

## ДОЛГОПЕРИОДНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В АКВАТОРИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ. ЧАСТЬ 2: АНАЛИЗ

**Казьмин А.С.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36,  
e-mail: [akazmin@ocean.ru](mailto:akazmin@ocean.ru)*

Статья поступила в редакцию 11.04.2020, одобрена к печати 28.08.20.

Во второй части работы представлен феноменологический анализ взаимосвязей долгопериодной изменчивости различных гидрометеорологических параметров среды в акватории Каспийского моря в период 1948–2017 гг. Показано, что при годовом осреднении над акваторией преобладает северо-восточный ветровой режим, но ведущую роль в адвекции тепла в регион играет зональный (восточный) перенос. Периоды потепления/похолодания связаны с ослаблением/усилением восточного переноса. Временной сдвиг между сменой динамического и термического (а также влажностного) режимов составляет около 10–12 лет. Удельная влажность положительно коррелирована с температурой воздуха и уменьшается/возрастает в периоды похолодания/потепления. Напротив, относительная влажность и скорость выпадения осадков отрицательно коррелированы с температурой воздуха. Периоды интенсификации восточного переноса (и, соответственно, похолодания) над Каспийским морем совпадают с ситуацией, когда индекс САК уменьшается до отрицательных, либо нулевых значений, а индекс ВАЗР при этом существенно положителен. Ослабление восточного переноса (и потепление) происходит в период резкого усиления САК при сильно отрицательных значениях индекса ВАЗР.

**Ключевые слова:** гидрометеорологические параметры; долгопериодная изменчивость; ветровой режим; температура воздуха; влажность атмосферы; Каспийское море

### Введение

В первой части этого исследования (Казьмин, 2019) было представлено описание долгопериодной изменчивости термических, динамических и влажностных параметров среды в акватории Каспийского моря в период 1948–2017 гг. (70 лет) на основе анализа линейных трендов и полиномиальных аппроксимаций рядов исходных данных. При этом были учтены результаты исследований сезонной, межгодовой и долгопериодной изменчивости некоторых параметров среды в Каспийском море в период 1982–2017 гг., представленные ранее в обширном цикле работ Гинзбург с соавторами (Гинзбург и др., 2004; Ginzburg et al., 2005; Гинзбург и др., 2012; Костяной и др., 2014; Гинзбург, Костяной, 2018; Kostianou et al., 2019), где основное внимание было уделено линейным трендам изменчивости параметров и вопрос был детально исследован, с представлением

количественных оценок трендов на основе анализа различных баз данных. Однако Казьмин (2019) показал, что в связи с наличием мультидекадной периодичности вариаций параметров (выявленной на основе анализа полиномиальных аппроксимаций рядов данных), линейные тренды не могут служить адекватной оценкой их изменчивости на более длительном промежутке времени (70 лет). Было выявлено три временных интервала продолжительностью в среднем 10–25 лет с разнонаправленными тенденциями изменений параметров и предварительно установлено, что смена динамического режима происходила на 10–12 лет раньше изменений термического и влажностного режимов. Это позволило предположить ведущую роль долгопериодных вариаций крупномасштабных атмосферных процессов в изменчивости термических и влажностных параметров в акватории Каспийского моря.

Во второй части работы представлен феноменологический анализ взаимосвязей долгопериодной изменчивости различных гидрометеорологических параметров среды в акватории Каспийского моря. Также высказаны предположения о возможном влиянии крупномасштабного атмосферного форсинга на эту изменчивость.

### Данные

В первой части работы (Казьмин, 2019) рассмотренные гидрометеорологические параметры среды были разделены на термические (температура приповерхностного воздуха – ТПВ; температура поверхности моря – ТПМ), динамические (зональная компонента ветра –  $U$ ; меридиональная компонента ветра –  $V$ ; скорость ветра –  $W=(U^2+V^2)^{0.5}$ ; сюда же можно отнести и атмосферное давление на уровне моря – SLP (sea level pressure)) и связанные с влагосодержанием атмосферы (удельная влажность атмосферы – SH (specific humidity); относительная влажность атмосферы – RH (relative humidity), скорость выпадения осадков – PR (precipitation rate), общее влагосодержание атмосферы – PW (precipitable water)). Среднемесячные пространственно осредненные над акваторией Каспийского моря (рис. 1 в Казьмин, 2019) значения указанных выше параметров за период 1948–2017 гг. по данным реанализа NCEP/NCAR получены на сайте <https://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/timeseries/timeseries1.pl>. Реанализ NCEP/NCAR (далее реанализ) – один из наиболее популярных источников данных о гидрометеорологических параметрах, предоставляющий длительные ряды на глобальной сетке. Тем не менее, возникает вопрос об оценке достоверности этих данных. Сложность заключается в том, что в самом реанализе ассимилируются натурные данные из множества источников, поэтому для сопоставления необходимы независимые измерения. Подобные методические работы не слишком многочисленны и выполнялись в рамках конкретных задач для ограниченных районов и числа параметров. Так, например, сравнение приземной температуры воздуха из реанализа с наблюдениями на станциях на территории США за период 1950–1999 гг. (Kalnay, Cai, 2003) показало

