data // Tellus. 2004. 56A. P. 400–414.

Weather archive URL: <http://www.wetterzentrale.de> (дата обращения 28.06.2017).

Zweng M. et al. World Ocean Atlas 2013, V. 2: Salinity / Ed.: S. Levitus. NOAA Atlas NESDIS 74. 2013. 39 p.

Поступила в редакцию 29.06.2017

Принята к публикации 12.03.2018

A.N. Demidov¹, E.V. Koltovskaya², M.E. Kulikov³

LONG-TERM CHANGES OF THERMOHALINE CHARACTERISTICS OF THE BALTIC SEA

Changes of temperature and salinity for the Baltic Sea in general and for the Slupsk Trough and the Gdansk Depression in particular were described, according to the World Ocean Atlas (WOA 13) and Helcom data, and using the observation data. The main purpose is to study the inflows of the North Sea waters (or Major Baltic Inflows – MBI), influencing the deep water layer formation in the Baltic Sea. The conditions of the seasonal cold interlayer (CIL) waters formation were analyzed. The parameters of the layer and MBI waters were correlated with the North Atlantic Oscillation (NAO) Index.

Key words: the Baltic Sea, Sambia Peninsula, Kaliningrad Region, water structure, Major Baltic Inflow (MBI), NAO index.

Acknowledgements. The results of the studies presented in the section «Variability of the characteristics of the cold intermediate layer waters» were obtained within the framework of the state task of the Russian Academy of Sciences (theme № 0149-2018-0015); the expedition work and data processing were financially supported by Russian Foundation for Basic Research and the Russian Geographical Society (project № 17-05-41029).

REFERENCES

Antonov A.E. Krupnomasshtabnaja izmenchivost' gidrometeorologicheskogo rezhima Baltijskogo morja i ee vlijanie na promisel [Large-scale variability of the hydrometeorological regime of the Baltic Sea and its impact on fishing]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987. 248 p. (in Russian).

Archive of meteorology date URL: <https://rp5.ru> (28.06.2017).

Arcona station date (MARNET) URL: <http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen/MARNET-Messnetz/Stationen/arko.jsp> (28.06.2017).

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Oceanology, Senior Scientific Researcher, PhD. in Geography; e-mail: alik1@mail.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Oceanology, student; P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of Physical-Geological Studies, Senior Laboratory Assistant; e-mail: katyayaya15@gmail.com

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Oceanology, student; P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, S.L. Soloviev Tsunami Laboratory, Junior Scientific Researcher; e-mail: meksonesk@gmail.com

