

УДК 551.461.25

Доктор	Э.С. Сафаров ¹
Доктор геогр. наук	Родриго Абарка Дел-Рио ²
Доктор техн. наук	С.Г. Сафаров ³
Доктор	Р.М. Мамедов ¹
	Жан Франсуа Крето ⁴

ЯВЛЕНИЕ ЭЛЬ-НИНЬО И КОЛЕБАНИЕ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Ключевые слова: индекс Южной осцилляции, кросс-вейвлет, вейвлет-ковариантность, локальная периодичность

С помощью вейвлет-анализа исследуется возможная связь между колебаниями уровня Каспийского моря и явлениями Эль-Ниньо и Ла-Ниньо. Применение методов кросс-вейвлет (XWT) и вейвлет-ковариантности (WTC) показывает, что изменения в индексах осцилляции в масштабе 14...16 лет отражаются в изменениях уровня моря с некоторым опозданием.

Эль-Ниньо или же Южная осцилляция (*Southern Oscillation, ENSO*) представляет собой колебания поверхностной температуры воды в экваториальной части Тихого Океана. Это явление существенно влияет на климат [1, 6, 7]. В действительности Эль-Ниньо является одной из фаз Южной осцилляции, при которой зона нагретых поверхностных вод перемещается к востоку. Обратная фаза Эль-Ниньо называется Ла-Ниньо. Характерными периодами осцилляции Эль-Ниньо считается 3...8 лет, однако в реальности его мощность и продолжительность заметно меняется [3, 4].

В настоящее время для количественной оценки этих явлений принимается значения положительных (для Ла-Ниньо) или же отрицательных (для Эль-Ниньо) аномалий температуры, превышающих 0,5 °С за время, не меньше чем 5 месяцев, в близких к экваториальной части территории Тихого Океана.

Для оценки этих явлений широко используется еще один индекс (SOI – Southern Oscillation Index), который рассматривается как разница

¹ Институт географии НАНА, г. Баку, Азербайджан;

² Университет «Консепсион», Чили;

³ Национальный департамент по гидрометеорологии, г. Баку, Азербайджан;

⁴ CNES/Legos, г. Тулуза, Франция

атмосферного давления между островами Таити (Французская Полинезия) и Дарвин (Австралия). Отрицательные значения индекса относятся к фазе Эль-Ниньо, а положительные к Ла-Ниньо.

На традиционно влажных территориях явление Эль-Ниньо приводит к засухе, а на засушливых – к паводкам и наводнениям. Многолетние наблюдения, проводимые на различных территориях мира показывают, что Эль-Ниньо и Ла-Ниньо значительно влияют на погодные условия [1, 4, 6, 7]. В ряде исследований эти явления характеризуются как факторы, резко влияющие на глобальный климат и приводящие к засухам, обильным осадкам и связанным с ними паводкам и наводнениям [8, 9].

В последние годы для выявления влияний Эль-Ниньо и Ла-Ниньо на климатические характеристики, в том числе на атмосферные осадки и опасные гидрометеорологические явления применяются методы вейвлет-анализа, особенно кросс-вейвлет (XWT – Cross Wavelet Transform) и вейвлет-ковариантность (WTC – Wavelet Transform Coherence) [4]. Более подробную информацию о вейвлет преобразованиях, в том числе о кросс-вейвлете и вейвлет-ковариантности можно получить из [5].

Так-как современные колебания уровня Каспийского моря в значительной степени связаны с климатическими факторами, выявление какого либо влияния Эль-Ниньо и Ла-Ниньо на эти колебания имеет большое значение. В отдельных исследованиях рассмотрены некоторые аспекты данной проблемы [2, 3]. Однако XWT и WTC анализ связи между колебаниями уровня моря и указанными выше индексами представляет наибольший интерес.

В данной работе вейвлет-анализ соответствующих временных рядов выполнен с помощью программного пакета Matlab.

Как известно, вейвлет-анализ является одним из наиболее эффективных методов спектрального анализа при исследовании временных рядов, характеризующих нестационарные процессы.

На рис. 1 иллюстрируются результаты непрерывных вейвлет преобразований (CWT – Continuous Wavelet Transform) временных рядов SOI (рис. 1а) и уровня Каспийского моря (М Баку) (рис. 1б). На рисунке видно, что они в различных временных отрезках имеют локальные периодичности.