хорошее совпадение межгодовой изменчивости. Сопоставление измерений приземного давления и температуры воздуха на 189 гидрометеостанциях в Северной Полярной области с данными реанализа (Кораблев и др., 2007) подтвердило высокую корреляцию между ними (0.98 для давления и 0.83 для температуры). Сравнение рядов модуля скорости ветра в Каспийском море по измерениям на прибрежных гидрометеостанциях и реанализу (Лопатухин, Яицкая, 2019) показало их нелинейную зависимость и высокую корреляцию (коэффициент детерминации  $\geq 0.9$ ).

Далее среднемесячные величины были осреднены за год и построены ряды среднегодовых значений параметров за период 1948–2017 гг. Подробнее методика обработки данных изложена в (Казьмин, 2019). Использованные ниже исходные ряды данных были сглажены 5-летним скользящим осреднением (анализируются не все параметры, рассмотренные в первой части). Все представленные коэффициенты корреляции статистически значимы с вероятностью менее 0.05. Долгопериодная изменчивость индекса Северо-Атлантического колебания (САК), построенная по данным NCAR (National Center for Atmospheric Research), получена на сайте [https://en.wikipedia.org/wiki/North\\_Atlantic\\_oscillation#/media/File:Winter-NAO-Index.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/North_Atlantic_oscillation#/media/File:Winter-NAO-Index.svg). Данные об индексе Восточно-Атлантического – Западно-Русского колебания (ВАЗР) получены на сайте NCEP (National Center for Environmental Predictions; [ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd52dg/data/indices/eawr\\_index.tim](ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd52dg/data/indices/eawr_index.tim)).

## Результаты

### Долгопериодная изменчивость ветрового режима

Как было показано ранее (Казьмин, 2019), при годовом осреднении над акваторией Каспийского моря преобладает режим северо-восточного атмосферного переноса. При этом зональная (восточная) компонента ветра превышает по величине меридиональную (северную) примерно в 5 раз. Более детально связь между зональной и меридиональной компонентами ветра в периоды ослабления (1962–1984 гг.) и усиления (1994–2010 гг.) зонального переноса (Казьмин, 2019), совпадающих с повышением и понижением температуры воздуха, представлена на рис. 1. Эта иллюстрация показывает, что в период повышения температуры воздуха в районе Каспийского моря зональная (восточная) компонента ветра ослабевает, а меридиональная (северная) – усиливается. Противоположная ситуация наблюдается во время фазы понижения температуры воздуха (зональный перенос усиливается, а меридиональный ослабевает). С учетом того, что скорость зонального переноса превышает скорость меридионального в среднем примерно в 5 раз, можно говорить о ведущей роли зонального (восточного) переноса в адвекции тепла в район Каспийского моря. Противоположный тепловой эффект меридионального переноса просто поглощается преобладающим влиянием зонального переноса. Как было показано ранее, зональный перенос ( $U$ ) усиливался в 1948–1958 гг., ослабевал в 1962–1984 гг. и вновь усиливался в 1994–2010 гг. (Казьмин, 2019).

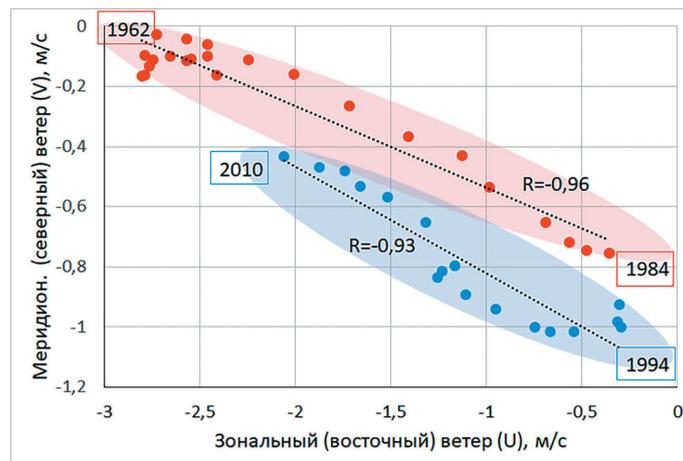


Рис. 1. Корреляция между зональной ( $U$ ) и меридиональной ( $V$ ) компонентами ветра в периоды ослабления (1962–1984 гг.) и усиления (1994–2010 гг.) зонального переноса.

Красные точки/розовая заливка и голубые точки/голубая заливка указывают на повышение/понижение температуры воздуха в соответствующие периоды. Точечные линии – линейные регрессии.  $R$  – коэффициенты корреляции.

