

В.Н. Воробьев, А.В. Косенко, Э.И. Саруханян, Н.П. Смирнов

**МНОГОЛЕТНИЙ ЛУННЫЙ ДЕКЛИНАЦИОННЫЙ ПРИЛИВ
И ДИНАМИКА ЦЕНТРОВ ДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРЫ
ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЯ**

V.N. Vorobyov, A.V. Kosenko, E.I. Sarukhanyan, N.P. Smirnov

**MULTI-YEAR LUNAR DECLINATION TIDE
AND DYNAMICS OF THE ATMOSPHERIC ACTION CENTRES
IN THE SOUTHERN HEMISPHERE**

Анализируются многолетние изменения интенсивности и положения квазистационарных барических структур (циклонов и антициклонов) в Южном полушарии Земли под влиянием многолетнего лунного деклинационного прилива в Мировом океане. В заключение сделан вывод, что многолетний лунный прилив в Мировом океане является одним из факторов, формирующих колебания климата на нашей планете.

Ключевые слова: центры действия атмосферы, циклоны, антициклоны, многолетний прилив, Южное полушарие, Южная Полярная область.

Long-term variations in the intensity and position of quasi-stationary baric structures (cyclones and anticyclones) in the southern hemisphere are analyzed as caused by the multi-year lunar declination tide in the World Ocean. A conclusion is made that the long-term lunar tide in the World Ocean is one of the factors governing climate oscillations on our planet.

Keywords: atmospheric action centres, cyclones, anticyclones, multi-year tide, southern hemisphere, South Polar region.

В последние годы становится все более очевидно, что объяснить современные изменения климата на Земле, исходя из антропогенных воздействий на климатическую систему, в которую помимо океана и атмосферы входит поверхность континентов и криосфера Земли, достаточно трудно. Выброс в атмосферу Земли углекислого газа антропогенного происхождения и других парниковых газов не может объяснить ни глобальных изменений климата, ни региональных особенностей этих изменений.

Поэтому вновь встает вопрос о более углубленном анализе как внутрисистемных факторов формирования многолетних изменений климата, так и внешних факторов, воздействующих на климатическую систему. Из последних сле-

дует отметить в первую очередь такие, как солнечная активность и диссимметрия солнечной системы, долгопериодные приливы, изменения ротационного режима Земли, движения полюсов вращения Земли. Важным представляется и совместное исследование практически стационарных вихревых структур в системе океан–атмосфера.

Что касается антропогенного воздействия на климат, то, по-видимому, здесь более перспективным является изучение региональных последствий таких крупномасштабных процессов, как вырубка лесов и осушение болот, орошение и ирригация на больших площадях поверхности Земли, тепловые выбросы в атмосферу в техногенных зонах Земли. Но этому вопросу уделяется, к сожалению, мало внимания в современных исследованиях по антропогенному воздействию на изменения климата.

При анализе многих характеристик климата на Земле и индексов атмосферной циркуляции отмечается наличие циклических колебаний с периодами от 16 до 20 лет. В настоящее время большинство исследователей склонно считать, что причиной возникновения таких циклических колебаний является многолетний лунный деклинационный прилив в Мировом океане.

Среди долгопериодных членов разложения потенциала приливообразующей силы Луны и Солнца выделяется своей величиной лунная деклинационная многолетняя составляющая M_N . Общее выражение для этой составляющей записывается в виде

$$W_{MN} = -0,0327G (1 - 3\sin^2 \varphi) \cos N,$$

где $G = 3/4 \cdot M/Egr^4/D_M^3 = 26\,160 \text{ см/с}^2$; M и E – массы Луны и Земли; g – ускорение свободного падения; r – средний радиус Земли; D_M – среднее расстояние от Земли до Луны; $N = -N$ – долгота восходящего узла лунной орбиты, период изменения которой равен 18, 61 года.

Амплитуды статического многолетнего прилива могут достигать $\pm 2,4$ см на полюсах и $\pm 1,2$ см на экваторе. Когда уровень вследствие многолетнего прилива максимален на полюсах, он минимален на экваторе и наоборот. Общий размах колебаний уровня в высоких широтах составляет 4–5 см, а в низких – до 2,5 см.

Многолетнему приливу в Мировом океане посвящена довольно обширная литература и наличие его ни у кого не вызывает сомнений. Предположение о том, что многолетние приливные колебания уровня Мирового океана связаны с изменениями климатических характеристик также известно достаточно давно. В начале прошлого века влияние этого прилива на циркуляцию вод Мирового океана отметил известный норвежский учёный Г. Петтерсон. Исследования влияния многолетнего лунного прилива на изменения циркуляции атмосферы и климата были выполнены в середине XX в. в России И.В. Максимовым и его учениками. Ими было показано наличие 19-летних колебаний в температуре воды в Северной Атлантике и Северном Ледовитом океане и в интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой. При этом было показано,

что максимальные меридиональные градиенты давления над Северной Атлантикой в зоне западного переноса наблюдаются в периоды максимального приливного течения в 19-летней волне прилива, направленного на юг, и наоборот.

