

В.В. Дроздов, Н.П. Смирнов, Г.Т. Фрумин, А.В. Косенко

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТООБРАЗУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ НА ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЧУЖЕРОДНЫХ ВИДОВ, ПРИВОДЯЩИХ К БИОЛОГИЧЕСКОМУ ТРАНСГРАНИЧНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ\*

*Рассмотрены особенности многолетней изменчивости притока высокосоленых вод из Северного моря в Балтийское. Проанализировано и обосновано влияние климатообразующих процессов и природных механизмов, приводящих к возникновению интенсивных затоков североморских вод и их влияние на распространение чужеродных видов. Выполненный комплексный анализ причин динамики водообмена показал высокую степень зависимости его параметров от значений объема стока рек Швеции и уровня режима в юго-западных районах Балтики и пр. Каттегат. Показано, что параметры речного стока и интенсивность водообмена между морями находятся в свою очередь в высокой степени зависимости от степени и характера атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой в целом, в качестве показателя которой использовались различные варианты индексов Северо-Атлантического колебания (North Atlantic Oscillation – NAO).*

### **Ключевые слова:**

*Балтийское море, динамика климата, трансграничное биологическое загрязнение, океанологический водообмен, океанологический режим, чужеродные виды.*

В последние десятилетия одним из основных приоритетов в научных исследованиях учёных всего мира стало изучение колебаний климата на планете и их возможных последствий. Климатические изменения способны в значительной степени повлиять на ход широкого спектра естественных процессов, таких как океанологические, гидрологические и гидробиологические. При этом колебания климата и связанные с ним процессы изменения температурного режима воздуха, воды, режима осадков, водности рек, а также показателей биопродуктивности способны оказывать существенное и в некоторых случаях определяющее воздействие на интенсивность развития экономики ряда регионов России.

Перенос чужеродных морских организмов в новые для них природные условия с балластными водами судов и на их внешней обшивке, либо иными путями, определен Глобальным экологическим фондом (ГЭФ) как одна из четырех наиболее существенных угроз для Мирового океана [4; 5]. На долю морского транспорта приходится более 80% мировых перевозок, при которых ежегодно по всему земному шару перевозится от 3 до 10 млрд т водяного балласта. Водяной балласт является

незаменимым для безопасной и эффективной эксплуатации современного морского транспорта, обеспечивая остойчивость судов. Однако балластные воды могут представлять серьезную угрозу как для природы и экономики, так и для здоровья людей. В водяном балласте могут содержаться сотни видов морских организмов, чьи небольшие размеры позволяют им легко попасть в танки через отверстия приемных кингстонов. Ущерб окружающей среде от инвазивных чужеродных видов может значительно превышать отрицательные последствия всех других антропогенных факторов, в том числе токсического загрязнения [6; 8; 19; 21]. В отличие от большинства загрязняющих веществ антропогенного происхождения, которые в природных экосистемах в ходе процессов самоочищения обычно разрушаются и поддаются эффективному контролю со стороны человека, успешно вселившиеся чуждые организмы могут размножаться и распространяться в окружающей среде часто с непредсказуемыми и необратимыми последствиями. Оказавшись в новой среде, где нет обычных для них паразитов и хищников, чужеродные виды часто размножаются в огромных количествах. В результате конкуренции или выедания они могут по-

\* Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки РФ по гранту 14.В37.21.0651 «Разработка методов квотирования биогенных нагрузок и снижения рисков химического и биологического загрязнения трансграничных водных объектов на основе комплексного анализа данных гидрометеорологического мониторинга».

давливать или полностью вытеснять местные виды, что приводит к упрощению структуры сообщества и снижению его устойчивости к внешним воздействиям. Вселение чужеродных видов может способствовать ухудшению качества воды, распространению паразитов и болезней, в том числе опасных для человека [1; 2; 4–6; 19; 21].

К наиболее опасным чужеродным организмам, получившим распространение в морях Северо-Запада РФ, и в частности в Балтийском море, принадлежат двустворчатый моллюск дрейссена *Dreissena polymorpha*, китайский мохнаторукий краб *Eriocheir sinensis*, хищное планктонное ракообразное *Cercopagis pengoi*, гребневик мнемипсис *Mnemiopsis leidy*, токсичные сине-зеленые водоросли и другие виды, имеющие солоновато-водное и типично морское происхождение [5; 17; 20–22].

В целях координации действий по защите морской среды от трансграничного биологического загрязнения в 1992 г. Конференция ООН по окружающей среде и развитию (ЮНСЕД) предложила Международной морской организации (ИМО) создать эффективный механизм контроля, позволяющий снизить ущерб, наносимый «населением» балластных танков морских судов. Дипломатическая конференция, проходившая с 9 по 13 февраля 2004 г., приняла международную конвенцию по Контролю и управлению за корабельными балластными водами и отложениями [19]. Это новая международная конвенция принята с целью предотвращения потенциально разрушительных эффектов распространения вредных водных организмов, переносимых балластными водами судна.