### Зональный ветровой перенос и долгопериодная изменчивость температуры воздуха

Связь между зональной компонентой ветра и температурой воздуха над акваторией Каспийского моря представлена на рис. 2, наглядно демонстрирующим, что в периоды похолодания уменьшение температуры связано с усилением зонального (восточного) переноса. В период потепления, напротив, повышение температуры происходит благодаря ослаблению зонального переноса. Интересное дополнительное наблюдение состоит в том, что усиление восточного переноса более эффективно влияет на уменьшение температуры (наклоны линий регрессий составляют 2.72 и 0.68), чем его ослабление – на повышение температуры (наклон линии регрессии 0.3).

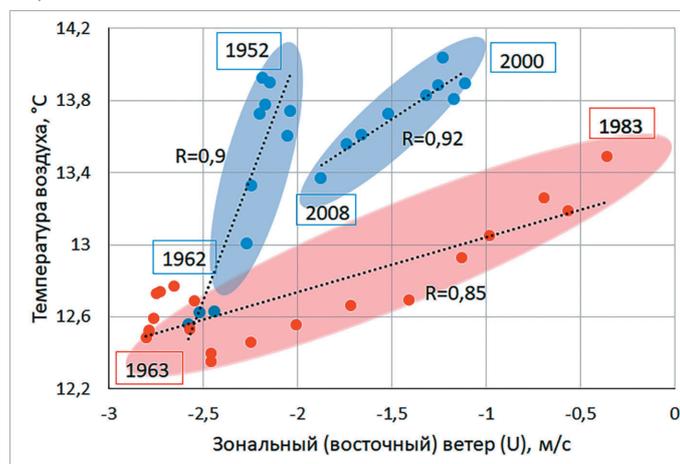


Рис. 2. Корреляция между зональной компонентой ветра ( $U$ ) и температурой воздуха в периоды ее повышения (1963–1983; красные точки, розовая заливка) и понижения (1952–1962; 2000–2008 гг.; голубые точки, голубая заливка). Точечные линии – линейные регрессии.  $R$  – коэффициенты корреляции.

### Долгопериодная изменчивость температуры воздуха и параметров влагосодержания атмосферы

Далее рассмотрены взаимосвязи между долгопериодной изменчивостью параметров влагосодержания атмосферы и температурой воздуха. Корреляции между температурой воздуха и удельной и относительной влажностью, и скоростью выпадения осадков в периоды похолодания и потепления представлены на рис. 3 (следует обратить внимание, что на осях ординат для периодов понижения температуры использован обратный порядок значений).

Удельная влажность, отражающая отношение массы водяного пара в некотором объеме воздуха ко всей массе воздуха в этом объеме, является одной из важнейших влажностных характеристик, поскольку она в значительной степени определяет скорость испарения с морской поверхности. Рис. 3 (верхний ряд)

