

О СОГЛАСОВАННОСТИ РЕЖИМНЫХ СДВИГОВ В ОКЕАНСКИХ ЭКОСИСТЕМАХ И СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ

Введение

Существенным фактором в флуктуации рыбных ресурсов являются режимные сдвиги в их пополнении. Под режимным сдвигом понимается быстрый и значительный переход от одного экологически устойчивого состояния, или режима, к другому вследствие климатических изменений, внутренней динамики или других воздействий [18].

Анализ содержания рыбной чешуи в морских донных осадках мористее Калифорнии свидетельствует об экстремальных природных циклах неэксплуатируемых рыбных популяций. Эти циклы согласуются с колебаниями климата и изменениями скорости вращения Земли [1]. Режимные сдвиги в биологической сфере характеризуются расширением или сужением области обитания популяций и/или замещением одних доминирующих видов другими [9]. В качестве примера таких сдвигов за последние годы можно привести изменение численности калифорнийской сардины. Этот вид после 45-летнего отсутствия в промысле появился (1992 г.) в районе Британской Колумбии – крайне северной области своего обитания, что свидетельствует о его экспансии. В 70-е годы происходили изменения в структуре придонных сообществ северо-восточной части Тихого океана. Сообщество, в котором доминировали креветки, крабы, заместились сообществом с преобладанием трески и другими донными рыбами [4]. Запасы трески и сельди Северной Атлантики испытывали во второй половине XX столетия как увеличение, так и снижение численности. Преобладающая причина сокращения запасов заключалась в чрезмерном их промысле. Однако продуктивность и распределение рыб находятся под воздействием изменчивости среды, необходимой для восстановления численности истощенных запасов. Предполагается, что климатическое влияние на запасы может передаваться через трофические уровни, обусловленные изменениями физических условий среды. «Тресковый взрыв» в Северном море в 70-е годы согласовался с изменениями в зоопланктоне, а сокращение запасов трески в Северо-Западной Атлантике – со слабым темпом роста и уменьшением средней массы рыбы в результате низких температур воды [4].

Приведенные примеры, безусловно, являются результатом глобальных изменений. Вместе с тем, важно понять, какой фактор, биологический или физический, лежит в основе режимного сдвига. Не исключается, что причина режимного сдвига заключается в более отдаленной пространственно-временной изменчивости. В данной работе анализируются режимные сдвиги в океанских экосистемах в связи с режимными сдвигами в скорости вращения Земли, интегрирующими климатические изменения.

Материал и методика

Сведения о режимных сдвигах в климатических, биологических, антропогенных сферах и экосистемах Мирового океана заимствованы из литературных источников. Для установления режимных сдвигов в скорости вращения Земли вычислялись стандартизированные значения второй производной межгодовых величин Long

of day (LOD). Положительные ее величины означают замедление, а отрицательные – ускорение вращения Земли.

Режимные сдвиги в океанских экосистемах

В Атлантическом океане в 20 – 30-е годы наблюдалось перемещение в северные моря субтропической флоры и фауны. В Тихом океане режимный сдвиг отмечался в начале 40-х годов у западного побережья Северной Америки коллапсом запасов сардины [23]. В конце 60-х годов биомасса анчоуса в экосистеме Перуанского течения достигла высокого уровня, но в начале 70-х запас уже находился в депрессивном состоянии. В 1977 г. в Беринговом море происходила резкая смена холодного периода на теплый. Режимные сдвиги в экосистемах северо-западной части Тихого океана, а также Перуанского течения наблюдались в конце 80-х годов, вдоль западного побережья Северной Америки отмечались в конце 90-х годов восстановлением запасов сардины после ее исчезновения в 40-х [4, 9]. Рост запасов сардины в 70-е годы происходил у Северо-Западной Африки. В водах Юго-Западной Африки сардина была многочисленной в 60-е. В последующие годы, до 80-х, ее запас находился в стадии коллапса [25]. В Северо-Восточной Атлантике численность атлантико-скандинавской сельди изменялась подобно численности сардины Юго-Западной Африки. Запасы их начали уменьшаться в 60-е, а восстанавливаться в 80-е годы.

Рассмотренные примеры показывают, что в крупных океанских экосистемах Мирового океана происходили фактически синхронные изменения в 20 – 30-х, 40-х, 60 – 70-х, 80-х и 90-х годах.