- Babkin V.I.* Vodnye resursy v evropejskoj territorii Rossii i ih izmenenija v sovremennyj period [Water resources of the European territory of Russia and their changes during the modern period] // Obshhestvo. Sreda. Razvitie. 2015. № 2. P. 145–150 (in Russian).
- Baltic Marine Environment Protection Commission – Helsinki Commission URL: <http://www.helcom.org> (28.06.2017).
- Climate prediction center of NOAA URL: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov> (28.06.2017).
- Demidov A.N., Myslenkov S.A., Gricenko V.A. i dr.* Osobennosti struktury i dinamika vod v pribrezhnoj chasti Baltijskogo morja vblizi Sambijskogo poluostrova [Specific features of the structure and dynamics of waters in the coastal part of the Baltic Sea near the Sambia Peninsula] // Vestnik Mosk. un-ta. Ser. Geografija. 2011. V. 1. P. 41–47 (in Russian).
- Dorohov D.V., Sivkov V.V., Demidov A.N.* Opyt kartirovaniya pridonnoj solenosti Baltijskogo morja v celjah landshaftnogo rajonirovaniya [The experience of mapping the bottom salinity of the Baltic Sea for the landscape zoning] // Geografija i geojekologija: Poiskovyje issledovaniya molodyh uchenyh Rossii. M.: MGU, 2006. P. 52–60 (in Russian).
- Drozov V.V., Smirnov N.P.* Kolebanija klimata i donnye ryby Baltijskogo morja. [Climate variations and bottom fish of the Baltic Sea]. SPb.: Izd. RGGMU, 2008. 249 p. (in Russian).
- Fischer H., Matthäus W.* The importance of the Drogden Sill in the Sound for major Baltic inflows // J. Mar. Syst. 1996. V. 9. P. 137–157.
- Franck H.* Major inflows of saline water into the Baltic Sea during the present century // Gerl. Beitr. Geophys. 1987. V. 96. P. 517–531.
- Gidrometeorologija i gidrohimija morej SSSR. T. 3. Baltijskoe more. [Hydrometeorology and hydrochemistry of the USSR seas. V. 3. The Baltic Sea.] V. 1. Hidrometeorologicheskie uslovija. SPb.: Hidrometeoizdat, 1994. 451 p. (in Russian).
- Lavrova O.Ju., Krajushkin E.V., Solov'ev D.M. i dr.* Vlijanie vetrovogo vozdejstvija i gidrodinamicheskikh processov na rasprostranenie vod Kaliningradsckogo zaliva v akvatorii Baltijskogo morja [Impact of wind and hydrodynamic processes on the propagation of the Kaliningrad Gulf waters in the Baltic Sea] // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2014. V. 11. № 4. P. 76–99 (in Russian).
- Leibniz Institute for Baltic sea Research Warnemünde URL: <http://www.io-warnemuende.de> (28.06.2017).
- Locarnini R. et al.* World Ocean Atlas 2013. V. 1: Temperature / Ed.: S. Levitus, NOAA Atlas NESDIS 73. 2013. 40 p.
- Matthäus W.* The history of investigation of salt water inflows into the Baltic Sea-from the early beginning to recent results // Inst. für Ostseeforschung. 2006. V. 65. P. 74.
- Matthäus W., Nausch G.* Hydrographic-hydrochemical variability in the Baltic Sea during the 1990 s in relation to changes during the 20th century // ICES Mar. Sci. Symp. 2003. V. 219. P. 132–143.
- Matthäus W., Nehring D., Fiestel R., Lass H* The inflow of highly saline water into the Baltic Sea – State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005: A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment. 2008. P. 265–309.
- Mohrholz V., Naumann M., Nausch G., Krüger S, Gräwe U.* Fresh oxygen for the Baltic Sea – An exceptional saline inflow after a decade of stagnation // J. Marine Systems. 2015. V. 148. P. 152–166.
- National Oceanographic Data Center URL: <http://www.nodc.noaa.gov> (28.06.2017).
- Nausch G. et al.* Hydrographic-hydrochemical assessment of the Baltic Sea 2015 // Mar. Sci. Rep. 2015. V. 96. P. 1–92.
- Neft' i okruzhajushhaja sreda Kaliningradskoj oblasti. T. II. (More). [Oil and the environment of the Kaliningrad region. V. II. (Sea)]. K.: Terra Baltika, 2012. 576 p. (in Russian).
- Nesterov E.S.* Severoatlanticheskoe kolebanie: atmosfera i okean. [North Atlantic Oscillation: atmosphere and ocean]. M.: Triada LTD, 2013. 144 p. (in Russian).
- Omstedt A., Nohr C.* Calculating the water and heat balances of the Baltic Sea using ocean modelling and available meteorological, hydrological and ocean data // Tellus. 2004. 56A. P. 400–414.
- Stepanova N.B., Chubarenko I.P., Shchuka S.A.* Struktura i jevoljucija holodnogo promezhutochnogo sloja v jugo-vostochnoj chasti Baltijskogo morja po dannym naturnyh izmerenij v 2004–2008 gg. [The structure and evolution of the cold intermediate layer in the southeastern part of the Baltic Sea according to the data of 2004–2008 field measurements] // Okeanologija. 2015. V. 55. № 1. P. 32–43 (in Russian).
- Weather archive URL: <http://www.wetterzentrale.de> (28.06.2017).
- Zweng M. et al.* World Ocean Atlas 2013, V. 2: Salinity / Ed.: S. Levitus. NOAA Atlas NESDIS 74. 2013. 39 p.

Received 29.06.2017

Accepted 12.03.2018