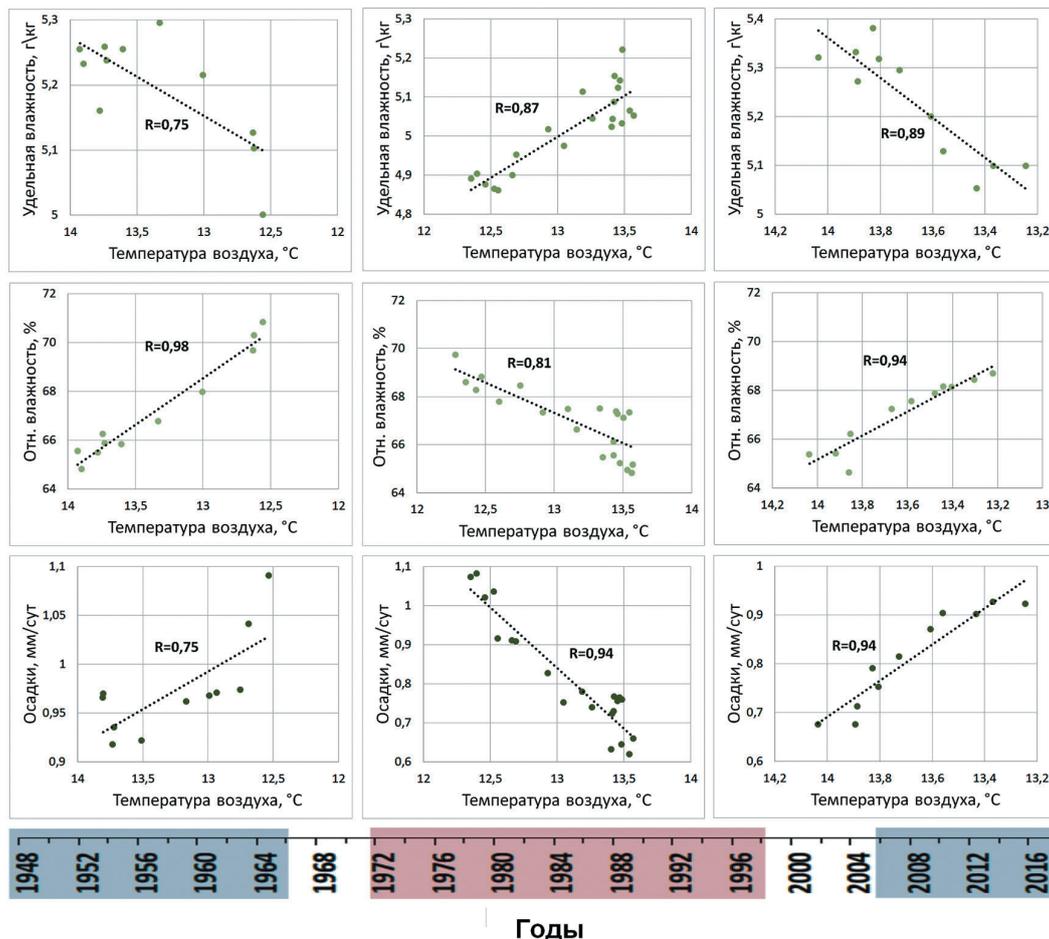


Рис. 3. Корреляции между температурой воздуха и параметрами влагосодержания (верхний ряд – удельная влажность; средний ряд – относительная влажность; нижний ряд – скорость выпадения осадков) в периоды ее понижения (1948–1965 гг.; 2006–2017 гг.; голубая заливка шкалы лет) и повышения (1972–1998 гг.; розовая заливка шкалы лет). Точечные линии – линейные регрессии.  $R$  – коэффициенты корреляции. На осях ординат для периодов понижения температуры использован обратный порядок значений.

показывает, что удельная влажность положительно коррелирована с температурой воздуха и уменьшается/возрастает в периоды похолодания/потепления. Ее изменение может происходить за счет испарения с водной поверхности или адвективного переноса. С учетом того, что во время повышения/понижения удельной влажности (периоды потепления/похолодания) наблюдается ослабление/усиление зонального переноса, основным фактором изменчивости удельной влажности должно быть испарение с поверхности моря. Таким образом, можно предполагать, что повышение температуры воздуха вызывает усиление испарения и наблюдающееся повышение удельной влажности и наоборот.

Относительная влажность представляет отношение парциального давления паров воды в воздухе к равновесному давлению насыщенных паров при данной температуре. Относительная влажность зависит от температуры воздуха – при данной удельной влажности относительная влажность будет ниже для теплого воздуха и выше для холодного. Это объясняет обнаруженную отрицательную корреляцию между температурой воздуха и относительной влажностью (рис. 3, средний ряд): в периоды похолодания наблюдается увеличение относительной влажности, а в периоды потепления – ее уменьшение.

Скорость выпадения осадков также оказалась отрицательно коррелирована с температурой воздуха: в периоды похолодания она увеличивалась, а в период потепления – уменьшалась (рис. 3, нижний ряд). Скорость выпадения осадков является результатом взаимодействия целого ряда факторов и не может быть детально проанализирована в рамках данной работы. Простейшее качественное объяснение наблюдаемой зависимости скорости выпадения осадков от температуры может состоять в том, что в периоды похолодания/потепления происходит, как показано выше, повышение/понижение относительной влажности. Соответственно, в холодные периоды легче достигается (за счет других факторов) состояние насыщения водного пара в воздухе, что является необходимым условием выпадения осадков. При пониженной относительной влажности в теплый период насыщение достигается труднее и количество осадков уменьшается.

Общее влагосодержание атмосферы, представляющее массу водяного пара в столбе воздуха единичной площади от поверхности до верхней границы атмосферы, ведет себя в целом аналогично относительной влажности: возрастает в периоды охлаждения и уменьшается в период потепления (Казьмин, 2019). Однако, статистически значимой зависимости влагосодержания от температуры воздуха не найдено.

## Дискуссия

В контексте данного исследования большой интерес представляют вопросы о связи обнаруженной долгопериодной изменчивости гидрометеорологических параметров с крупномасштабными атмосферными процессами, а также с изменчивостью уровня Каспийского моря. Однако обе эти темы крайне сложны и составляют предмет для отдельных полномасштабных исследований. В связи с этим здесь мы ограничимся дискуссионными предположениями, основанными на качественном феноменологическом анализе.