На уровне значимости 95 % для SOI наибольшие вейвлет-мощности характеризуются локальными периодичностями в масштабе 2...8 лет. Однако, как видно на рис. 1а, в масштабе 16 лет наблюдается

еще одна вейвлет-мощность, которая полностью ослабевает в отрезке времени 1940...1960 гг., и начинает резко расти с конца 70-х годов. Временной ход SOI (1880...2010 гг.), аналогичен колебаниям уровня Каспийского моря, но носит нестационарный характер. Другой интересный момент наблюдается в масштабе 30 лет, где с начала 1930 г. вейвлет-мощность резко убывает к концу 70-х годов.

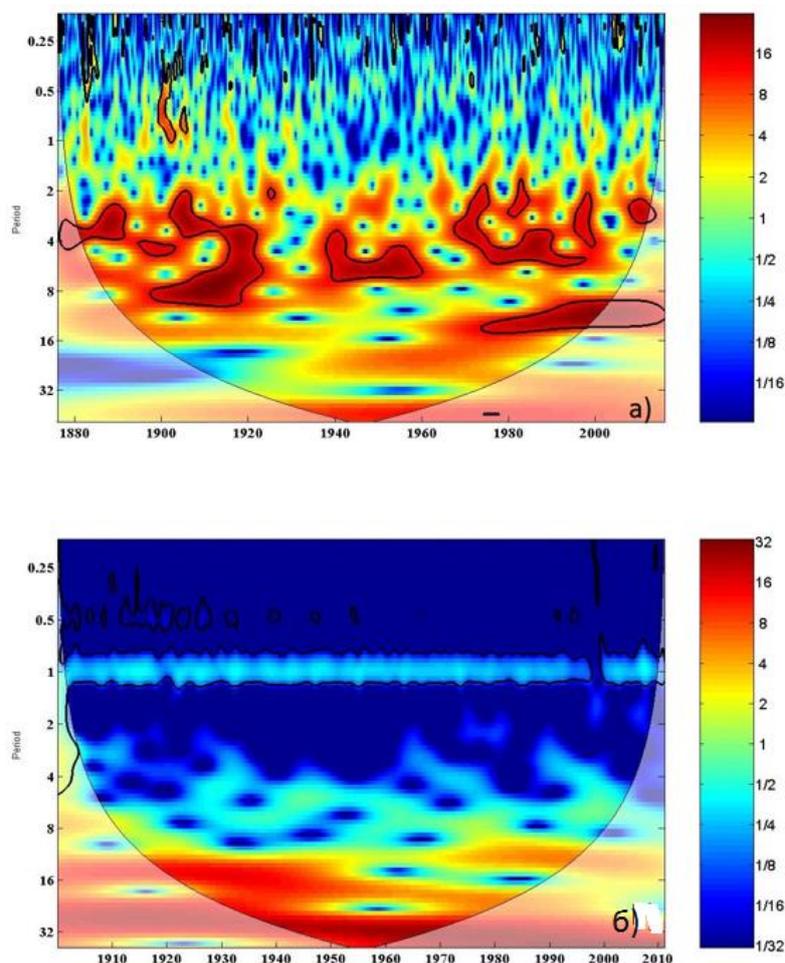


Рис. 1. а – СWT изменение индекса Южной осцилляции (1880...2010 гг.) и б – уровня Каспийского моря (М Баку, 1900...2010 гг.). Внутри жирных, черных линий уровень значимости больше 95 %; цветные градации соответствуют амплитудам колебаний (правый столбец).

В отличие от колебаний уровня Каспийского моря (рис. 1б), периодичность индекса осцилляции в масштабе 1 года, не замечается (рис. 1а). Как известно, для Каспия периодичность в масштабе 1 год характеризует сезонную изменчивость уровня моря.