В целом за последнее столетие в Балтийском море произошло расселение весьма значительного количества чужеродных видов. По литературным данным [1; 2; 5; 7; 17; 20; 21], уже к 1951 г. в Балтике появилось 14 новых видов (в течение XX-го в.), а к 1963 г. – 20. К 1999 г. количество чужеродных видов-интродуцентов во всех частях Балтийского моря увеличилось по сравнению с 1950-м в 2 раза, а в конце первого десятилетия XXI в. – в 2,5 раза. Во многих случаях быстрое распространение вселенцев объясняется наличием у многих из них в жизненном цикле свободно плавающей планктонной личинки.

Особенностью географического положения Балтийского моря является его значительная изолированность от открытого океана, по причине узости и мелководности Датских проливов и наличие значительного объема поступающего пресного

речного стока. В результате его акватории подвержены значительному опреснению, а полный обмен всей водной массы моря происходит не менее чем за 27 лет [15; 16]. Периодическая адвекция трансформированных североморских вод в южную и центральную части Балтики, обладающих повышенной соленостью и значительным содержанием растворенного кислорода, оказывает в основном положительное воздействие на морскую экосистему. Происходит значительное сокращению придонных сероводородных зон, улучшаются экологические условия воспроизводства организмов обладающих океаническим происхождением, расширяются ареалы и повышается урожайность ценных промысловых рыб [9–12]. Однако на этом фоне создаются благоприятные предпосылки для интенсивного расширения ареалов и успешной акклиматизации большинства наиболее опасных чужеродных видов.

Целью данной работы является обоснование природных механизмов влияния климатообразующих процессов на параметры водообмена Балтийского моря с Северным, океанологический режим и экологические условия, необходимые для распространения и акклиматизации в Балтике чужеродных видов перемещающихся с балластными водами судов.

Факторы формирования водообмена между Балтийским и Северным морями. В настоящее время механизм водообмена в Датских проливах, согласно мнению большинства исследователей [3; 7; 9; 11; 15; 16], представляется следующим образом. В районе Датских проливов и пролива Каттегат существует двухслойная система течений: в поверхностном опреснённом за счет значительного речного стока слое, водные потоки следуют в направлении Северного моря, формируя выходное течение, а в придонных горизонтах наблюдается проникновение солёных североморских вод в Балтийское море (входное течение). Такая система течений считается нормальной для данного района при малых скоростях ветра (до 5 м/с). При этом расходы верхнего потока могут значительно превосходить расходы нижнего. Так, при наличии антициклона над Центральной Европой, скорости ветра менее 8 м/с и значительном речном стоке, скорость течения на поверхности может в 20 раз превосходить придонные скорости. Прохождение циклонов с Северной Атлантики на восток и северо-восток сопровождается сильными западными ветрами. При этом система течений в проливах перестраи-

вается, и на всех горизонтах отмечаются входные потоки. В штормовых условиях в таких случаях в Балтийское море поступает огромное количество солёных вод. Так, в ноябре–декабре 1951 г. через проливы проследовало около 200 км<sup>3</sup> североморских вод [16]. Сильные восточные ветры, напротив, благоприятствуют преобладающему выносу вод из Балтийского моря.

Таким образом, водообмен Балтийского моря с Северным, являясь весьма изменчивой характеристикой, может быть показателем характера и направленности взаимодействия водных масс этих морей. Крупномасштабная изменчивость атмосферных процессов, развивающихся над Северной Атлантикой и территорией Европейского континента, приводит к колебаниям соотношения уровня между Балтийским и Северным морями. Возникающие в этом случае потоки воды в проливах также являются одним из важных факторов водообмена. За счёт речного стока создаётся постоянный поток пресных вод различной интенсивности, направленный в Северное море. Компенсационное плотностное противотечение с незначительными по абсолютному значению скоростями потока составляет ещё один фактор водообмена.

Сезонная и многолетняя изменчивость параметров водообмена. В годовом ходе суммарный водообмен ( $Q_{\text{сумм.}} = Q_{\text{приток}} + Q_{\text{отток}}$ ) характеризуется максимумами в весенние месяцы; в этот же период в большинстве случаев наблюдается наибольший отток воды из Балтийского моря ( $Q_{\text{от.}}$ ), что определяется максимальными расходами рек в период весеннего половодья. Максимальный приток воды

в море ( $Q_{\text{пр.}}$ ), как правило, имеет место в осенний и зимний периоды что в связи с усилением атмосферной циркуляции над морем и зоной проливов, что способствует поступлению вод в Балтику.

Межгодовая изменчивость водообмена между Балтийским и Северным морями и его составляющими проявляется в виде модуляций годового хода (изменений от года к году амплитуды, формы кривой, значений экстремумов) и долгопериодных колебаний. На рис. 1 представлены особенности многолетней изменчивости значений притока в Балтийское море и оттока. Данные с 1893 по 1975 гг. основываются на расчетах ЛОГОИН [16], данные с 1976 по 2005 гг. получены на основе материалов HELCOM [22].