### **Возможная связь изменчивости ветрового режима с крупномасштабным атмосферным форсингом**

Крупномасштабными атмосферными процессами, потенциально способными влиять на долгопериодную изменчивость ветрового режима над Каспийским морем, могут быть Северо-Атлантическое колебание (САК) и Восточно-Атлантическое – Западно-Русское колебание (ВАЗР). САК связано с колебаниями разности атмосферного давления между Исландским минимумом и Азорским максимумом в Северной Атлантике и может влиять на интенсивность западного переноса над Европой вплоть до Восточного Средиземноморья и Каспийского региона. Колебательная система ВАЗР образуется двумя центрами аномального атмосферного давления над Каспийским морем и Западной Европой и определяет режим северо-восточного переноса в рассматриваемом регионе (Barnston, Livezey, 1987). Существует ряд исследований поведения атмосферных процессов при различных комбинациях интенсивности САК и ВАЗР. В частности, ослабление САК (индекс САК  $\leq 0$ ) в сочетании с усилением ВАЗР (индекс ВАЗР  $> 0$ ) создает условия для интенсификации северо-восточного переноса (Krichak et al., 2002; Kutiel, Benaroch, 2002). Именно такая ситуация наблюдалась в выделенные нами периоды интенсификации восточного переноса (и, соответственно, похолодания) над Каспийским морем в 1948–1958 гг. и в 1994–2010 гг.: индекс САК уменьшался до отрицательных (1948–1958 гг.) либо нулевых (1994–2010 гг.) значений, а индекс ВАЗР при этом был существенно положительным (рис. 4). Напротив, во время ослабления восточного переноса (потепления) происходило резкое усиление САК при сильно отрицательных значениях индекса ВАЗР.

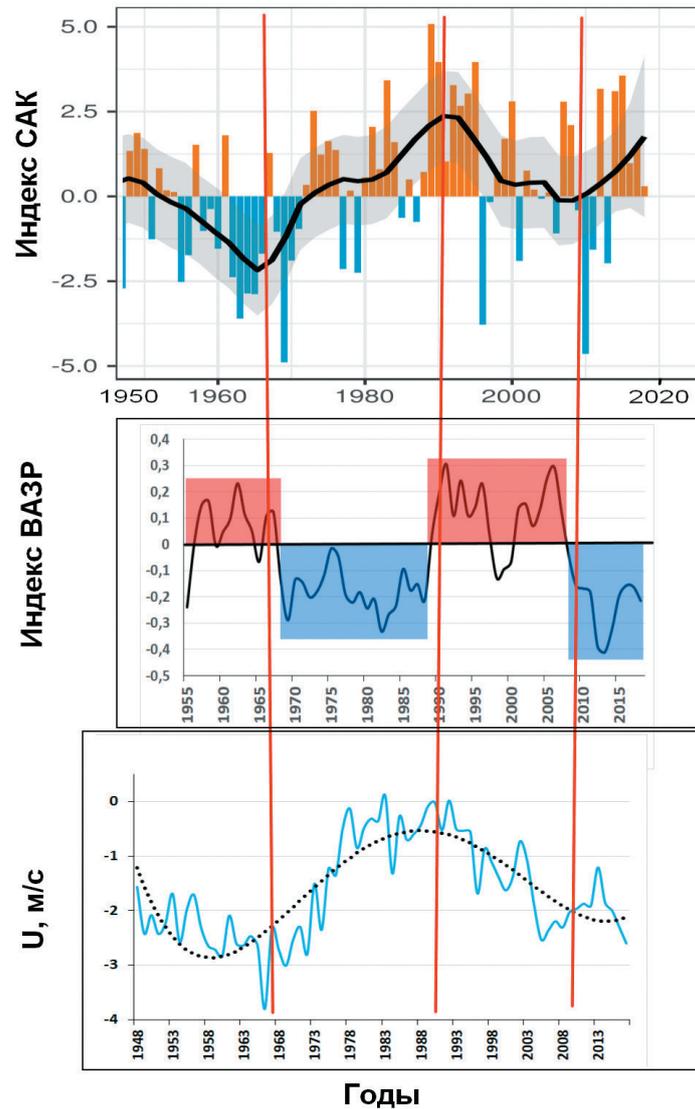


Рис. 4. Долгопериодная изменчивость индекса САК (верхняя панель; [https://en.wikipedia.org/wiki/North\\_Atlantic\\_oscillation#/media/File:Winter-NAO-Index.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/North_Atlantic_oscillation#/media/File:Winter-NAO-Index.svg), модифицировано автором), индекса ВАЗР (средняя панель) и зональной компоненты ветра  $U$  (нижняя панель). Оранжевая/синяя заливка на верхней панели отмечает периоды положительных/отрицательных значений САК. Красная/голубая заливка на средней панели отмечает периоды положительных/отрицательных значений индекса ВАЗР. Вертикальные красные линии маркируют годы минимальных и максимальных значений индекса САК.