Позднее цикл с периодом 18,6 года был обнаружен Дж. Лодером и С. Гарретом [9] в колебаниях температуры поверхностных вод по данным станций на восточном и западном побережье США. Механизмом этого явления авторы посчитали приливное перемешивание вод на мелководье в результате модулирования “девятнадцатилетним нодальным” приливом полусуточных и суточных приливных течений на шельфе. Недавно с обоснованием возможности подобного механизма выступили В. Манк, К. Вюнш и Р. Феррари [10, 18].

В конце XX столетия интерес к этой проблеме ещё более возрос. Так, например, Р. Куррия обнаружил волны с периодом 18,6 года в температуре воздуха на 1197 станциях США [5] и в изменениях количества осадков на территории США, Великобритании, Индии и Южной Африки [6]. Вопрос о влиянии многолетнего лунного прилива на климат на Земле рассматривался в работах К.Д. Киллинга и Т.П. Ворфа [7], К. Вюнша [17], Х. Ендестада [19], Р. Рэя [13]. Можно отметить также интересную работу норвежских учёных по обнаружению 19-летней цикличности в урожайности промысловых рыб в Норвежском и Баренцевом морях [15]. С. Осафюн и И. Ясуда обнаружили выраженные циклические колебания с периодом около 20 лет в промежуточных водах Охотского моря и на северо-западе Тихого океана и связали их с лунным деклинационным приливом [11]. Р. Петерсон обнаружил колебания Антарктического циркумполярного течения в проливе Дрейка с периодом, равным лунному многолетнему приливу [12]. Наконец, совсем недавно была опубликована интересная статья группы авторов по влиянию лунного деклинационного прилива на изменения уровня, температуры и солёности в Фареро-Шетландском проливе и Баренцевом море [20].

Одной из наиболее интересных попыток обнаружения “девятнадцатилетней” волны, обусловленной деклинационным приливом, в многолетних колебаниях деятельного слоя океана и климата является работа Т. Ройера [14]. Анализируя температуру воздуха на Аляске (ст. Ситка) с 1828 г., он обнаружил высокую корреляционную связь её изменений с температурой воды 250-метрового поверхностного слоя с 1872 по 1986 г. Оказалось, что до 30 % низкочастотной изменчивости температуры воздуха могут быть обусловлены деклинационным приливом, и средняя амплитуда таких приливных колебаний достигает 0,3 °C за весь период наблюдений и 0,5 °C за период после 1920 г. Это большая величина, особенно если рассматривать её на фоне дискуссий о “глобальном потеплении” Земли. Разница в фазах 19-летних колебаний температуры воздуха в Ситке и 19-летних колебаний температуры воды в Северной Атлантике, ранее определённая И.В. Максимовым и Н.П. Смирновым по данным наблюдений с 1876 по 1939 г. [1], составила 8,87 года, что оказалось близкой к подобной оценке, сделанной ещё ранее Е. Лисициной [8] по данным о колебаниях уровня в 19-летней

волне прилива. Указанная разница фаз в колебаниях температуры в Северной Атлантике и северной части Тихого океана частично объясняет факт временного несовпадения наступления периодов потепления и похолодания в этих океанах. Т. Ройер попытался, используя оценку скорости для приливного течения, установленную И.В. Максимовым и Н.П. Смирновым, рассчитать горизонтальную адвекцию тепла в 19-летнем цикле. Он пришёл к выводу, что приливное течение может создавать изменения в региональном переносе тепла в океане в 19-летнем цикле около 5 % его средней величины, что существенным образом повлияет на баротропный меридиональный перенос тепла и перераспределение тепла в деятельном слое океана.

Исходя из всего сказанного, представляется весьма интересным проанализировать воздействия 19-летнего деклинационного прилива на динамику атмосферной циркуляции и, прежде всего, на поведение центров действия атмосферы. Особенно интересным представлялось проанализировать изменчивость характеристик центров действия атмосферы в Южном полушарии Земли – океаническом полушарии, где проявления многолетнего прилива должны проявляться наиболее ярко и где такие исследования пока в широком объёме не проводились. В работе авторов [4] аналогично тому, что ранее было сделано для Северной Атлантики [3], были определены основные характеристики (давление в центре, широта и долгота центров) для квазистационарных циклонических центров действия атмосферы. Нами эта работа была продолжена. Были получены данные по среднемесячной интенсивности (величине атмосферного давления в центре) и по положению центра (широта и долгота) всех шести центров действия атмосферы Южного полушария, циклонических и антициклонических, с 1957 по 2005 г. Были вычислены также средние значения за отдельные сезоны указанных характеристик, а также их среднегодовые значения. Для того чтобы исключить из исходных данных цикличности с периодами одиннадцать лет и менее, они подверглись 11-летнему скользящему сглаживанию. После этого были вычислены взаимокорреляционные функции между значением потенциала приливообразующей силы на широте 60° и значениями характеристик всех центров действия атмосферы (рис. 1 и 2).

Значения максимальных коэффициентов корреляции во взаимокорреляционных функциях и сдвиги значений характеристик центров действия атмосферы относительно максимумов значений потенциала приливообразующей силы приведены в табл. 1. В таблице приведены только коэффициенты корреляции, значимость которых превышает уровень 95 %-ной обеспеченности. Взаимокорреляционные функции для южных циклонов приведены для среднегодовых значений характеристик, а для антициклонов – для осенне-зимних характеристик, поскольку для весенне-летнего сезона связь характеристик антициклонических центров с потенциалом приливообразующей силы в 19-летней волне выражена очень слабо.