В межгодовой изменчивости притока воды в Балтийское море можно выделить следующие главные особенности. С начала XX в. до 1920 г. и с 1940 г. до 1950-х гг. наблюдалось значительное возрастание приточной составляющей водообмена, причём наибольшие значения притока отмечались в последний период, когда максимумы, имевшие место в начале века, были превышены на 150 – 200 км<sup>3</sup>/год. В начале 1970-х годов снова было зафиксировано несколько максимальных значений притока, приближающихся к экстремальным, однако ясная тенденция к возрастанию притока не проявилась. Уменьшение поступления солёных североморских вод в Балтику было характерно для 90-х годов XIX в., для начала 1920-х гг. В период с 1920 по 1940 г. интенсивность притока находилась на низком уровне. Следующие периоды снижения притока пришлись

на конец 1950-х годов и середину 1980-х – начало 1990-х. В последний период наблюдалось самое значительное снижение интенсивности притока североморских вод в Балтику в XX в. Спектральный анализ приточной составляющей водообмена позволил выявить, что наиболее выраженный период ее изменчивости соответствует 56 годам. Выделяются также периоды длительностью 22, 18 и 3,4 года.

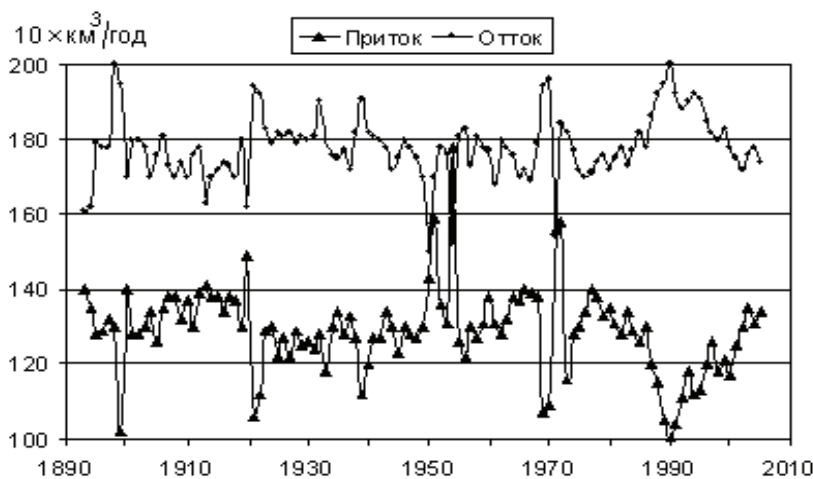


Рис. 1. Многолетняя динамика средних годовых значений приточной и отточной составляющих водообмена.

**Влияние на водообмен значений разностей уровненной поверхности моря.** Уровневая поверхность Балтийского моря формируется в результате совместного влияния таких факторов, как речной сток, водообмен с Северным морем, атмосферные осадки и испарение с поверхности моря, изменчивость атмосферного давления, скорости ветра, приливообразующих сил, циркуляции вод, и зависит также от колебаний земной коры и морфологических особенностей бассейна. Применительно к задачам настоящего исследования рассмотрение межгодовых и сезонных колебаний уровня представляется весьма обоснованным в силу того, что от величины разностей уровней в Балтийском и Северном морях может зависеть направленность водных потоков в зоне Датских проливов. Это в свою очередь определяет условия для проникновения в Балтику североморских вод, способных оказывать существенное влияние на режим моря.

Для целей сравнительного анализа динамики уровневой поверхности из совокупности имеющихся постов наблюдений были выбраны 7 наиболее репрезентативных, расположение которых представлено на рис. 2. Координаты пунктов следующие: Эсбьерг (Esbjerg) 58°28' с.ш., 08°26' в.д., Смоген (Smogen) 58°22' с.ш., 11°13' в.д., Гедсер (Gedser) 54°34' с.ш., 11°56' в.д., Кобенхавн (Kobenhavn) 55°41' с.ш., 12°54' в.д., Владиславово (Wladyslawowo) 54°48' с.ш., 18°25' в.д.

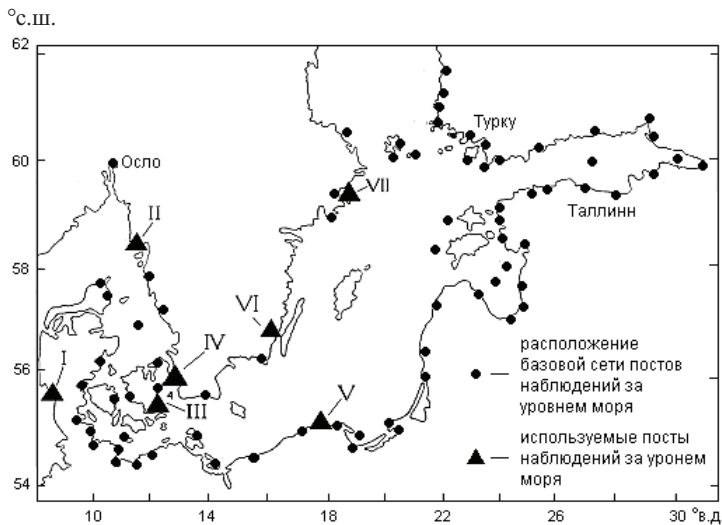


Рис. 2. Схема опорной сети уровневых постов Балтийского моря. Условным знаком и римскими цифрами обозначены посты наблюдений за уровнем, данные по которым используются в настоящей работе. I – Эсбьерг; II – Смоген; III – Гедсер; IV – Кобенхавн; V – Владиславово; VI – Кунгхольмсфорт; VII – Стокгольм.

