

# НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

*З.К. Абузяров, Е.С. Нестеров*

Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации  
abusiar@mecom.ru, nesterov@mecom.ru

## Введение

Разномасштабная изменчивость уровня Каспийского моря (УКМ) является одной из главных особенностей гидрологического режима моря и основным фактором, лимитирующим все виды хозяйственной деятельности в регионе.

Только в XX столетии в многолетнем ходе УКМ наблюдалось два экстремальных явления, имеющих драматические последствия: продолжительное (с 1930 по 1977 г.) понижение уровня на 3.0 м, а вслед за этим (с 1978 по 1995 г.) повышение уровня на 2,4 м.

Это послужило поводом к появлению большого количества работ, посвященных исследованию причин разномасштабных колебаний УКМ и их прогнозированию [4, 5, 8–11, 13]. Интерес к этой проблеме не угасает и сегодня. В последние годы заметное развитие получили методы статистического анализа временных рядов, что дало возможность более детального изучения изменчивости уровня Каспийского моря и факторов, его обуславливающих.

Как известно, колебания уровня моря характеризуются широким спектром изменчивости, имеющим пики на частотах суточных, синоптических, сезонных, межгодовых и вековых колебаний, обусловленных изменчивостью климатических факторов.

Характеристики уровня режима Каспийского моря, такие как сезонная и многолетняя изменчивость, максимальный и минимальный уровень и др. определяются главным образом климатическими и антропогенными факторами, в меньшей степени – тектоническими процессами, обменом вод через дно и стоком морской воды в залив Кара-Богаз-Гол.

Например, средний годовой уровень моря зависит от годового количества осадков и осадков предыдущих лет, потерь на испарение и процессов накопления и расходования влаги на водосборном бассейне Каспийского моря. В свою очередь, осадки и испарение определяются общими процессами циркуляции атмосферы, интенсивностью и траекториями движения циклонов, температурой и влажностью воздуха, скоростью ветра и т.д. Большую роль играет также зарегулированность стока рек, питающих Каспийское море. В

зависимости от величины сбросов воды из водохранилищ диапазон колебаний уровня моря может достигать значительных величин.

Выделяют два вида колебаний уровня моря: деформационные и эвстатические. К первой группе относятся колебания уровня, обусловленные сгонно-нагонными ветрами и изменениями атмосферного давления. Ко второй группе относятся вековые (многолетние и межгодовые) и сезонные колебания уровня, отражающие изменения объема вод моря.

Ниже кратко рассматриваются основные особенности изменчивости УКМ. Основой работы послужили данные об уровне Каспийского моря и других гидрометеорологических характеристиках, опубликованные в справочниках и находящиеся в архиве отдела морских гидрологических прогнозов ГУ «Гидрометцентр России».

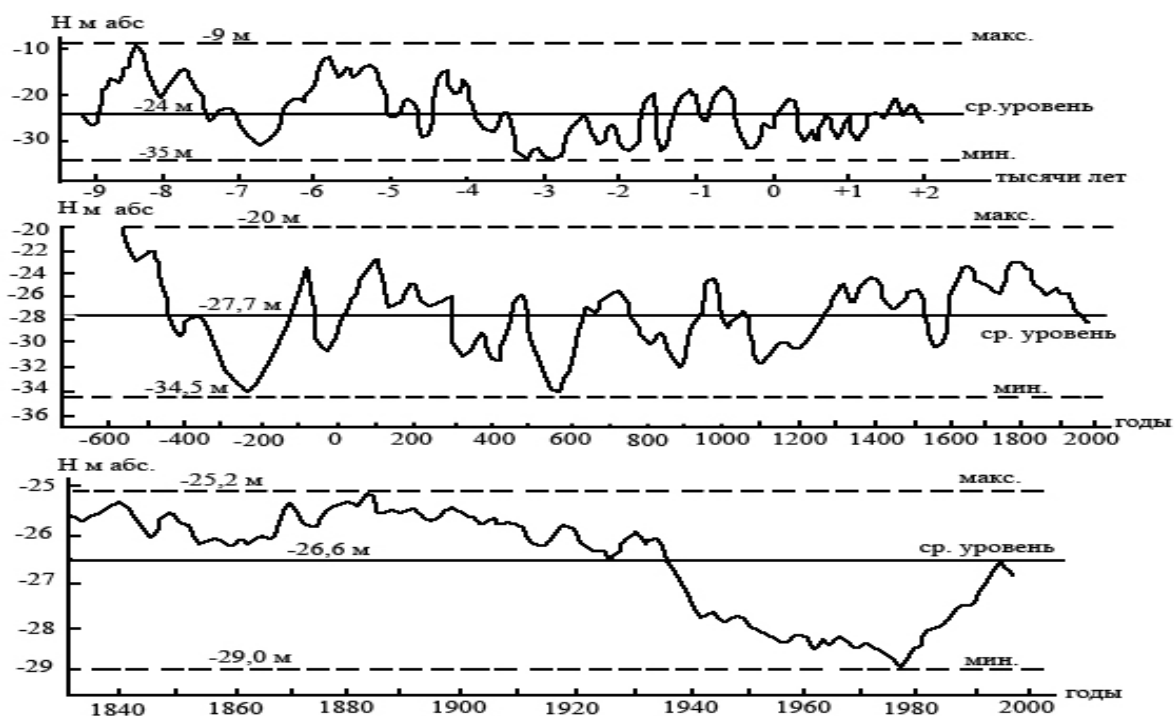
### **1. Основные особенности многолетней изменчивости УКМ**