Режимные сдвиги в атмосфере и океане

Анализ ветровых полей за 100-летний период над северной частью Тихого океана позволил выделить два периода климатических изменений: один в 40-е, другой в 70-е годы [22]. В Беринговом море, кроме этих периодов, изменения климатических индексов происходили также в 90-е годы [24]. Существенное режимное изменение отмечалось в 1976 – 1977 гг. после интенсификации Алеутского минимума и усиления субарктической циркуляции. Усилились течения Ойясио к югу и Куроисио к северу [8]. Циклоническая активность в субарктической области Тихого океана продолжалась до 1988 г. В период 1989 – 1997 гг. она ослабла, и наступили относительно холодные зимы. В 1998 г. зимняя циклоническая активность вновь возросла, что свидетельствует об очередном режимном сдвиге в атмосфере.

В Северной Атлантике индекс климатических изменений – Североатлантическое колебание (САК), претерпевал переломные моменты от отрицательных значений в 50 – 60-х годах к положительным в 80-е начале 90-х и снова к отрицательным в 1995 – 1996 гг. [10]. В Южной Атлантике смена климатического режима от холодного к теплому зафиксирована в 1977 г. [2]. Изменения в атмосферных процессах сопровождаются режимными сдвигами в горизонтальном и вертикальном движении вод, которые ведут к изменениям уровней первичной, вторичной продукции и их видовой модификации [1]. В 60-х годах атмосферная циркуляция над Северной Атлантикой испытывала глубокую отрицательную фазу САК, в течение которой наблюдалась максимальная вентиляция вод Гренландского моря и ослабленная – Лабрадорского бассейна [10]. Усиленная конвекция в Гренландском море способствовала образованию «большой соленостной аномалии» в 1968 – 1972 гг., которая охватила в целом Северную Атлантику и отрицательно повлияла на биопродуктивность [1]. Исследования по программе World ocean circulation experiment (WOCE) зафиксировали

в 90-х годах экстремальные фазы междесятичных флуктуаций термохалинной циркуляции (ТХЦ) в Северной Атлантике [10]. Альтиметрические данные показывают ослабление ТХЦ с 1996 г., которое совпадает с режимным сдвигом САК от высоких величин к низким, ослаблением Северо-Атлантического течения (САТ) и его ветвей, смещение к югу на 2° Гольфстрима и Азорского течения [12]. Низкие значения САК сопровождалось слабыми западными ветрами, которые способствовали уменьшению поступления в Исландский бассейн и район Роколл холодных и пресных субарктических вод. Температура и соленость воды в Исландском бассейне и районе Роколл начала повышаться с 1995 г. [17]. В 1999 г. мода субарктических вод вернулась к холодным и пресным условиям. Ослабление ТХЦ совпало с увеличением формирования донных вод в Гренландском море в 1996 – 1997 гг. и уменьшением образования лабрадорских вод. Связь между темпами образования этих вод значима с $r = -0,53$ [20].

В Тихом океане после 1977 г. тихоокеанское десятилетнее колебание [the Pacific Decadal Oscillation (PDO)], характеризующее поверхностную температуру воды к северу от 20° с.ш., переходило от отрицательных значений к положительным (рис. 1). В дальнейшем, ближе к 1990 г., оно приближалось к норме и переходило в отрицательные значения в 1998 г. По данным [5], режимные сдвиги в северной части Тихого океана происходили в 1977, 1989 и 1998 гг. Эти годы практически совпадают с переломными моментами PDO. Гидрологические условия Ойясио и Куроисио изменялись в десятилетнем масштабе, соответствующем PDO [8]. Очевидный режимный сдвиг зоопланктона происходил в 1998 – 1999 гг. у Британской Колумбии: в его составе наблюдалось удвоение биомассы холоднолюбивых копепод [6].