Какие выводы можно сделать из анализа табл. 1 и рис. 1 и 2. Прежде всего то, что влияние многолетнего лунного деклинационного прилива заметно силь-

нее сказывается на изменчивости характеристик циклонических центров действия атмосферы. Центры циклонов располагаются на широтах 60–70 ° ю.ш. и большее влияние на них прилива, амплитуды которого достигают максимальных значений в полярных регионах Земли, по видимому, вполне объяснимо.

На изменения интенсивности и положение южных антициклонов многолетний прилив оказывает заметное влияние только в осенне-зимний период, когда обостряются температурные градиенты и усиливаются процессы циклогенеза и антициклогенеза.

Усиление интенсивности южных циклонов наблюдается в моменты роста уровня океана у берегов Антарктиды, т.е. в моменты максимального приливного течения, направленного от экватора к Антарктиде и, наоборот, их ослабление имеет место, когда максимально течение направлено к северу от Антарктиды (рис. 3).

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между значениями потенциала приливообразующей силы и 11-летними скользящими средними значениями характеристик центров действия атмосферы

Центры действия	Давление				
	зима	весна	лето	осень	год
Циклоны					
Южно-Атлантический	0,39	0,68	0,52	0,64	0,84*
Индоеокеанский	0,5	0,59	0,5	0,59	0,63*
Южно-Тихоокеанский	0,53	0,48	0,59	0,56	0,54*
Антициклоны					
Южно-Атлантический	-0,52**	–	–	–	–
Индоеокеанский	-0,44	–	–	-0,39	-0,43**
Южно-Тихоокеанский	-0,37*	–	–	–	–
Центры действия	Широта				
	зима	весна	лето	осень	год
Циклоны					
Южно-Атлантический	0,41	0,58	0,88	0,54	0,65*
Индоеокеанский	–	–	0,61	0,89	0,42*
Южно-Тихоокеанский	0,41	0,31	0,7	0,54	0,54**
Антициклоны					
Южно-Атлантический	–	-0,48	-0,52	-0,44	-0,41***
Индоеокеанский	-0,7	-0,68	–	–	-0,36***
Южно-Тихоокеанский	–	–	0,62	0,45	0,31***
Центры действия	Долгота				
	зима	весна	лето	осень	год
Циклоны					
Южно-Атлантический	-0,65	-0,63	-0,43	-0,44	-0,67**
Индоеокеанский	-0,58	-0,79	–	-0,75	-0,82**
Южно-Тихоокеанский	0,74	0,44	0,51	–	0,44*
Антициклоны					
Южно-Атлантический	0,63	0,39	0,73	0,64	0,61*
Индоеокеанский	–	–	–	-0,48	-0,33*
Южно-Тихоокеанский	0,45	0,72	0,48	0,49	0,59*

Примечания: * – сдвиг (запаздывание 3–5 лет); ** – без сдвига; *** – опережение 3–5 года.