Каспийское море уникально тем, что оно изолировано от океана, и поэтому колебания его уровня полностью определяются изменениями водного баланса, которому принадлежит одно из ключевых ролей в процессах разномасштабной изменчивости уровня моря [13]. Ярko выраженная географическая зональность климатических составляющих обуславливает зональность в распределении норм годовых осадков и испарения.

Основной приходной статьей водного баланса моря является речной сток, прежде всего Волги, который составляет около 80 % общего стока рек, поступающего в Каспийское море. Количество осадков, их вид и распределение по площади водосбора Каспийского моря определяют величину стока рек и характерные черты его внутригодового распределения. Второй по значимости составляющей водного баланса является испарение, которое зависит от режима влажности и ветра.

Формирование уровня моря происходило на протяжении длительной геологической истории, в течение которой наблюдалась неоднократная смена фаз роста (трансгрессий) и падения (регрессий) уровня моря разной величины и продолжительности.

На рис. 1 хорошо просматриваются основные особенности хода УКМ за различные исторические периоды: тысячелетние колебания (верхняя кривая), вековые (средняя кривая) и межгодовые (нижняя кривая).



**Рис. 1. Изменчивость уровня Каспийского моря и его характеристики в различные периоды времени.**

Верхняя кривая указывает на наличие колебаний с максимальной амплитудой 25 м (за последние десять тысяч лет), средняя кривая, охватывающая последние 2,5 тысячи лет, указывает на наличие максимальной амплитуды 15 м. Только в течение последних 2000 лет наблюдалось 6 крупных трансгрессий уровня моря с амплитудой колебаний в пределах 5–10 м.

На нижней кривой, характеризующей современную эпоху, выделяются два периода с относительно устойчивым режимом колебаний уровня: 1878–1933 гг. и 1941–1977 гг. и два периода с относительно аномальным поведением уровня: катастрофическое падение в течение 1930–1941 гг. и экстремальное повышение после 1977 года.

Анализ водного баланса и многолетнего хода уровня за период инструментальных наблюдений, выполненный в [5,8] показал, что высокое положение уровня и относительная его стабильность в XIX и начале XX века были обусловлены благоприятными гидрологическими условиями, определяющими многоводность рек, и относительным равновесием между элементами водного баланса моря. Последовательно чередующиеся 4–5-летние циклы многоводных и 5–8-летние циклы маловодных лет приводили к соответствующим повышению и понижению уровня поверхности моря. Тенденция

снижения уровня моря в этот период была незначительной и составила 0,34 см за 30 лет. Состояние относительно равновесного положения уровня моря в 1878–1930 гг. сменилось периодом его резкого падения в 1930–1941 гг. Дефицит водного баланса, в среднем около  $60 \text{ км}^3$  в год, способствовал значительному понижению уровня моря – на 1,8 м. Такое резкое падение было вызвано крупномасштабными климатическими изменениями. На значительной территории ЕТР, включая водосборный бассейн Каспийского моря, отмечались засушливые условия. Дефицит атмосферных осадков в бассейне Каспия в сочетании с интенсивным испарением с поверхности моря привел к резкому падению УКМ со средней скоростью 16 см/год.