### Изменчивость гидрометеорологических параметров и уровень Каспийского моря

На протяжении последних нескольких сотен лет уровень Каспийского моря был подвержен существенным флуктуациям, в том числе до нескольких метров в

последние десятилетия (напр., Panin, 2007; Panin et al., 2014). Поскольку Каспий является закрытым бассейном, изменения его уровня определяются главным образом речным стоком, осадками, испарением и стоком в залив Кара-Богаз-Гол. Не меньшую роль играет и антропогенное воздействие – создание водохранилищ, безвозвратные изъятия из притока к морю и т.п. Анализ и прогноз изменчивости уровня Каспия на основе этих факторов представляет крайне сложную задачу, решению которой посвящены многочисленные исследования. В рамках данной работы пока что можно только отметить, что в целом в периоды понижения уровня моря наблюдалось уменьшение температуры воздуха, понижение удельной влажности и повышение относительной влажности, влагосодержания и осадков (рис. 5). Противоположные тенденции изменения гидрометеорологических параметров наблюдались в период роста уровня моря.

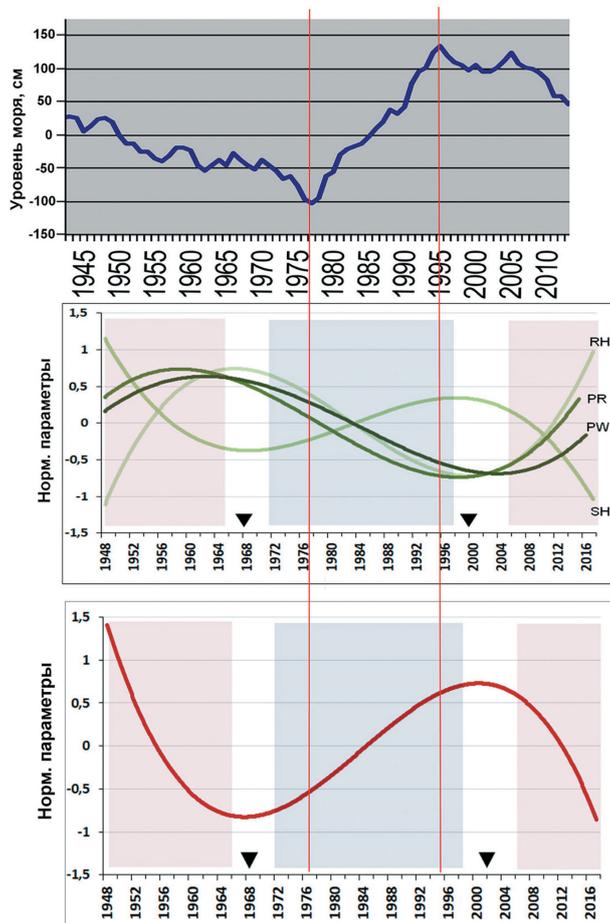


Рис. 5. Долгопериодная изменчивость уровня Каспийского моря (верхняя панель; уровень приведен относительно единого нуля Каспийского моря, равного – 28.00 м БС) по данным наблюдений (Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз, 2016) и полиномиальные аппроксимации долгопериодной изменчивости влажностных параметров (средняя панель; Казьмин, 2019) и температуры воздуха (нижняя панель; Казьмин, 2019). Вертикальные красные линии маркируют годы минимальных и максимальных значений уровня моря.

## Заключение

В работе представлен феноменологический анализ взаимосвязей долгопериодной изменчивости различных гидрометеорологических параметров среды в акватории Каспийского моря в период 1948–2017 гг. Показано, что при годовом осреднении над акваторией Каспийского моря преобладает северо-восточный ветровой режим, но ведущую роль в адвекции тепла в регион играет зональный (восточный) перенос. Установлено, что периоды потепления/похолодания связаны с ослаблением/усилением восточного переноса. Временной сдвиг между сменой динамического и термического (а также влажностного) режимов составляет около 10–12 лет. Удельная влажность положительно коррелирована с температурой воздуха и уменьшается/возрастает в периоды похолодания/потепления. Напротив, относительная влажность и скорость выпадения осадков отрицательно коррелированы с температурой воздуха.

Периоды интенсификации восточного переноса (и, соответственно, похолодания) над Каспийским морем совпадают с ситуацией, когда индекс САК уменьшается до отрицательных либо нулевых значений, а индекс ВАЗР при этом существенно положителен. Ослабление восточного переноса (и потепление) происходит в период резкого усиления САК при сильно отрицательных значениях индекса ВАЗР.

Благодарность: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации (тема № 0149-2019-0004).