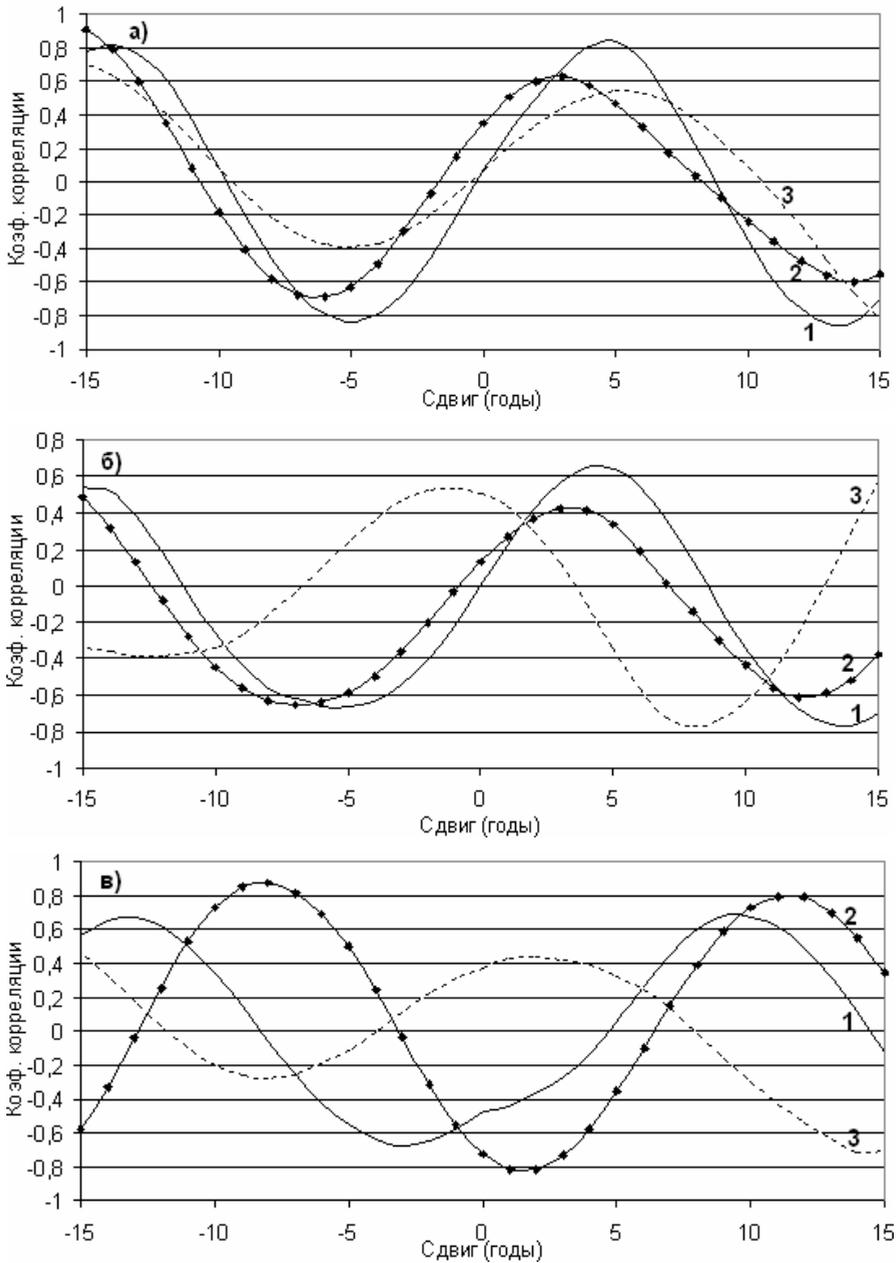


Рис. 1. Кросскорреляционные функции между значениями потенциала приливообразующей силы многолетнего прилива и 11-летними скользящими среднегодовыми значениями давления (а), широты (б), долготы (в) южных циклонов:

1 – Южно-Атлантический циклон, 2 – Индоокеанский циклон, 3 – Южно-Тихоокеанский циклон