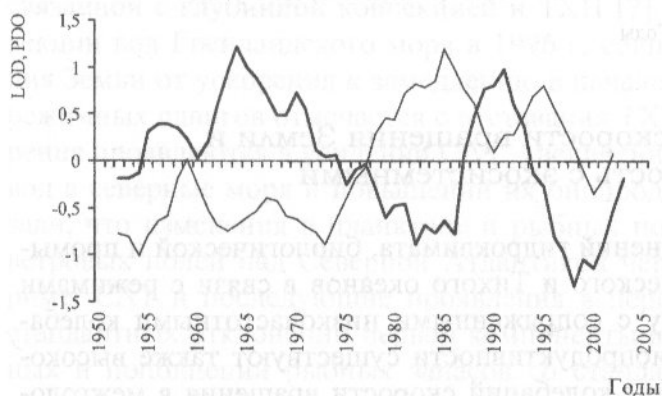


Рис. 1. Скользящие 5-летние стандартизированные значения второй производной LOD (жирная линия) и PDO (тонкая)

Fig. 1. Sliding estimates of the standardized values of the second derivative LOD (a thick line) and PDO (a thin line) for 5 years

В Калифорнийском течении наблюдалось изменение биомассы макрозоопланктона (рис. 2). Тенденция роста биомассы отмечалась с 60-х до 70-х годов с последующим ее уменьшением. Эти изменения могут быть связаны с флуктуациями Калифорнийского течения посредством предлагаемого механизма [21]. Источник Калифорнийского течения располагается в месте раздвоения Западного дрейфового течения на чередующиеся потоки, направленные на север или на юг. Воды дрейфового течения, протекающие через центральную область океана, обогащаются хлорофиллом, максимум которого был впервые отмечен здесь в середине 70-х годов [15]. В месте раздвоения, когда усиливается поток на юг, увеличивается вынос биогенных элементов в Калифорнийское течение, способствующий росту биомассы крупных холоднолюбивых копепод. При ослаблении этого потока доминируют мелкие теплолюбивые копеподы – основа питания молоди сардины [8]. Такие большие низкочастотные изменения в биомассе зоопланктона не коррелируются с индексом локаль-

ного апвеллинга, предполагается влияние внешнего воздействия на биологические колебания экосистемы [21]. Ограничение поступления в Калифорнийское течение вод с севера повышает температуру воды и понижает плотность её верхнего слоя, что ослабляет обмен его с глубинными водами. Об ослаблении Калифорнийского течения в середине 70-х годов свидетельствует не только уменьшение биомассы макрозоопланктона, но также колебания уровня моря и индекса апвеллинга. Наблюдаемое повышение температуры воды в поверхностном слое при интенсификации апвеллинга объясняется слабым потоком вод с севера. Уровень моря на береговых станциях повышался, а не понижался, как это должно быть при усилении течения. Таким образом, все три фактора: биомасса макрозоопланктона, уровень моря, индекс апвеллинга – указывают на ослабленный вынос вод с севера Калифорнийским течением. Биологическая реакция на режимные сдвиги в заливе Аляска противоположна Калифорнийскому течению. Увеличение поступления вод с юга, которое преобладало с 1976 – 1977 гг., повысило численность зоопланктона и уловы рыбы [21].

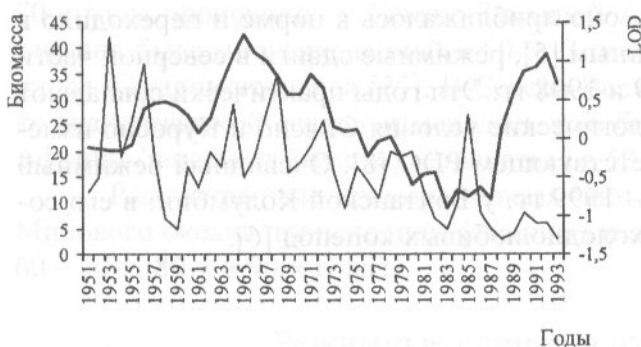


Рис. 2. Индекс биомассы макрозоопланктона [15, рис. 2] в Калифорнийском течении (тонкая линия) и скользящие 5-летние стандартизированные значения второй производной LOD (жирная линия)

Fig. 2. Macrozooplankton biomass index [15, fig. 2] in the California Current (a thin line) and sliding estimates of the second derivative LOD (a thick line) for 5 years