## Литература

- Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз. М.: Триада лтд, 2016. 378 с. ISBN 978-5-9908623-0-2.
- Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Шеремет Н.А. Сезонная и межгодовая изменчивость температуры поверхности Каспийского моря // *Океанология*. 2004. Т. 44. № 5. С. 645–659.
- Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Шеремет Н.А. Долговременная изменчивость температуры поверхности Каспийского моря (1982–2009 гг.) // *Современные проблемы дистанционного исследования Земли из космоса*. 2012. Т. 9. № 2. С. 262–269.
- Гинзбург А.И., Костяной А.Г. Межгодовая изменчивость температуры поверхности Каспийского моря в современный период (2003–2017 гг.) // *Вестник Тверского университета. Серия «География и геоэкология»*. 2019. № 3. С. 57–65.
- Казьмин А.С. Долгопериодная изменчивость гидрометеорологических параметров в акватории Каспийского моря. Часть 1: Описание // *Океанологические исследования*. 2019. Т. 47. № 5. С. 65–73. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2019.47\(5\).5](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2019.47(5).5).
- Кораблев А.А., Пнюшков А.В., Смирнов А.В. К вопросу о возможности использования данных ERA-40 и NCEP/NCAR реанализов для изучения климата в Северной Полярной области // *Труды ААНИИ*. 2007. Т. 447. С. 44–67.
- Костяной А.Г., Гинзбург А.И., Лебедев С.А., Шеремет Н.А. Южные моря России // *Второй оценочный доклад Росгидромета об изменении климата и их последствиях на*

- территории Российской Федерации. Федеральная служба по Гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Под. ред. В.М. Катцова, С.М. Семенова. М.: ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», 2014. С. 644–683.
- Лопатухин Л.И., Яицкая Н.А.* Данные реанализа полей ветра над Каспийским морем для расчета режима ветрового волнения // *Водные ресурсы*. 2019. Т. 46. № 6. С. 598–604. DOI: 10.31857/S0321-0596466598-604.
- Barnston A., Livezey R.E.* Classification, seasonality and persistence of low-frequency circulation patterns // *Mon. Weather Rev.* 1987. Vol. 115. P. 1083–1126.
- Ginzburg A.I., Kostianoy A.G., Sheremet N.A.* Sea Surface Temperature Variability // *The Caspian Sea Environment*. Kostianoy A.G. and Kosarev A.N. (eds): *The Handbook of Environmental Chemistry*. Springer-Verlag GmbH, 2005. Vol. 5. P. 59–81.
- Kalnay E., Cai M.* Impact of urbanisation and land-use change on climate // *Nature*. 2003. Vol. 423. P. 528–531.
- Kostianoy A.G., Ginzburg A.I., Lavrova O.Y., Lebedev S.A., Mityagina M.I., Sheremet N.A., Soloviev D.M.* Comprehensive Satellite Monitoring of Caspian Sea Conditions. Barale V. and Gade M. (eds): *Remote Sensing of the Asian Sea*. Springer, Cham., 2019. P. 505–521.
- Krichak S.O., Kishcha P., Albert P.* Decadal trends of main Eurasian oscillations and the Eastern Mediterranean precipitation // *Theor. Appl. Climatol.* 2002. Vol. 72. P. 209–220.
- Kutiel H., Benaroch Y.* North Sea-Caspian Pattern (NCP) – an upper level atmospheric teleconnection affecting the Eastern Mediterranean: identification and definition // *Theor. Appl. Climatol.* 2002. Vol. 71. P. 17–28.
- Panin G.N.* Caspian Sea level fluctuations as a consequence of regional climatic change // *Global Change: Enough Water for All*. Edited by J. L. Lozán, et al. Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg, 2007. P. 216–219.
- Panin G.N., Solomonova I.V., Vyrychalkina T.Yu.* Regime of water balance components of the Caspian Sea // *Water Resour.* 2014. Vol. 41(5). P. 505–511. DOI: 10.1134/S0097807814050078.

## LONG-TERM VARIABILITY OF THE HYDRO-METEOROLOGICAL PARAMETS IN THE CASPIAN SEA. PART 2: ANALYSIS

**Kazmin A.S.**

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences  
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia,  
e-mail: akazmin@ocean.ru*

Submitted 11.04.2020, accepted 28.08.20

The second part of the paper presents a phenomenological analysis of the relationships of long-term variability of various hydrometeorological parameters in the Caspian Sea in the period 1948–2017. It is shown that under annual averaging the North-Eastern wind regime prevails over the sea basin, but the major portion of heat advection into the region is provided by zonal (Eastern) transport. Periods of warming/cooling are associated with a weakening/strengthening of the Eastern transport. The time lag between the change of dynamic and thermal (as well as humidity) regimes is about 10–12 years. Specific humidity is positively correlated with air temperature and decreases/increases during periods of cooling/warming. In contrast, relative humidity and precipitation rates are negatively correlated with air temperature. Periods of intensification of Eastern transport (and, consequently, cooling) over

the Caspian Sea coincide with a situation when the NAO index decreases to negative or zero values, and the EAWR index is significantly positive. Easing of the Eastern transport (and warming) occurs during a period of sharp strengthening of the NAO at strongly negative values of the EAWR index.

**Keywords:** hydro-meteorological parameters; long-term variability; wind regime; air temperature; atmospheric humidity; Caspian Sea

**Acknowledgments:** The work was performed as part of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (topic No. 0149-2019-0004).