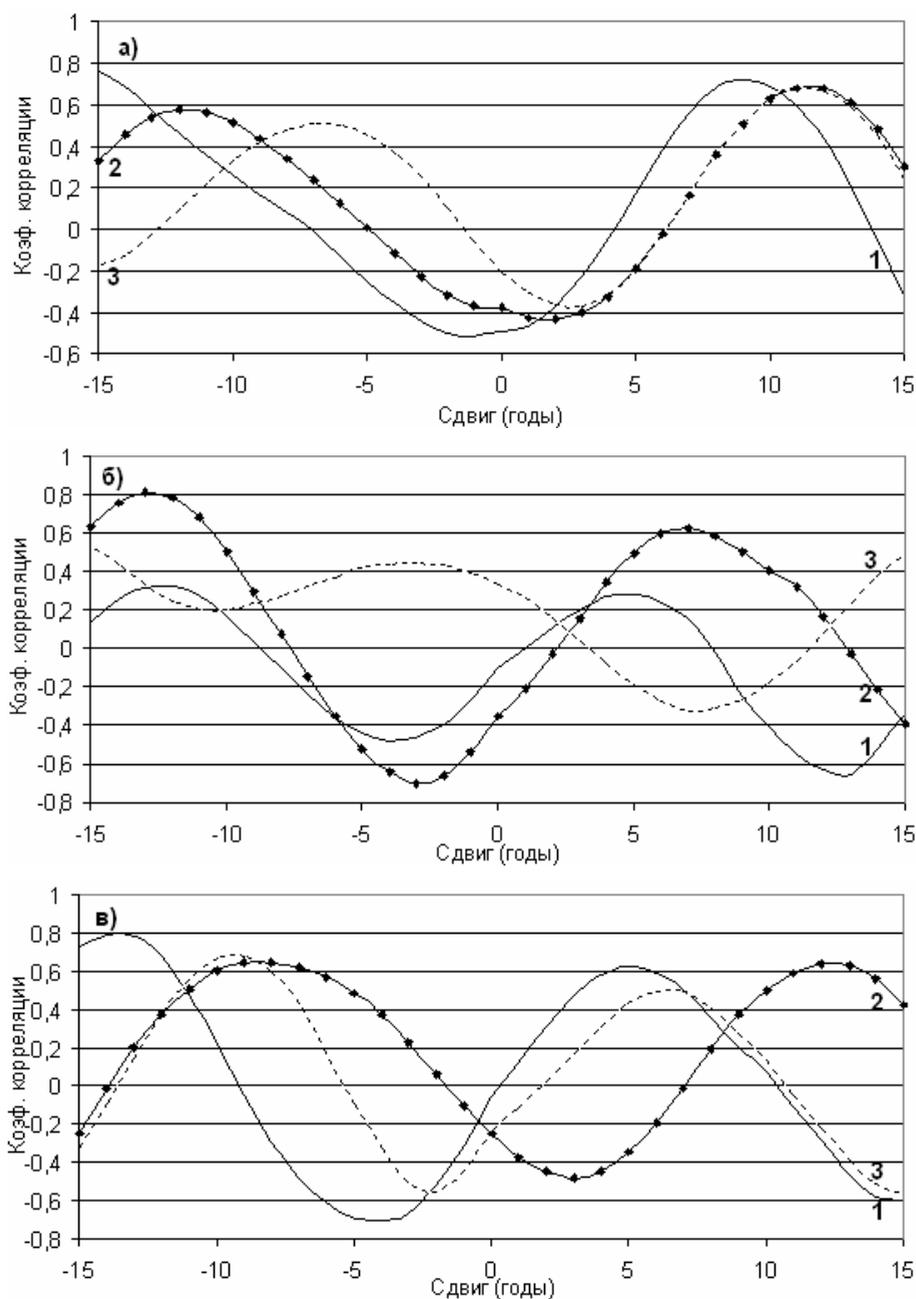


Рис. 2. Кросскорреляционные функции между значениями потенциала приливообразующей силы многолетнего прилива и 11-летними скользящими за осенне-зимний период значениями давления (а), широты (б), долготы (в) южных антициклонов: 1 – Южно-Атлантический антициклон, 2 – Индоокеанский антициклон, 3 – Южно-Тихоокеанский антициклон

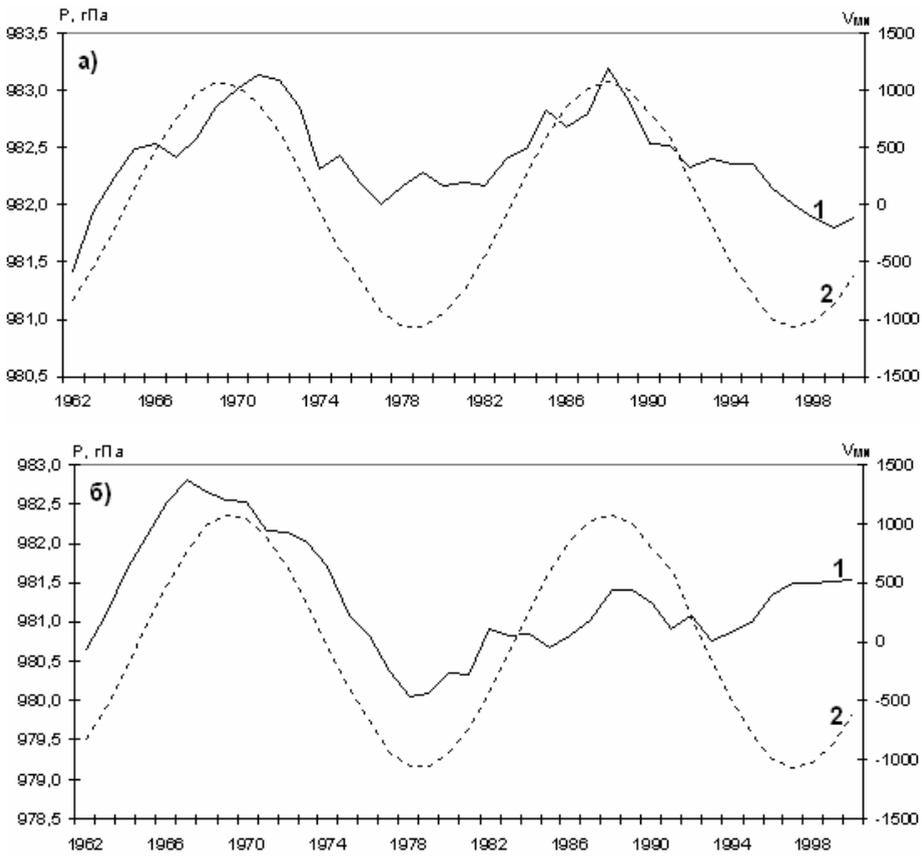


Рис. 3. Сопоставление потенциала приливообразующей силы и 11-летних скользящих среднегодовых значений давления в центре Южно-Атлантического (а) и Индоокеанского (б) циклонов, при сдвиге значений давления относительно потенциала приливообразующей силы на 4 года (1 – значения давления, 2 – потенциал приливообразующей силы)

Усиление антициклонов наблюдается несколько ранее, когда уровень в 19-летней приливной волне у Антарктического континента минимален. Особенно это характерно для Южно-Атлантического и Индоокеанского антициклонов, что видно из рис. 2.

Что касается координат центров квазистационарных барических образований, то они, как уже было сказано, меньше зависят от многолетнего лунного прилива. Тем не менее, на фазе интенсификации циклонов в 19-летней волне они смещаются к югу (Южно-Атлантический и Индоокеанский) (рис. 4). Смещение к югу Южно-Тихоокеанского циклона происходит несколько ранее, и оно очень слабое. Антициклоны смещаются к югу одновременно с циклонами, только это происходит на фазе их ослабления (см. рис. 2).