Для проверки возможной связи между колебаниями уровня Каспия и SOI в первую очередь необходимо исследовать кросс-вейвлет (XWT) между ними. На рис. 2 иллюстрируется XWT между временными рядами уровня моря (М Баку) и индексом осцилляции. Как видно для двух временных рядов имеются области с общими вейвлет-мощностями. Несмотря на наличие слабых общих вейвлет-мощностей в масштабе 1 года на уровне значимости 95 %, хаотичное расположение фазовых стрелок не дает возможности выявить какие-то закономерностей между ними. В масштабе 2...4 и 5...6 лет также наблюдаются общие локальные мощности, однако и в этом случае фазовые стрелки с различной ориентацией имеют преимущество. В XWT отношениях между изменениями уровня моря (М Баку) и SOI наиболее интересный момент наблюдается в масштабе 14...16 лет. Как видно на рис. 2 до 1960 г. значительная общая вейвлет-мощность соответствует их близким фазам. Точнее, фаза изменения уровня отстает от SOI на 30° , т.е. на 1 год 4 месяца. За период 1950...1970 гг. наблюдается уменьшение общей мощности и смещение фаз. Начиная с 1970 г. общая вейвлет-мощность снова растет, а разность фаз постепенно увеличиваясь, достигает 90° . Как видно на рис. 3, начиная с 1978 г. на фоне значительной общей вейвлет-мощности, разность фаз постепенно увеличиваясь приближается к состоянию антифазы ($150...160^\circ$).

Вышеизложенное приводит к мысли, что в масштабе 14...16 лет между SOI и изменениями уровня Каспийского моря существует какая-то связь. На первый взгляд снижение уровня моря наблюдается тогда, когда фаза его изменений ближе к фазе изменений SOI, а повышение, когда их изменения противофазны друг с другом.

На рис. 3, где изображена картина WTC, красному цвету соответствуют более высокие значения коэффициентов корреляции. Кроме того внутри участков, обрамленных жирными черными линиями, уровень статической значимости выше 95 %. В различных масштабах видны локальные области периодичностей с большими значениями коэффициента корреляции. Однако, если сравнить WTC с XWT, можно заметить, что в масштабе 8 лет эти области не имеют заметных общих вейвлет-мощностей. В масштабе 8 лет с 1914 по 1922 гг. и с 1936 по 1944 гг. видны локальные области с большими значениями коэффициента корреляции. Однако, на рис. 2, только первому из них соответствует область, где имеет место значительные общие вейвлет-мощности.

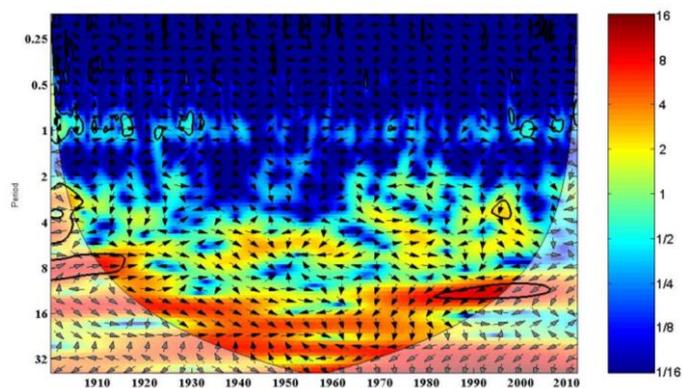


Рис. 2. XWT между изменениями уровня Каспийского моря (М Баку) и индекса Южной осцилляции.

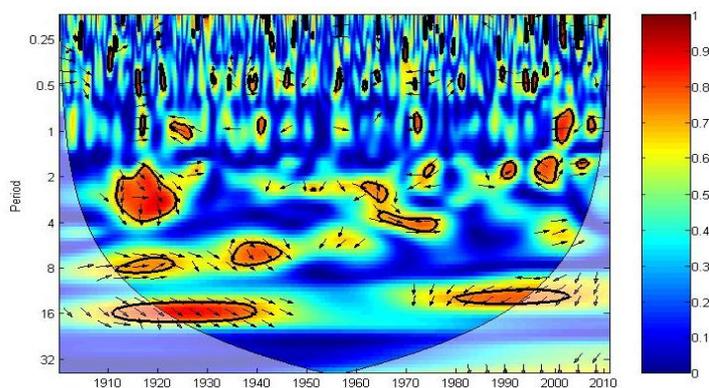


Рис. 3. WTC между изменениями уровня моря по М Баку и SOI.