Выбор конкретных пунктов был обусловлен, во-первых, наличием достаточно продолжительных рядов наблюдений (не менее 40 лет), во-вторых, расположением пунктов. Пункты Гедсер и Кобенхавн находится в зоне Датских проливов, пункт Смоген – в северной части пролива Каттегат, поэтому данные их наблюдений способны объективно отражать изменчивость уровня моря в районе наиболее тесного взаимодействия водных масс Балтики и Северного моря. Пост Эсбьерг расположен на западном побережье Дании. Данные его наблюдений отражают колебания уровня в восточной части Северного моря, непосредственно примыкающей к зоне проливов. Пост Владиславово отражает изменчивость уровня в юго-восточной части Балтики. Пост наблюдений Кунгхольмсфорт (Kungholmsfort) расположен на побережье Швеции около о. Эланд (54°48' с.ш., 18°25' в.д.).

Анализируя многолетние данные о динамике уровня моря на избранных постах наблюдений приходим к следующим выводам. На постах Эсбьерг и Гедсер проявляется общая тенденция к постепенному возрастанию уровня моря за весь рассматриваемый период, на посту Смоген – к снижению. Уровень на посту Кобенхавн демонстрирует незначительное возрастание только с начала 1970-х гг. По-видимому, данная ситуация может объясняться воздействием вертикальных движений земной коры, выражающихся в постепенном опускании территории Дании и поднятии территории Швеции. Колебания уровня моря, зарегистрированные на посту Владиславово, не позволяют однозначно говорить о наличии какой-либо заметной тенденции. Существенные возрастания уровня здесь были отмечены в 1967, 1981, 1989 гг., снижения – в 1960, 1969, 1984 гг. В сезонном ходе уровня для большинства районов Балтийского моря можно выделить два максимума и два минимума. Для зоны Датских проливов в годовом ходе уровня проявляется выраженный минимум в период с марта по май и максимум в августе (в западной час-

ном опускании территории Дании и поднятии территории Швеции. Колебания уровня моря, зарегистрированные на посту Владиславово, не позволяют однозначно говорить о наличии какой-либо заметной тенденции. Существенные возрастания уровня здесь были отмечены в 1967, 1981, 1989 гг., снижения – в 1960, 1969, 1984 гг. В сезонном ходе уровня для большинства районов Балтийского моря можно выделить два максимума и два минимума. Для зоны Датских проливов в годовом ходе уровня проявляется выраженный минимум в период с марта по май и максимум в августе (в западной час-

ти проливов) или в октябре (в восточной части). Для южного побережья Балтийского моря характерны два максимума: основной в августе и вторичный, менее значительный подъём уровня – в декабре. Проявление минимумов приходится соответственно на март–апрель и сентябрь–октябрь. В целом наиболее общими чертами в годовом ходе уровня Балтийского моря можно признать наступление минимумов в весенний период и в начале осени. Максимальные значения уровня приходятся на лето и позднюю осень.

Таким образом, в результате того, что осенью в Северном море, в проливах Скагеррак и Каттегат, отмечается высокое стояние уровня, а в Балтийском море в этот период – низкое стояние, складываются благоприятные условия для возрастания притока солёных североморских вод в Балтику. В связи с этим при исследовании особенностей механизма «влива» североморских вод следует обратить особое внимание на величины разностей уровней в осенний период.

При анализе многолетних значений уровней моря, осреднённые за три осенних месяца (сентябрь–ноябрь) для тех же пунктов наблюдений, что использовались при рассмотрении средних годовых колебаний уровней, выявляется следующая картина. Средний за осенний период уровень моря на посту Владиславово превышает соответствующий уровень на посту Гедсер практически на протяжении всего совместного периода наблюдений. Сравнивая значения уровней моря между постами Кобенхавн и Смоген можно заметить, что в период с 1911 по 1938 гг. уровень моря в северной части пролива Каттегат значительно (от 100 до 250 мм) превышал уровень в юго-западной Балтике. В дальнейшем, до 1984 г., для величин разностей уровня были свойственны несколько меньшие значения относительно предшествующего периода, которые, как правило, не превосходили 150 мм. С 1985 по 1993 гг. уровень моря в северной части пролива Каттегат превосходил уровень на посту Кобенхавн не более чем на 100 мм, кроме того, в 1978, 1985, 1990 и 1991 гг. наблюдалась обратная ситуация, когда уровень моря в Юго-западной Балтике превышал уровень на посту Смоген. Максимальное превышение уровня наблюдалось в 1990 г. и составило 82 мм применительно к средним значениям за осень. Применительно к средним годовым значениям превышение составило только 38 мм. При сравнении осреднённых за осенний период значений уровня