Режимные сдвиги в скорости вращения Земли и их согласованность с экосистемными

Исследования глобальных изменений гидроклимата, биологической и промышленной продуктивности вод Атлантического и Тихого океанов в связи с режимами вращения Земли показали, что наряду с сопряженными низкочастотными колебаниями скорости вращения Земли и биопродуктивности существуют также высокочастотные. Для установления структуры колебаний скорости вращения в межгодовом масштабе вычислялась вторая производная LOD. Ход ее представлен на рис. 3. Экстремумы, превышающие стандартное отклонение, в отрицательной области (1914, 1928, 1984, 1998 гг.) характеризуют режимные сдвиги от ускорения к замедлению; в положительной области (1940, 1964, 1990 гг.) – от замедления к ускорению. Синхронные изменения в экосистемах Мирового океана, происходящие в 20 – 30-х, 40-х, 60 – 70-х, 80-х, 90-х годах совпадают с экстремумами скорости вращения Земли. Вместе с тем, качественные изменения в экосистемах могут различаться. В одних экосистемах смена режимов приводит к полидоминантному, в других, наоборот, к монодоминантному сообществу организмов. В экосистемах субарктики Тихого океана (Аляскинского залива, Берингова моря) в режиме ускорения (1976 – 1988 гг.) наблюдалось увеличение биоразнообразия сообщества организмов, а также рост численности рыб. Режимный сдвиг в 1989 г. на замедление вращения характеризовался обратным эффектом, который продолжался до 1997 г. В 1998 г. режимный сдвиг на ускорение вращения совпал с усилением циклонической активности в атмосфере. В экосистеме Калифорнийского течения наблюдались противоположные изменения по сравнению с экосистемами северной части Тихого океана. В режиме замедления эко-

система Калифорнийского течения обогащалась биогенными элементами, увеличивалась биомасса макрозоопланктона, анчоуса [15]. В режиме ускорения в водах Калифорнийского течения доминируют мелкие копеподы, которыми питается молодь сардины. Наличие достаточного количества пищи способствует более высокому пополнению запасов.

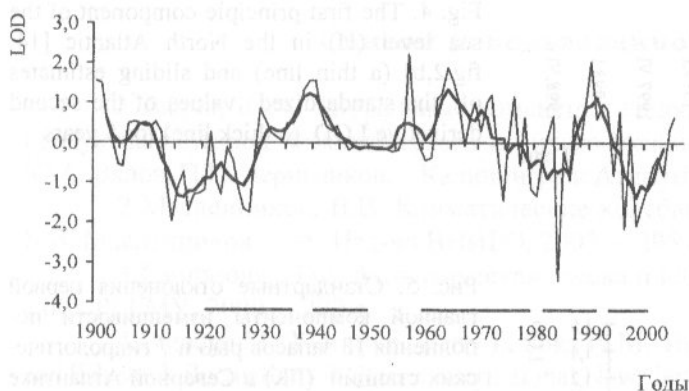


Рис. 3. Стандартизированные значения второй производной LOD (тонкая линия) и ее 5-летняя скользящая (жирная линия). Режимные сдвиги в океанских экосистемах (пунктирная линии)

Fig.3. Standardized values of the second derivative LOD (a thin line) and its sliding estimate (a thick line) for 5 years. Regime shifts in the ocean ecosystems (a dotted line)

Над Северной Атлантикой преобладающей модой атмосферной циркуляции является САК [19]. Крупномасштабные океанские аномалии в Северной Атлантике тесно связаны с его фазами. Фазы САК согласуются с режимами LOD [1]. В режиме ускорения преобладают положительные САК, а в режиме замедления – отрицательные. Изменение САК представляется как часть глобально-климатической модели, связанной с глубинной конвекцией и ТХЦ [7]. Ослабление ТХЦ и увеличение конвекции вод Гренландского моря в 1996 г. совпадает с изменением скорости вращения Земли от ускорения к замедлению в начале 90-х годов. Лучшая согласованность режимных сдвигов отмечается с отставания ТХЦ (рис. 4). Последствия режима ускорения проявляются в усилении САТ, увеличении поступления теплых атлантических вод в северные моря и повышении их биопродуктивности. Исследования [13] показали, что изменения в планктоне и рыбных популяциях согласуются с вариациями ветровых полей над Северной Атлантикой через адвективные эффекты в Гольфстриме, САТ и последующие проявления в периферийных системах. Сопоставление стандартных отклонений первой компоненты в изменчивости гидрологических данных и пополнении рыбных запасов со стандартизированными значениями второй производной LOD показывает хорошую согласованность (рис. 5). Пики пополнения совпадают с отрицательными значениями второй производной LOD, характеризующей ускорение вращения Земли. Подобная согласованность отмечается с пополнением трески Северо-Восточной Атлантики в последние два десятилетия прошлого века (рис. 6). «Тресковый взрыв» в Северном море (60 – 70-е годы), наоборот, проходил в режиме замедления. Противоположные колебания в пополнении запасов североморской и арктонорвежской трески объясняются обратными тенденциями в образовании благоприятных условий для биопродуктивности, как у популяций, обитающих в северных и южных периферийных областях вида. В северной области пополнению благоприятствует повышение температуры воды, в южной – ее понижение [3, 11]. Вместе с тем, температура воды оказывает только косвенное влияние на экосистемные изменения [9]. Зависимость ее колебаний от многих факторов (обмен тепла с атмосферой, адвекция течения, апвеллинг, перемешивание вод) может служить индексом динамики вод, включающим «bottom-up» контроль биопродуктивности.