Представляющие наибольший интерес области когерентности просматриваются в масштабе 16 лет (рис. 3). В данном масштабе, на уровне значимости 95 % в отрезках времени 1910...1942 гг. и 1978...2000 гг. просматриваются две области локальной периодичности с большими значениями коэффициентов корреляции. Однако, самое главное, что обе эти области совпадают с областями значительных общих вейвлет-мощностей. Первая область соответствует постепенному снижению уровня моря до 1930 г. и резкому снижению с 1930 по 1940 г., а вторая область – резкому повышению уровня моря с конца 70-х годов прошлого столетия по 2000 г. Как видно на рис. 3, эти две области отличаются друг от друга направлениями фазовых стрелок, т.е. резкое снижение уровня моря (до 1940 г.) произошло ориентировочно в близкой фазе с изменениями индекса Южной осцилляции, а его резкое повышение (1978...2000 гг.), наоборот, в противофазе с изменениями данного индекса.

Сравнивая ход изменений индекса Южной осцилляции (рис. 4а) и колебаний уровня моря (рис. 4б), с соответствующей картиной WTC (рис. 3) за период 1900...2010 гг. можно заключить, что снижение уровня моря соответствует периоду, когда индексы Ла-Ниньо имеют большие значения и частую повторяемость. А повышению соответствует период, когда индексы Эль-Ниньо имеют преимущество. Однако, несмотря на то, что периоды резкого повышения уровня моря соответствуют периодам, когда индексы Эль-Ниньо имеют преимущество, динамика изменения уровня в масштабе 14...16 лет составляет антифазу с изменениями индекса Ла-Ниньо. А снижение уровня моря, хотя соответствует периодам, когда индексы Ла-Ниньо имеют преимущество, составляет инфазу с изменениями индексов Эль-Ниньо. Однако, как видно на рис. 3, вышеизложенные инфазные и антифазные связи не являются полностью синхронными и происходят с некоторыми фазовыми задержками.

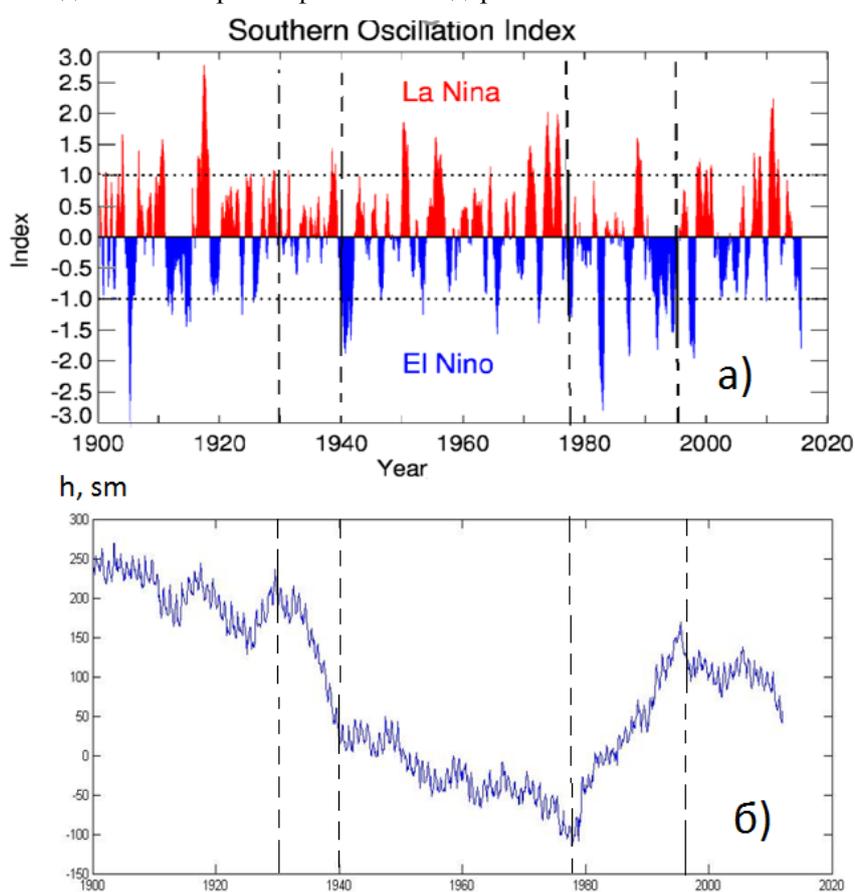


Рис. 4. Эволюция индекса Южной осцилляции (а) и колебаний уровня Каспийского моря (б) за период 1900...2014 гг.