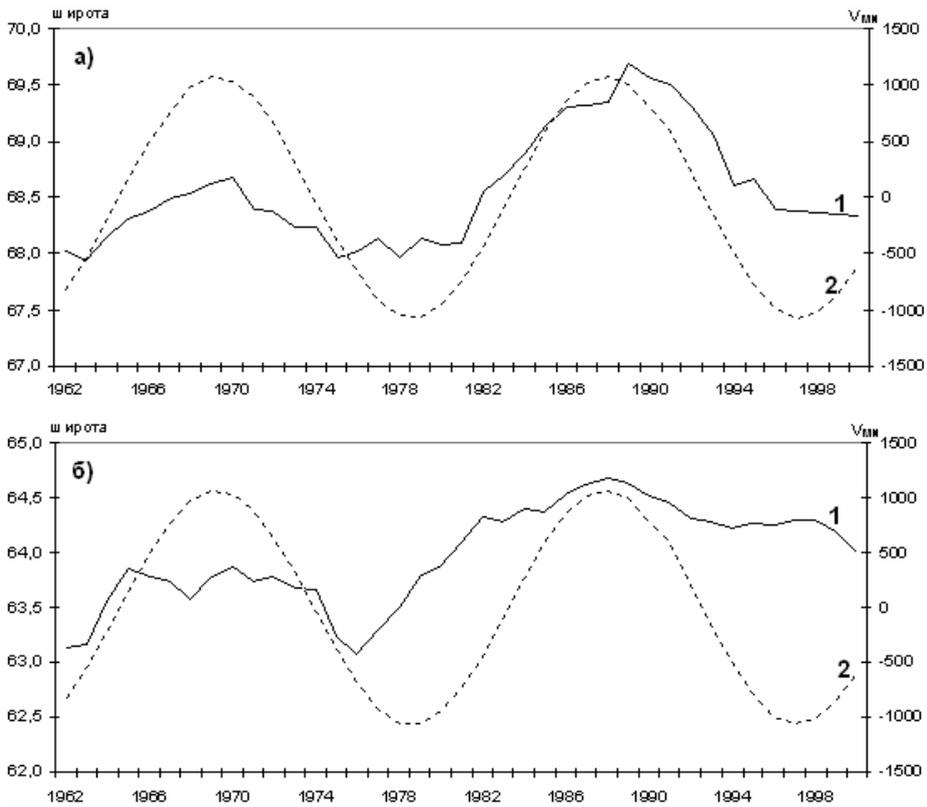


Рис. 4. Сопоставление потенциала приливообразующей силы и 11-летних скользящих среднегодовых значений широты центров Южно-Атлантического (а) и Индоокеанского (б) циклонов, при сдвиге значений широты относительно потенциала приливообразующей силы на 4 года (1 – значения широты, 2 – потенциал приливообразующей силы)

Влияние многолетнего прилива на изменения долготы циклонических центров действия, как и широты их центров, лучше выражены в Атлантическом и Индийском океанах, что видно из рис. 1. Максимальное западное смещение центров действия наблюдается при максимальном приливе у берегов Антарктиды, а восточное смещение – при минимальных значениях уровня в 19-летней волне прилива (рис. 5 и 6).

У антициклонов в Атлантическом и Тихом океанах максимальное восточное смещение наблюдается на 5–6-й год после максимума потенциала приливообразующей силы, а в Индийском океане, наоборот, на 3–4-й год после максимума значений потенциала силы в 19-летней приливной волне наблюдается максимальное западное смещение, что видно из рис. 2. Причины таких различий в пространственной изменчивости положений центров действия в 19-летней волне до конца не ясны. По-видимому, это связано в первую очередь с морфологическими особенностями этих океанов и спецификой циркуляции вод в них.

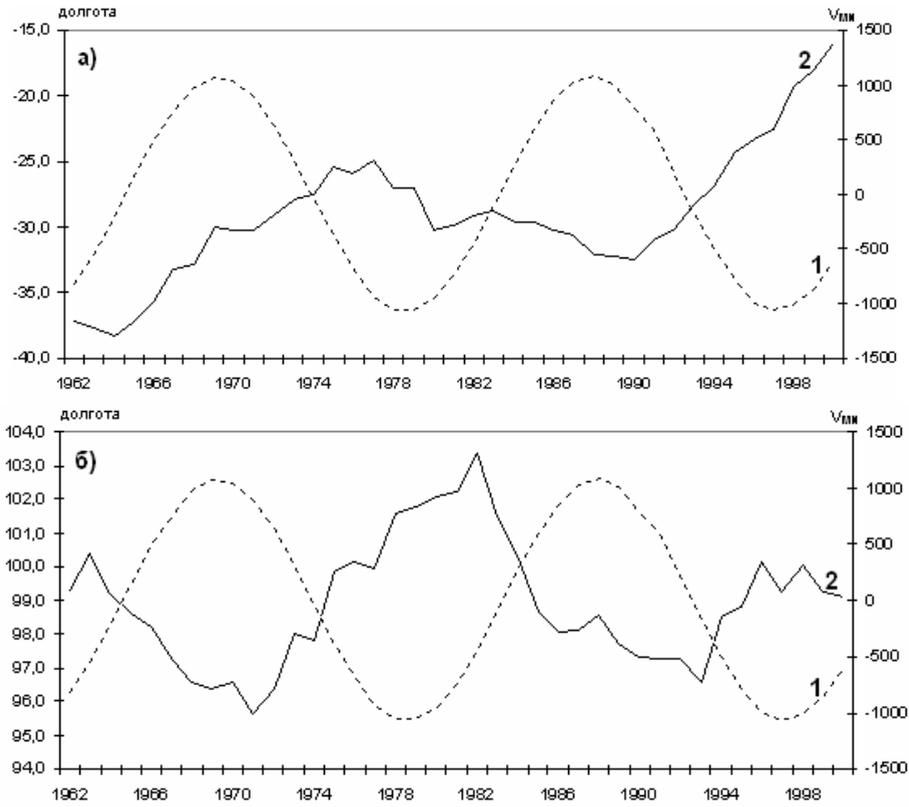


Рис. 5. Сопоставление потенциала приливообразующей силы и 11-летних скользящих среднегодовых значений долготы Южно-Атлантического (а) и Индоокеанского (б) циклонов (1 – потенциал приливообразующей силы, 2 – значения долготы)