В 1940–1950 гг., при более умеренных климатических условиях в бассейне Каспийского моря, темпы падения уровня моря замедлились. Аномально развитые процессы меридиональной формы циркуляции атмосферы способствовали увеличению увлажненности. В 1949–1956 гг. дефицит водного баланса составлял около  $19 \text{ км}^3$  в год, а в 1957–1969 гг. в море поступало примерно на  $7 \text{ км}^3$  в год больше воды, чем ее испарялось и стекало в залив Кара-Богаз-Гол.

В начале 70-х годов прошлого столетия в бассейне моря вновь сложились неблагоприятные условия, аналогичные периоду 30-х годов. Дефицит водного баланса за 1970–1977 гг. составил  $50 \text{ км}^3$  и привел к падению уровня моря к 1977 году до отметки – 29,0 м (по БСВ – Балтийской системе высот) – самого низкого значения за последние 500 лет. В 1942–1977 гг. дефицит водного баланса в среднем составлял  $13,7 \text{ км}^3$  в год, что соответствовало ежегодному снижению уровня моря на 3,7 см; за весь период уровень моря опустился на 1,2 м.

Общее понижение УКМ в XX столетии составило 3,2 м. Снижение уровня моря происходило со средней скоростью 4 см/год, а в 1930–1941 и 1970–1977 гг. со средней скоростью 16 и 14 см/год соответственно.

При этом переход уровня моря из одного режима в другой происходил довольно резко. Так, после высокого стояния уровня в 1928–1933 гг. началось быстрое падение уровня моря. Та же самая ситуация наблюдалась в период с 1970 по 1977 г.

С конца 1977 г. начался обратный процесс в многолетнем ходе уровня моря – его быстрый подъем, который продолжался в течение 18 лет со средней скоростью 14 см/год, а в отдельные годы эта цифра достигала 30 см и более. В 1995 г. уровень моря достиг своего максимального значения –26,6 м БСВ, т.е. по отношению к уровню 1977 г. поднялся на 2,4 м.

Начиная с 1996 г. уровень Каспийского моря понижался вплоть до 2002 г. За 1996 и 1997 гг. уровень моря понизился на 36 см, затем его падение замедлилось. За период с 1998 по 2002 г. уровень моря понизился всего на 8 см, достигнув абсолютной отметки в 2002 году, равной  $-27,15$  м БСВ (85 см в относительных отметках). За 2003–2004 гг. уровень снова повысился на 14 см, достигнув в 2004 г. отметки  $-27,01$  м БСВ (91 см).

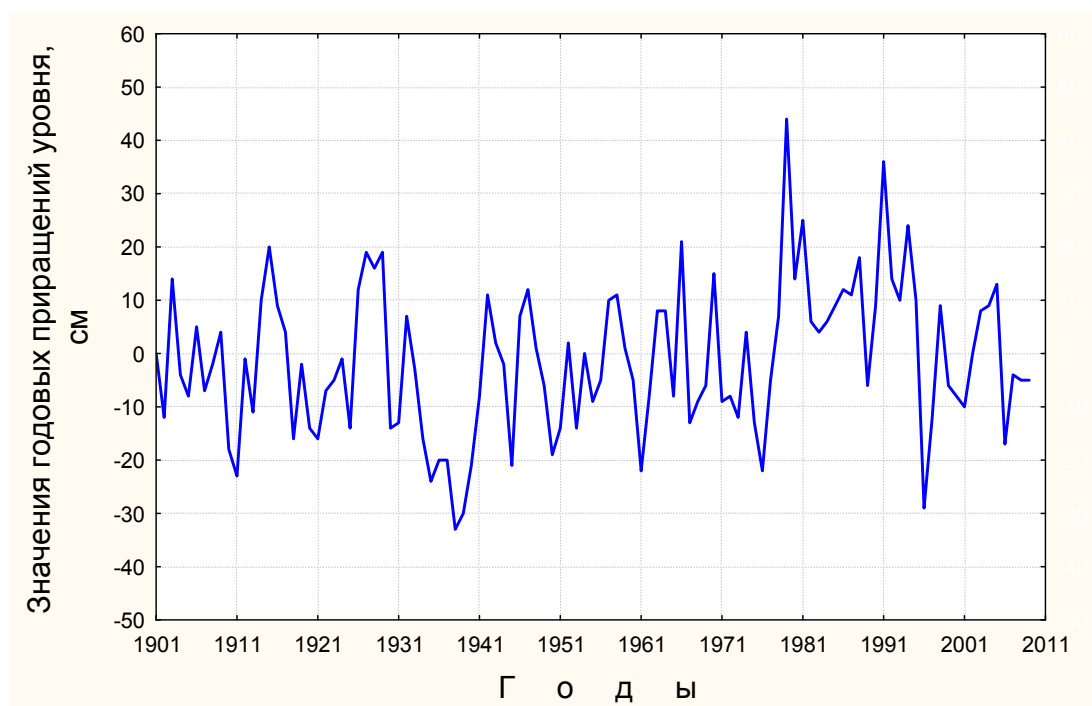
В табл. 1 представлены периоды интенсивного понижения и повышения УКМ в его многолетнем ходе.