моря на постах Смоген и Гедсер обнаруживается, что в 1990 г. уровень на посту Гедсер превышал уровень на посту Смоген на 70 мм. Привлекая дополнительные данные, удалось установить, что уровень моря на посту Слипсхавн (Slipshavn, 55°17'с.ш., 10°50' в.д.), который располагается в зоне Датских проливов на 1°6' западнее пункта Гедсер, в 1990 г. также превысил уровень на посту Смоген на максимальное значение за весь совместный ряд наблюдений. Это превышение составило 140 мм за осенний период, тогда как использование средних годовых величин уровней даёт превышение только на 70 мм.

В целом на основе сравнительного анализа динамики уровней моря, можно с уверенностью говорить о том, что в самом начале 1990-х гг. имело место экстремальное возрастание уровня в юго-западной Балтике, что не могло способствовать возрастанию приточной составляющей водообмена между Балтийским и Северным морями и проникновению в Балтику значительного объёма солёной вод с высоким содержанием растворенного кислорода.

Подтверждением обнаруженных особенностей являются данные корреляционного анализа представленные в табл. 1. На рис. 3 показано сравнение величин разностей уровня между данными постами с приточной составляющей водообмена и солёностью в придонном горизонте Готландской впадины (горизонт 240 м).

Данные о динамике солёности и концентрации кислорода в придонных горизонтах Балтики получены на основе сведений ЛОГОИН (1951–1991 гг.) [16], АтлантНИРО (1980–2000 гг.) [13] и HELCOM (2000–2010 гг.) [22].

**Влияние на параметры водообмена климатообразующих процессов и Северо-Атлантического колебания.** Погода и климат Северной Атлантики и прилегающих к ней районов Северной Америки и Евразии в значительной мере зависят от атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, которая представлена системами Исландского минимума и Азорского максимума давления. Указанные системы называют центрами действия атмосферы. Благодаря им в умеренных широтах над Северной Атлантикой постоянно осуществляется перенос воздушных масс с запада на восток. Интенсивность переноса поддержана значительным колебанием во времени вследствие того, что параметры центров действия, т.е. их положение в пространстве и выраженность, варьируют. За меру интенсивности западного переноса

принимают разность атмосферного давления на станциях, расположенных около климатических центров действия [9; 14]. Эту разность давления, определяемую, как правило, в среднем за зимние месяцы, называют Северо-Атлантическим колебанием (North Atlantic Oscillation – NAO). Индекс атмосферной циркуляции NAO широко используется в мировой практике изучения колебаний климата и их причин.

Установлено, что возрастание интенсивности атмосферной циркуляции над северной Атлантикой сопровождается ростом скорости переноса тепла и влаги с океана в направлении Северной и Северо-Восточной Европы. В регионе Балтики в это время наблюдается потепление, происходит возрастание температур воздуха и воды, а также снижение площадей ледового покрова в зимнее время. Развитие циклонической деятельности приводит также к увеличению объема жидких и твердых атмосферных осадков, выпадающих на территорию Норвегии, Центральной и Северной Швеции и Финляндии. Рост интенсивности атмосферных осадков приводит к значительному увеличению расходов рек западной и северной частей водосборного бассейна в Балтику. Наличие положительного характера связи некоторых рек Прибалтики с Северо-Атлантическим колебанием можно объяснить исходя из предположения о некотором изменении траектории движения отдельных циклонов к юго-востоку при их движении над

континентом. Циркуляция поверхностных вод в Балтийском море, как и в большинстве других морей северного полушария, в целом носит циклонический характер, т.е. в направлении против часовой стрелки. В связи с этим есть основания полагать, что речные воды, поступающие в море с территории Швеции, в дальнейшем распространяются, в силу своей относительно малой плотности, преимущественно на юг и юго-запад. Усиление западного переноса будет способствовать развитию данной тенденции. Ее следствием будет являться определенное возрастание уровня моря в юго-восточной части Балтики, в особенности в мелководных и узких проливах Эрессун (Зунд) (уровенный пост Кобенхавн) и Малый Бельт (уровенный пост Гедсер), что в свою очередь ведет к замедлению процесса поступления водных масс из Северного моря. Получены положительные и значимые при 99%-м уровне обеспеченности коэффициенты корреляции между значениями среднего годового речного стока со Скандинавского полуострова в Балтику и средними годовыми значениями уровня моря на посту Гедсер (Дания) ( $r = 0,434$ ) и Кобенхавн ( $r = 0,461$ ), что подтверждает все вышесказанное.