### References

- Barnston A. and Livezey R.E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency circulation patterns. *Mon. Weather Rev.*, 1987, Vol. 115, pp. 1083–1126.
- Ginzburg A.I., Kostianoy A.G., and Sheremet N.A. Seasonal and interannual variability of the surface temperature in the Caspian Sea. *Oceanology*, 2004, Vol. 44 (5), pp. 605–618.
- Ginzburg A.I., Kostianoy A.G., and Sheremet N.A. Sea Surface Temperature Variability. The Caspian Sea Environment. Kostianoy A.G. and Kosarev A.N. (eds): The Handbook of Environmental Chemistry. Springer-Verlag GmbH, 2005, Vol. 5, pp. 59–81.
- Ginzburg A.I., Kostianoy A.G., and Sheremet N.A. Dolgovremennaya izmenchivost' temperatury poverhnosti Kaspijskogo morya (1982–2009 gg.) (Long-term variability of the surface temperature of Caspian Sea (1982–2009)). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 2, pp. 262–269.
- Ginzburg A.I. and Kostianoy A.G. Mezhgodovaya izmenchivost' temperatury poverhnosti Kaspijskogo morya v sovremennyj period (2003–2017 gg.) (Interannual variability of the Caspian Sea surface temperature in the current period (2003–2017)). *Vestnik Tverskogo universiteta. Seriya «Geografiya i geoekologiya»*, 2018, Vol. 3, pp. 57–65.
- Kalnay E. and Cai M. Impact of urbanisation and land-use change on climate. *Nature*, 2003, Vol. 423, pp. 528–531.
- Kazmin A.S. Long-term variability of hydrometeorological parameters in the Caspian Sea. Part 1: Description. *Journal of Oceanological Research*, 2019, Vol. 47, No. 5, pp. 65–73, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2019.47\(5\).5](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2019.47(5).5).
- Korablev A.A., Pnyushkov A.V., and Smirnov A.V. K voprosu o vozmozhnosti ispol'zovaniya dannyh ERA-40 i NCEP/NCAR reanalizov dlya izucheniya klimata v Severnoj Polyarnoj oblasti (On possibility to use ERA-40 and NCEP/NCAR reanalysis data for climate study in North Polar region). *Trudy AANII*, 2007, Vol. 447, pp. 44–67.
- Kostianoy A.G., Ginzburg A.I., Lebedev S.A., and Sheremet N.A. Yuzhnye morya Rossii. Vtoroj ochenyj doklad Rosgidrometa ob izmeneniya klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii. Federal'naya sluzhba po Gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchej sredy (Rosgidromet). V.M. Katcov, S.M. Semenov (red.) (Southern seas of Russia. Second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. Federal service for Hydrometeorology and environmental monitoring (Roshydromet). V.M. Kattsov, S.M. Semenov (eds.)) Moscow: FGBU «IGKE Rosgidrometa i RAN», 2014, pp. 644–683.
- Kostianoy A.G., Ginzburg A.I., Lavrova O.Y., Lebedev S.A., Mityagina M.I., Sheremet N.A., and Soloviev D.M. Comprehensive Satellite Monitoring of Caspian Sea Conditions. Barale V.

- and Gade M. (eds): Remote Sensing of the Asian Sea. Springer, Cham, 2019, pp. 505–521.
- Krichak S.O., Kishcha P., and Albert P.* Decadal trends of main Eurasian oscillations and the Eastern Mediterranean precipitation. *Theor. Appl. Climatol.*, 2002, Vol. 72, pp. 209–220.
- Kutiel H. and Benaroch Y.* North Sea-Caspian Pattern (NCP) – an upper level atmospheric teleconnection affecting the Eastern Mediterranean: identification and definition. *Theor. Appl. Climatol.*, 2002, Vol. 71, pp. 17–28.
- Lopatoukhin L.I. and Yaitskaya N.A.* Dannye reanaliza polej vetra nad Kaspijskim morem dlya rascheta rezhima vetrovogo volneniya (Reanalysis data of wind fields above the Caspian Sea for calculation of wind-induced waves). *Vodnye resursy*, 2019, Vol. 46 (6), pp. 598–604, doi: 10.31857/S0321-0596466598-604.
- Panin G.N.* Caspian Sea level fluctuations as a consequence of regional climatic change. Global Change: Enough Water for All? Edited by J.L. Lozán, et al. Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg, 2007, pp. 216–219.
- Panin G.N., Solomonova I.V., and Vyruchalkina T.Yu.* Regime of water balance components of the Caspian Sea. *Water Resour.*, 2014, Vol. 41 (5), pp. 505–511, doi: 10.1134/S0097807814050078.
- Vodnyj balans i kolebaniya urovnya Kaspijskogo morya. Modelirovanie i prognoz (Water balance and level fluctuations of the Caspian Sea. Modeling and prediction). Moscow: Triada ltd, 2016, 378 p., ISBN 978-5-9908623-0-2.