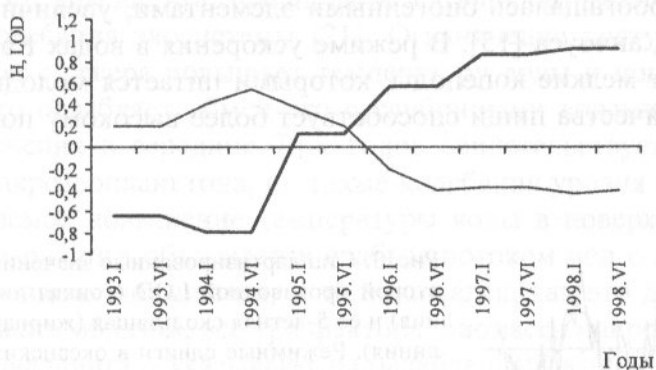


Рис. 4. Первая главная компонента уровня моря (H) в Северной Атлантике [14, рис. 2, b] (тонкая линия) и скользящие 5-летние стандартизованные значения второй производной LOD (жирная линия)

Fig. 4. The first principle component of the sea level (H) in the North Atlantic [14, fig.2,b] (a thin line) and sliding estimates of the standardized values of the second derivative LOD (a thick line) for 5 years

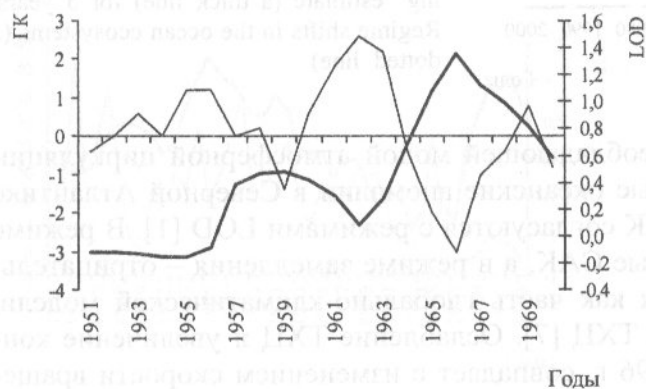


Рис. 5. Стандартные отклонения первой главной компоненты изменчивости пополнения 18 запасов рыб и 7 гидрологических станций (ГК) в Северной Атлантике [13, рис. 121] (тонкая линия) и скользящие 5-летние стандартизованные значения второй производной LOD (жирная линия)

Fig.5. Standard deviation of the first principle component (PC) of the recruitment variations for 18 fish stocks and 7 hydrological stations (PC) in the North Atlantic [13, fig. 121] (a thin line) and sliding estimates of the standardized values of the second derivative LOD (a thick line) for 5 years

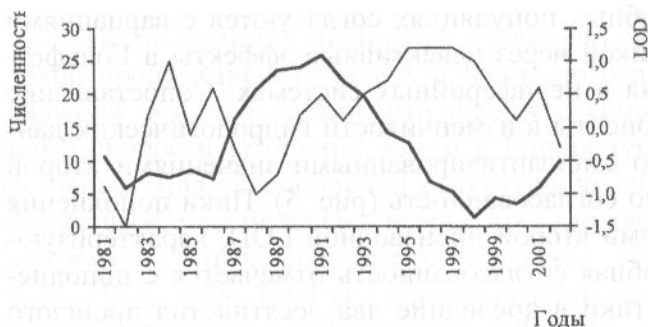


Рис. 6. Индекс численности трески в Северо-Восточной Атлантике в возрасте одного года [16] (тонкая линия) и скользящие 5-летние стандартизованные значения второй производной LOD (жирная линия)