В периоды снижения интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой увеличивается водность рек, бассейны которых располагаются на территории Германии и Польши, в то время как сток со Скандинавского полуострова

Таблица 1

**Коэффициенты корреляции между средними годовыми разностям уровней моря ( $\Delta H$ ) и значениями факторов морской среды в Готландской и Гданьской впадинах Балтики**

Параметр	Временной сдвиг относительно $\Delta H$ , гг.	$\Delta H$ на постах в среднем за год		
		Смоген и Кобенхавн	Смоген и Гедсер	Владиславо и Гедсер
Соленость в Готландской впадине, 240 м	0	0,684**	0,576**	-0,144
	1	0,571**	0,527**	-0,196
	2	0,602**	0,501**	-0,145
Соленость в Готландской впадине, 100 м	0	0,312	0,293*	-0,126
	1	0,281*	0,272	-0,113
	2	0,187	0,165	-0,084
Соленость в Гданьской впадине, 100 м	0	0,314*	0,301*	-0,136
	1	0,341*	0,326*	-0,154
	2	0,338*	0,315*	-0,148
Кислород в Готландской впадине, 240 м	0	0,523**	0,483**	-0,265
	1	0,524**	0,433**	-0,218
	2	0,544**	0,431**	-0,201

*Примечание.* Коэффициенты корреляции, выделенные знаком «\*\*», соответствуют 99% уровню обеспеченности, знаком «\*» – 95% уровню обеспеченности.

снижается. Можно предположить, что подобная ситуация также могла бы привести к некоторому возрастанию уровня моря в юго-западной Балтике и к соответствующему ограничению поступления североморских вод. Однако в таком случае, между значениями индексов NAO и солёностью, а также концентрацией растворённого кислорода должны были быть получены положительные коэффициенты корреляции. Но результаты произведенных расчётов, свидетельствуют об обратном. Возрастание значений индекса NAOоб. сопровождается снижением значений солёности и концентрации растворенного кислорода в придонном горизонте Готландской впадины ( $r = -0.445$  при  $P = 99\%$ ).

Таким образом, необходимо признать, что уровень моря в юго-западной части Балтики и в южных районах Датских проливов зависит в основном от поступления речных вод из северных и северо-западных областей бассейна. Однако это не означает, что при низких значениях интен-

сивности атмосферной циркуляции над северной Атлантикой и соответственно сниженном стоке рек Швеции создаются благоприятные условия для проникновения в Балтику водных масс из Северного моря. Необходимо учесть, что при слабой активности циклонических процессов нельзя ожидать существенного возрастания уровня в Северном море, а, следовательно, и соответствующего напора в проливе Каттегат, что на фоне увеличения весенних расходов рек южных регионов также не позволит проникнуть в Балтийское море значительным по объёму атлантическими водными массам. Оптимальные условия для проникновения североморских вод в Балтику можно ожидать при значениях индексов NAO, близких к среднему.

Анализ степени и характера связей между Северо-Атлантическим колебанием и динамикой уровня моря в различных районах Балтики показал следующее. Многолетняя динамика уровня моря на большинстве используемых постах наблю-

дений демонстрирует наличие значимой связи с обобщенным индексом NAOоб. при отсутствии временного сдвига. Наибольшая степень тесноты связи с интенсивностью атмосферной циркуляции ( $r = 0,512$  при  $P = 99\%$ ) характерна для уровня моря на посту Кунгхолмсфорт (Kungholmsfort), который расположен на южном побережье Швеции. Уровень моря на посту Кобенхавн, который расположен в зоне Датских проливов, также демонстрирует наличие связи с NAOоб. при высоком уровне обеспеченности ( $r = 0,421$  при  $P = 99\%$ ). Наименьшая значимая теснота связи с интенсивностью атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой характерна для уровня моря на посту Смоген, который расположен в северо-восточной части пролива Каттегат ( $r = 0,223$  при  $P = 95\%$ ). С уровнем моря в Стокгольме значимая связь