Таким образом, выполненный анализ свидетельствует о наличии заметной составляющей с периодом 18,6 года в изменчивости центров действия атмосферы в Южном полушарии. Лучше она выражена в изменениях характеристик циклонических центров действия, но она достаточно заметна и в изменениях антициклонических центров действия атмосферы. Поэтому есть все основания говорить о заметной роли многолетнего лунного прилива в формировании многолетней изменчивости циркуляции атмосферы в Южной Полярной области и в целом в Южном полушарии посредством его влияния на интенсивность и положение центров действия атмосферы Южного полушария. Механизм влияния многолетнего прилива на циркуляцию атмосферы через изменения температуры воды в океанах и смещения фронтальных зон уже рассматривался в ранее упомянутых в начале этого раздела работах. Можно предполагать существование ещё одного механизма влияния долгопериодных приливов на интенсивность циркуляции атмосферы через многолетние приливные изменения скорости вращения Земли, о чём не так давно писал Н.С. Сидоренков [2].

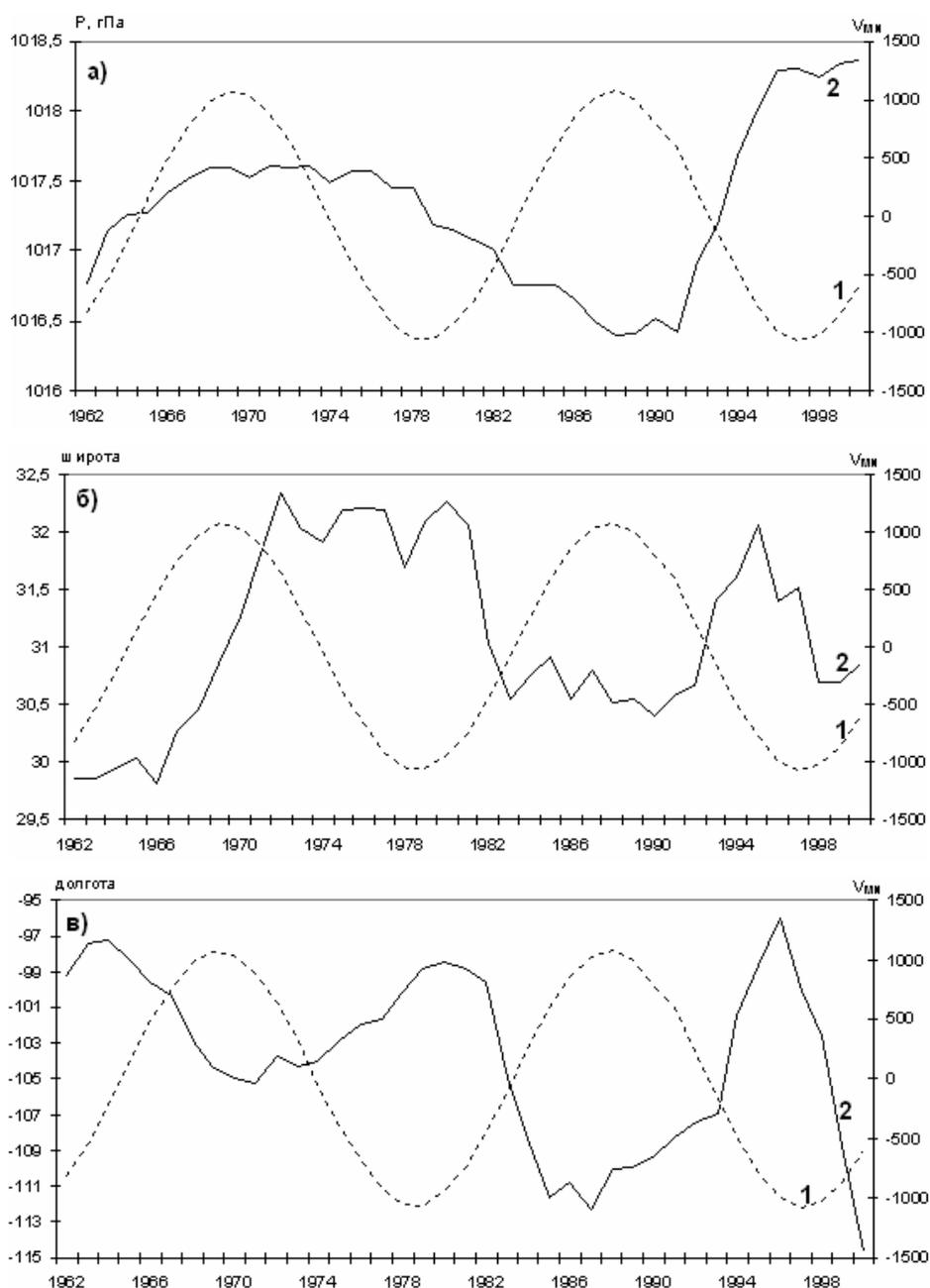


Рис. 6. Сопоставление потенциала приливообразующей силы и 11-летних скользящих зимних значений давления Южно-Атлантического антициклона, широты Индоокеанского антициклона и долготы Южно-Тихоокеанского антициклона [1 – потенциал приливообразующей силы, 2 – значения давления (а), значения широты (б), значения долготы (в)]

В заключение можно сделать выводы о том, что многолетний лунный прилив в Мировом океане является одним из факторов, формирующих колебания климата на поверхности нашей планеты, а также то, что активности больше проявляется в изменениях давления в циклонических центрах действия атмосферы.