Fig. 6. An abundance index for cod from the North-East Atlantic at the age of one [16] (a thin line) and sliding estimates of the standardized values of the second derivative LOD (a thick line) for 5 years

Анализ режимных сдвигов, по нашему мнению, способствует овладению знаниями о биологических, абиотических и антропогенных составляющих экосистем и их взаимодействии. Эти знания необходимы для применения интегрального подхода в промысле с целью сохранения и восстановления рыбных запасов, развития экосистемного подхода в оценке и управлении морскими ресурсами.

Благодарности

Автор благодарен к.т.н. Г.А. Чернега за помощь в выполнении расчетов и графическое оформление рисунков, а также Л.И. Старовойтовой за техническое оформление статьи.

Список использованной литература

1. Вялов, Ю.А. Глобальные изменения гидроклимата, биологической и промысловой продуктивности вод Атлантического и Тихого океанов в связи с режимами вращения Земли / Ю.А. Вялов, П.П. Чернышков. – Калининград: АтлантНИРО, 2004. – 146 с.
2. Масленников, В.В. Климатические колебания и морская экосистема Антарктики / В.В. Масленников. – М: Изд-во ВНИРО, 2003. – 295 с.
3. Смирнова, Н.Ф. Атлантическая треска и климат // Н.Ф. Смирнова, Н.П. Смирнов. – Спб.: РИГМУ, 2000. – 222 с.
4. Barange M., Werner F., Perry I., Fogarty M. The tangled web: global fishing, global climate and fish stock fluctuations // *Globec international News letter*. – 2004. – Vol. 10, N 2. – P. 20-23.
5. Batchelder H. and Kim S. Where is CCC in relation to integration and synthesis? An introduction to the Pices/Clobec Symposium // *Globec international News letter*. – 2006. – Vol. 12, N 1. – P. 37.
6. Beamish R.J., Sweeting R.M. and Neville C.M. Improvement of juvenile Pacific salmon production in a regional ecosystem after the 1998 regime shift // *Transactions of the American Fisheries Society*. – 2004.
7. Brander K. and Mohn R. Effect of the North Atlantic Oscillation on recruitment of Atlantic cod (*Gadus morhua*) // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* – 2004. – Vol. 61. – P. 1558-1564.
8. Chiba S., Sugisaki H. Long-term spatio-temporal variation of copepod community in the western North Pacific and influences of the North Pacific Decadal Oscillation // *Globec international News letter*, April. – 2006. – Vol. 12, N 1. – P. 63-64.
9. Climate and Fisheries. Interacting paradigms, scales and policy approaches. The IRI-IPRC Pacific Climate-Fisheries Workshop Honolulu, 14-17 November. – 2001. – 67 p.
10. Curry R.G. Decadal variability of water masses and circulation in the subpolar North Atlantic. WOCE International Project Office 2000 Report of WOCE North Atlantic Workshop, Institut für Meereskunde, Universität Kiel, Germany, 23-27 August 1999 // WOCE International Project Office, WOCE Report N 169/2000. – 110 pp.
11. Drinkwater K.F. Cod stocks: Winners and losers in the climate change sweepstakes // *ICES, Ciem, Newsletter issue N 42 September*. – 2005. – P. 6-9.
12. Esselborn S., Miller L. and Cheney B. Interannual changes of sea height and geostrophic surface circulation in the North Atlantic as measured by satellite altimetry. WOCE International Project Office 2000 Report of WOCE North Atlantic Workshop, Institut für Meereskunde, Universität Kiel, Germany, 23-27 August 1999 // WOCE International Project Office, WOCE Report N 169/2000. – 110 pp.
13. Garrod D.J. and Colebrook J.M. Biological effects of variability in the North Atlantic Ocean. *Rapp. P.-v. Réun. int. Explor. Mer.* – 1978. – 173: 128-144.
14. Hakkinen S. Decadal Variability in sea level and its relationship to meridional overturning in the North Atlantic. WOCE International Project Office 2000 Report of WOCE North Atlantic Workshop, Institut für Meereskunde, Universität Kiel, Germany, 23-27 August 1999. WOCE International Project Office // WOCE Report N 169/2000. – 110 pp.
15. Hayward T.L. Pacific Ocean climate change: atmospheric forcing, ocean circulation and ecosystem response // *Tree*. – 1997. – Vol. 12, N 4. – P. 151-154.
16. Hjermann D.Q., Stenseth N.C., Ottersen G. The population dynamics of Northeast Arctic cod (*Gadus morhua*) through two decades an analysis based on survey data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* – 2004. – Vol. 61. – P. 1747-1755.
17. Holliday N.P. Interannual variability of regional subarctic mode waters of the northeast North Atlantic. WOCE International Project Office 2001 Report of WOCE/IGOFS Ocean Trans-