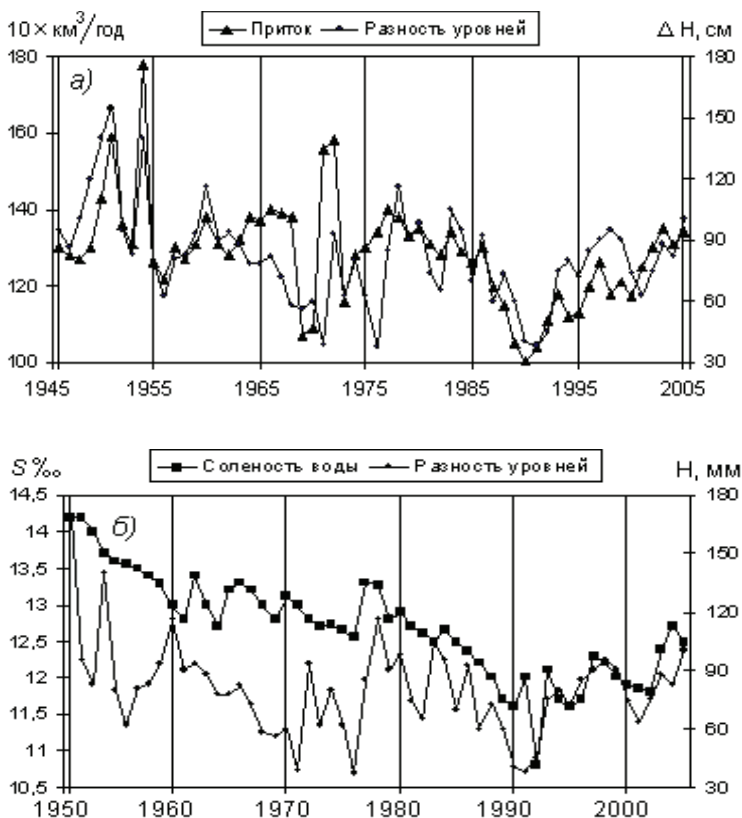


Рис. 3. Сравнение многолетней динамики значений средней годовой разности уровней моря на постах Смоген и Кобенхавн с приточной составляющей водообмена между Северным и Балтийским морями (а) и солёностью в придонном горизонте Готландской впадины (б).

отсутствует. Данные о динамике уровня Балтики, а также о речном стоке с различных участков бассейна моря получены из [22].

В целом рост интенсивности атмосферной циркуляции над Северо-Атлантическим регионом приводит к незначительному ( $r = 0,302$  при  $P = 95\%$ ) подъёму уровня моря у побережья западной Дании на посту Эсбьерг. В северо-восточной части пролива Каттегат, на посту Смоген, теснота связи с НАО ещё ниже. В связи с этим нельзя ожидать значительного поступления водных масс из Северного моря в Балтийское и возрастания уровня в собственно Балтийском море за счёт горизонтальной адвекции. Однако уровень моря на постах Кобенхавн и Кунгхолмсфорт, расположенных вблизи побережья Южной Швеции, демонстрирует достаточно высокую зависимость от Северо-Атлантического колебания. Весьма интересной особенностью оказалось то, что связь динамики интенсивности атмосферной циркуляции с разностями уровней моря между северной частью пр. Каттегат и юго-западными районами Балтики имеет отрицательный характер. Это является подтверждением вышесказанного о том, что в периоды роста НАО предпосылки для формирования мощного затoka не создаются.

Обобщив особенности многолетней динамики описанных выше гидрометеорологических характеристик, можно прийти к выводу о том, что за последние 50–100 лет наиболее экстремальные их значения наблюдались в период с конца 1980-х до начала 1990-х гг. Именно в это время интенсивность атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой достигла экстремально высоких за последние 100 лет значений, что привело к увеличению средних годовых температур воздуха на западном и восточном побережьях Балтийского моря, до одних из самых высоких значений, а также к значительному возрастанию температуры воды в промежуточных и глубинных горизонтах глубоководных впадин. Одновременно с этим уровень моря в юго-западных районах Балтики на постах Кобенхавн, Гедсер и Кунгхолмсфорт достиг наибольших величин за последние 100 лет регулярных наблюдений. На этом фоне в период с 1990 по 1992 гг. резко снизились значения солёности в глубинном и придонном горизонтах крупнейших впадин, причем в придонном горизонте Готландской впадины в 1992 г. было зарегистрировано экстремально низкое значение солёности за весь период инструменталь-

ных наблюдений. Снижение солёности и концентрации кислорода в глубинных и придонных горизонтах крупнейших впадин Балтийского моря на фоне развития атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой говорит о формировании в этот период определённого препятствия для проникновения в Балтику североморских вод. Таким препятствием может быть только возрастание уровня моря в южных, и в особенности в юго-западных районах моря расположенных непосредственно перед зоной Датских проливов.

Итак, следует признать в силу всего сказанного выше, что мощный и продолжительный заток североморских вод в Балтику, способный привести к существенному изменению гидрохимического и гидробиологического режима южных и центральных районов становится возможным только при значениях интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, близких к средним или немного ниже нормы. Это вполне согласуется с анализом натуральных данных. Например, очень мощный заток 1951 г. проявился на фоне значений НАОоб., равном 0,1 в долях дисперсии при среднем значении за период с 1895 по 2005 гг., равном  $-0,022$ . Менее мощные затoki в 1970, 1978, 2004 гг. произошли при значениях НАОоб., равных соответственно  $-0,8$ ;  $-1,1$ ;  $-0,79$  и т.д. Исключительно маломощные затoki формируются при значениях НАО, значительно превышающих норму. Например, экстремально низкое поступление североморских вод в 1989 и 1990 гг. происходило на фоне значений НАОоб. соответственно  $+3,9$  и  $+3,1$ . Данную закономерность целесообразно использовать в дальнейшем для разработки методики прогнозирования параметров водообмена между Северным и Балтийским морями.