Таблица 1

**Периоды интенсивного понижения и повышения уровня Каспийского моря и их значения**

| Периоды понижения уровня моря | Величина понижения уровня, см | Продолжительность понижения уровня, годы | Периоды повышения уровня моря | Величина повышения уровня, см | Продолжительность повышения уровня, годы |
|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|
| 1891-1895                     | 24                            | 5                                        | 1895-1897                     | 41                            | 3                                        |
| 1909-1914                     | 50                            | 6                                        | 1914-1917                     | 51                            | 4                                        |
| 1917-1926                     | 80                            | 10                                       | 1926-1929                     | 66                            | 4                                        |
| 1929-1941                     | 186                           | 13                                       | 1978-1995                     | 240                           | 18                                       |
| 1948-1957                     | 63                            | 10                                       | 2002-2005                     | 30                            | 4                                        |
| 1959-1963                     | 33                            | 5                                        |                               |                               |                                          |
| 1971-1977                     | 62                            | 7                                        |                               |                               |                                          |
| 1996-2002                     | 56                            | 8                                        |                               |                               |                                          |
| 2005-2010                     | 45                            | 5                                        |                               |                               |                                          |

На рис. 2 показана кривая ежегодных приращений уровня моря.



**Рис. 2. Временной ход межгодовых приращений уровня (1910–2009 гг.).**

На рисунке хорошо просматривается цикличность в многолетнем ходе годовых приращений уровня моря. Однако, определенной закономерности в многолетнем ходе межгодовых приращений уровня не наблюдается, распределение близко к случайному процессу. В отдельные годы отмечались значительные повышения и понижения уровня моря от +40 см до –34 см.

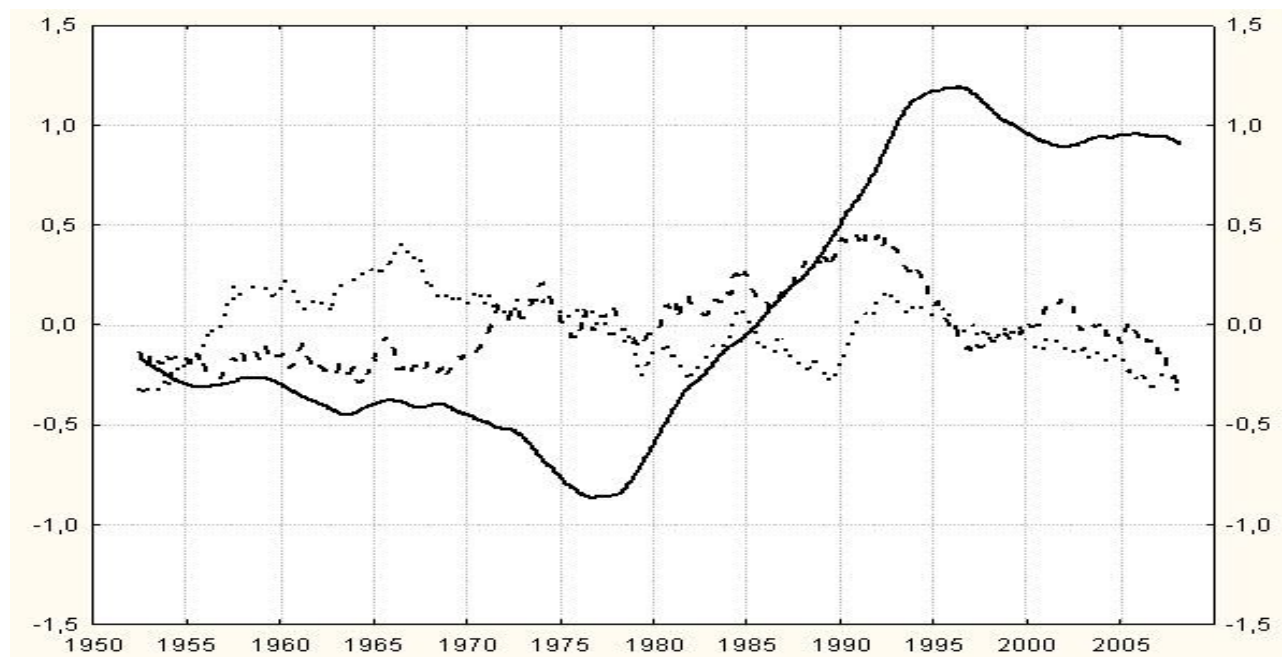
## **2. Влияние крупномасштабной циркуляции атмосферы на уровень Каспийского моря**