port Workshop, Southampton Oceanography Centre, Southampton, UK, 25-29 June 2001. WOCE International Project office // WOCE Report N 175/2001, CLIVAR Report N 55. – 75 pp.

18. ICES Annual Science Conference Vigo. – Spain, 2004. – 324 p.

19. Lettre pigb-pmrc France-Changement global. – 2003. – N 15. – P. 30-38.

20. Marsh B. Recent variability of the North Atlantic thermohaline circulation inferred from surface heat and freshwater fluxes. WOCE International Project Office 2000 Report of WOCE North Atlantic Workshop, Institut für Meereskunde, Universität Kiel, Germany, 23-27 August 1999. WOCE International Project Office // WOCE Report N 169/2000. – 110 pp.

21. McGowan I.A., Cayan D.R., Dorman L.M. Climate – Ocean Variability and Ecosystem Response in the Northeast Pacific. Science. – 1998. – Vol. 281, 1998. – P. 210-217.

22. Miyamoto K. Long-term variability of Ekman pumping velocity fields in the North Pacific. WOCE International Project Office 2001 Report of WOCE/IGOFS Ocean Transport Workshop, Southampton Oceanography Centre, Southampton, UK, 25-29 June 2001 // WOCE International Project office, WOCE Report N 175/2001, CLIVAR Report N 55. – 75 pp.

23. Riview of the state of world Fishery resources: marine fisheries // FAO Fisheries Circular N 884. Rome. – 1995. – P. 64-66.

24. Rodionov S., Overland J.E. Application of a sequential regime shift detection method to the Bering Sea ecosystem // ICES Journal of Marine Science. – 2005. – Vol. 62, N 3. – P. 328-332.

25. Sharp G.D. Future climate change and regional fisheries: a collaborative analysis // FAO Fisheries Technical paper 452, Rome. – 2003. – 75 p.

УДК 551.463.6(265.1):521.933

С.К. Кудерский

О СВЯЗИ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЬ-НИНЬО С ВАРИАЦИЯМИ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ И КОЛЕБАНИЯМИ ОСИ ЕЕ ВРАЩЕНИЯ

Введение

Физическая природа широко известного феномена Эль-Ниньо (ЭН) до сих пор остается неясной. Без решения этой проблемы создать методы прогноза этого явления на длительный срок невозможно. Существующие многочисленные модели на основе статистических расчетов зачастую не оправдываются, а возможность прогноза ЭН ограничивается заблаговременностью в пределах 3 – 6 месяцев.

Известно, что ЭН сопровождается заметным замедлением скорости вращения Земли, а при наиболее интенсивных ЭН отмечены значительные колебания оси ее вращения. Возникло предположение, что своеобразным «толчком» или триггером к возникновению исследуемого феномена являются деформационные силы, возникающие под воздействием нутационного и ротационного приливов. Была поставлена задача вычислить ускорения горизонтальных составляющих деформационных сил названных выше приливов и сравнить их временной ход с межгодовой изменчивостью уровня океана и температурой поверхностных вод в прибрежной зоне Перу.

Материалы и методы

Величина нутационного прилива зависит от длины радиуса-вектора мгновенного полюса (РВМП), т.е. от расстояния между географическим (инерционным) полюсом и полюсом оси вращения планеты в фиксированный момент времени. Если ось вращения совпадает с инерционной осью – нутация отсутствует, длина РВМП