Успех акклиматизации многих чужеродных видов и высокие оценки параметров производимых ими биологического загрязнения в некоторых морях Северо-Запада России, во многом зависят от специфики местных океанологических и гидрологических условий. Для чужеродных видов-интродуцентов из многих районов мира, моря Северо-Запада России, и в особенности мелководные южные и восточные заливы Балтийского моря, устьевые зоны, оказались по своим океанологическим условиям наиболее подходящими для акклиматизации, массового развития и натурализации. В Финском заливе в последнее десятилетие происходит интенсивное строительство новых крупных портовых



сооружений (порты Усть-Луга, Приморск, Высоцк и др.). Поэтому следует ожидать дальнейшего распространения и успешной акклиматизации чужеродных видов, привносимых с балластными водами су-

дов, в особенности в периоды усиления притока высокосолёных водных масс северо-морского происхождения в южные, центральные и частично в восточные районы Балтики.

### Список литературы:

- [1] Алимов А.Ф., Панов В.Е., Крылов П.И. и др. Проблема антропогенного вселения чужеродных организмов в водоемы бассейна Финского залива // Экологическая обстановка в Санкт-Петербурге и Ленинградской области в 1997 году. Справочно-аналитический обзор. – СПб., 1998. – С. 243–249.
- [2] Алимов А.Ф., Орлова М.И., Панов В.Е. Последствия интродукций чужеродных видов для водных экосистем и необходимость мероприятий по их предотвращению // Виды-вселенцы в европейских морях России. Сборник научных трудов. – Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2000. – С. 12–23.
- [3] Альтшулер В.М. Водообмен через Датские проливы и проблема анализа расчета водного баланса Балтийского моря // Труды ГОИН. – 1980, вып. 152. – С. 67–77.
- [4] Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах / Ред. А.Ф. Алимов, Н.Г. Богущкая. – М.: Т-во науч. изд. КМК, 2004. – 436 с.
- [5] Виды-вселенцы в европейских морях России / Отв. ред. Матишов Г.Г. – Апатиты: КНЦ РАН, 2000. – 312 с.
- [6] Волков С.В., Костюченко С.В., Зайцева С.Г. и др. Эффективный метод обеззараживания воды и ультрафиолетовое облучение // Инновации. Технологии. Решения. – 2007, № 2. – Интернет-ресурс. Режим доступа: <http://www.sibai.ru/content/view/760/890/>
- [7] Дгебуадзе Ю.Ю. Проблемы инвазий чужеродных организмов // Экологическая безопасность и инвазии чужеродных организмов: Сб. матер. круглого стола Всерос. конф. по экологич. безопасности. – М., 2002. – С. 11–14.
- [8] Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Самойлович В.Г. Озонирование в процессах очистки воды. – М.: Дели принт – 400 с.
- [9] Дроздов В.В., Смирнов Н.П. Колебания климата и донные рыбы Балтийского моря. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2008. – 249 с.
- [10] Дроздов В.В., Смирнов Н.П. Многолетняя динамика климата и гидрологического режима в районе Балтийского моря и ее причины // Метеорология и гидрология. – 2011, № 5. – С. 77–87.
- [11] Дроздов В.В. Особенности влияния динамики уровня моря в юго-западной Балтике и пролива Каттегат на гидрохимический режим в глубоководных горизонтах и промысловую продуктивность // Экологическая химия. Т. 20. – 2011, вып. 1. – С. 28–41.
- [12] Емельянов Е.М., Кравцов В.А. Гидрохимические особенности проникновения трансформированных североморских вод в юго-восточную Балтику // Океанология. Т.42. – 2002, № 1. – С. 54–59.
- [13] Зазера А.С. Многолетние изменения гидрологических характеристик глубинных вод юго-восточной Балтики (1980–2000 гг.) // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2000–2001 гг.: сб. науч. тр. Т. 2. Балтийское море. – Калининград: Изд. АтлантНИРО, 2002. – С. 7–12.
- [14] Смирнов Н.П., Воробьев В.Н., Кочанов С.Ю. Северо-Атлантическое колебание и климат. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 1998. – 122 с.
- [15] Суставов Ю.В. Водообмен Балтийского моря с Северным и его основные компоненты. Проблемы исследования и математического моделирования экосистемы Балтийского моря // Международный проект «Балтика», Вып.1. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – С. 45–56.
- [16] Проект «Моря СССР» Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 3. Балтийское море, Вып. 1. Гидрометеорологические условия – СПб.: Гидрометеиздат, 1992.
- [17] Региональный центр по биологическим инвазиям. – 2001. – Интернет-ресурс. Режим доступа: <http://www.zin.ru/projects/invasions/>
- [18] Belt Project. Seawater exchange of the Baltic. Measurement and methods // By Torben Schelde. – Denmark, 1980. – 107 p.
- [19] IMO (2004) International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments. International Maritime Organization. – Интернет-ресурс. Режим доступа: <http://www.imo.org> (01.11.2004)
- [20] Leppakoski E., Gollasch S., Olenin S. (eds) Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. – 583 p.
- [21] Leppakoski E., Gollasch S., Gruszka P. et al. The Baltic – a sea of invaders // Can. J. Fish. Aquat. Sci. – 2002, v. 59. – P. 1175–1188.
- [22] HELCOM. – Интернет-ресурс. Режим доступа: [www.helcom.fi/environment2/ifs](http://www.helcom.fi/environment2/ifs)