Влияние многолетнего лунного деклинационного прилива заметно сильнее сказывается на изменчивости давления в циклонических центрах действия атмосферы, что связано, по-видимому, с тем, что амплитуды многолетнего лунного прилива достигают максимальных значений в высоких широтах Земли. Усиление интенсивности южных циклонов наблюдается в моменты роста уровня у берегов Антарктиды, т.е. в моменты максимального приливного течения, направленного от экватора к Антарктиде, и, наоборот, их ослабление имеет место, когда уровень у берегов Антарктиды в приливном цикле падает.

На изменения интенсивности южных антициклонов многолетний прилив оказывает заметное влияние только в осенне-зимний период, когда обостряются температурные градиенты и усиливаются процессы цикло- и антициклогенеза. Усиление антициклонов наблюдается несколько ранее, чем циклонов. Это происходит, когда уровень в 19-летней приливной волне у Антарктического континента минимален.

Что касается положения центров квазистационарных барических образований, то они меньше зависят от многолетнего лунного прилива. Можно отметить смещение к югу циклонов на фазе их ослабления.

Литература

1. Максимов И.В., Смирнов Н.П. К изучению причин многолетних изменений деятельности Гольфстрима // *Океанология*, 1965, т. 5, № 2, с. 210–221.
2. Сидоренков Н.С. Приливные колебания атмосферной циркуляции // *Тр. Гидрометцентра РФ*, 2000, вып. 331, с. 49–63.
3. Смирнов Н.П., Воробьев В.Н., Кочанов С.Ю. Северо-Атлантическое колебание и климат. – СПб.: изд. РГГМУ, 1998. – 121 с.
4. Смирнов Н.П., Саруханян Э.И., Розанова И.В. Циклонические центры действия атмосферы Южного полушария и изменения климата. – СПб.: изд. РГГМУ, 2004. – 209 с.
5. Currie R.G. Luni-Solar 18.6 and 10–11-year solar cycle signals in USA air temperature records // *Int. J. of Climatology*, 1993, vol. 13, p. 31–51.
6. Currie R.G. Luni-Solar 18.6 and 10–11-year solar cycle signals in South African rainfall // *Int. J. of Climatology*, 1993, vol. 13, p. 237–256.
7. Keeling C.D., Whorf T.P. Possible forcing global temperature by oceanic tides // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1997, vol. 94, p. 8321–8328.
8. Lisitzin E.J. The tidal cycle of 18.6 years in the ocean // *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 1957, vol. 22, № 2, p. 147–151.
9. Loder J.W. and Garrett C. The 18.6 year Cycle of Sea Surface Temperature in Shallow Seas Due to Variations in Tidal Mixing // *J. Geophys. Res.*, 1978, vol. 83, NO. C4, p. 1967–1970.
10. Munk W., Wunsch C. Abyssal recipes II: energetics of tidal and wind mixing // *Deep-Sea Research (Part I)*, 1998, vol. 45(12), p. 121–135.
11. Osafune S. and Yasuda I. Bidecadal variability in the intermediate waters of the northwestern subarctic Pacific and Okhotsk Sea in relation to 18.6-year period nodal tidal cycle // *J. Gtphys. Res.*, 2006, vol. 111, CO5007, p. 1–14.

12. *Peterson R.G.* Comparisons of Sea Level and Bottom Pressure measurements at Drake Passage // *J. Geophys. Res.*, 1988, vol. 19, NC 10, p. 12439–12448.
13. *Ray R.D.* Decadal Climate Variability: Is There a Tidal Connection // *J. Climate*, 2007, vol. 20, p. 3542–3560.
14. *Royer T.C.* High-latitude oceanic variability associated with the 18.6-year nodal tide // *J. Geophys. Res.*, 1993, vol. 98, p. 4639–4644.
15. *Toresen R., Ostvedt O.J.* Variation in abundance of Norwegian spring-spawning herring (*Clupea harengus*, Clupeidae) throughout the 20th century and the influence of Climatic fluctuation // *Fish and Fisheries*, 2000, vol. 1, № 3, p. 231–256.
16. *Trupin A., Wahr J.* Spektroscopic analysis of global tide gauge sea level data // *Geophys. J. Int.*, 1990, vol. 100, p. 441–453.
17. *Wunsch C.* Moon, tides and climate // *Nature*, 2000, vol. 405 (6788), p. 743.
18. *Wunsch C., Ferrari R.* Vertical mixing, energy, and the general circulation of the oceans // *Annual Review of Fluid Mechanics*, 2004, vol. 36, p. 281–316.
19. *Yndestad H.* The influence of the nodal cycle on Arctic climate // *ICES J. Marine Science*, 2006, vol. 63, p. 401–420.