Это показывает, что явления Эл-Ниньо и Ла Ниньо в Тихом Океане, происходящие в достаточном удалении от Каспийского моря, влияют на изменения уровня моря не прямо, а через общую циркуляцию атмосферы. А это в конечном итоге приводит к изменениям элементов, составляющих водного баланса Каспийского моря. С этой точки зрения изменения в индексах осцилляции в масштабе 14...16 лет отражаются в изменениях уровня моря с некоторым опозданием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бышев В.И., Нейман В.Г., Пономарев В. И. и др. Роль глобальной атмосферной осцилляции в формировании климатических аномалий дальневосточного региона // Доклады РАН. – 2014. – Том 458. – № 1. – С. 92-96
2. Мамедов Р.М. Гидрометеорологическая изменчивость и экогеографические проблемы Каспийского моря. – Баку: Элм, 2007. – 453 с.
3. Arpe K., Bengtsson L., Golitsyn G. S. et al. Connection between Caspian Sea level variability and ENSO // Geophysical research letters. – 2000. – Vol. 27, №17. – P. 2693-2696.
4. Baddoo T.D., Guan Y., Zhang D. et al. Rainfall Variability in the Huangfuc-huang Watershed and Its Relationship with ENSO // Water. – 2015. – №7. – P. 3243-3262.
5. Grinsted A., Moore J.C., Jevrejeva S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series [Электрон. ресурс]. – 2011. – URL: <http://noc.ac.uk/using-science/crosswavelet-wavelet-coherence> (дата обращения: 11.02.2017)
6. Stepanov V.N., Zuo H. and Haines K. The link between the Barents Sea and ENSO events simulated by NEMO model // Ocean Science. – 2012. – №8. – P. 971-982.
7. Wang Z., Wu D., Chen X., Qiao R. // Adv. Atmos. Sci. – 2013. – V.30. – №5. – P. 1491-1506.
8. Ward P.J., Jongman B., Kummerow M. et al. Strong influence of El Nino Southern Oscillation on flood risk around the world // Proc. Natl. Acad. Sci. USA – 2014. – № 111. – P. 15659-15664.
9. Zebiak, S.E.; Orlove, B.; Muñoz, Á.G. et al. Investigating El Niño-Southern Oscillation and society relationships. Wiley Interdiscip // Rev. Clim. Chang. – 2015. – №6. – P. 17-34.

Поступила 4.04.2017

	Э.С. Сафаров
Докторы	Родриго Абарка Дел-Рио
Геогр. ғылымд. докторы	С.Г. Сафаров
Техн. ғылымд. докторы	Р.М. Мамедов
Докторы	Жан Франсуа Крето

ЭЛЬ-НИНЬО ҚҰБЫЛЫСЫ ЖӘНЕ КАСПИЙ ТЕҢІЗІ ДЕҢГЕЙІНІҢ АУЫТҚУЫ

Түйін сөздер: оңтүстік осцилляция индексі, кросс-вейвлет, вейвлет-коварианттік, жергілікті мерзімділік

Вейвлет-талдауы көмегімен Каспий теңізі деңгейінің ауытқуымен Эль-Ниньо және Ла-Ниньо құбылыстарының арасындағы мүмкін болатын тәуелділік зерттелді. Кросс-вейвлет (XWT) және вейвлет-коварианттік (WTC) әдісін қолдану, 14...16 жыл масштабында осцилляция индекстерінің өзгерістері теңіз деңгейінің өзгерістерінде кейбір кешігулермен байқалатынын көрсетті.

Safarov E.S., R. Abarca del Rio, Safarov S.H., Mamedov R.M., J-F. Cretaux

THE EL-NINO PHENOMENON AND CHANGES OF THE CASPIAN SEA LEVEL

Keywords: El Nino and La Nino, Southern Oscillation Index, cross wavelet, wavelet covariance, local periodicity

With the application of wavelet analysis investigates the possible link between the Caspian Sea level fluctuations and Southern Oscillation Index (SOI). Using wavelet covariance (WTC) revealed that on the scale of 14...16 years, this relationship occurs.