Как уже отмечалось во введении, многолетняя изменчивость уровня Каспийского моря определяется, в основном, климатическими факторами, основным из которых является изменчивость крупномасштабной циркуляции атмосферы. Известно, что крупномасштабные колебания атмосферной циркуляции, коррелированные в определенных областях (дальние связи), вносят большой вклад в низкочастотную изменчивость атмосферы. Для их количественного описания предложены индексы, которые рассчитываются по данным геопотенциала изобарической поверхности 700 гПа (<http://www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/>).

В работе [6] исследовались связи индексов с УКМ. Было получено, что наибольшее влияние на уровень Каспийского моря оказывают колебания циркуляции атмосферы в Атлантико-Европейском регионе: NAO – Северо-Атлантическое колебание; EA – Восточно-Атлантическое колебание (BAK); EA-Jet – BAK-струйное течение; EA/WR – колебание Восточная Атлантика–Западная Россия. Интересно, что при сдвиге в 1 год наибольшее влияние на УКМ оказывает колебание EA/WR, один из узлов которого расположен над Каспийским морем.

Другая интересная особенность заключается в том, что многолетний ход индекса EA-Jet оказался самым близким к ходу УКМ среди всех рассматриваемых индексов. Этот результат представляется неожиданным, поскольку колебание EA-Jet выражено только в теплую часть года. На основе анализа межгодовой изменчивости над Каспийским морем ветра, температуры воздуха и индекса засушливости Палмера, который характеризует сухие и влажные периоды, было показано, что на изменчивость УКМ оказывают сильное влияние процессы испарения и осадков в летний период, интенсивность которых косвенно определяется индексом EA-Jet [6].

Как отмечалось в предыдущем разделе, после достижения максимальных значений в 1995 г. уровень Каспийского моря начал понижаться. Попробуем выявить возможные причины этого явления на основе изменчивости индексов атмосферной циркуляции. К сожалению, расчет индекса EA-Jet в последние годы не производился, поэтому будем использовать индексы NAO и EA/WR. Как видно из рис. 3, понижению УКМ после 1995 года предшествовало уменьшение индексов NAO и EA/WR с начала 1990-х годов.



**Рис. 3.** Изменение уровня Каспийского моря (сплошная линия), индексов NAO (пунктир) и EA/WR (точки). Величины уровня Каспийского моря даны в отклонениях от отметки  $-28,0$  м в см и деленные на 100. Все характеристики – среднемесячные значения, сглаженные 5-летним скользящим осреднением.

Уменьшение индекса NAO означает ослабление зональных и усиление меридиональных процессов в циркуляции атмосферы над Атлантико-Европейским регионом, что приводит к уменьшению количества циклонов, приходящих из Северной Атлантики на ЕТР, уменьшению снегонакопления и осадков в бассейне Волги, уменьшению стока Волги и понижению уровня Каспийского моря.

Уменьшение индекса EA/WR в холодную часть года свидетельствует о формировании преимущественно областей высокого давления над бассейном Волги и Каспийским морем, что в конечном счете также приводит к уменьшению стока Волги и понижению уровня Каспийского моря. При уменьшении индекса EA/WR в летний период температура воздуха над Каспийским морем становится выше нормы, что приводит к интенсивному испарению и способствует понижению уровня моря.

Таким образом, одной из возможных причин понижения УКМ после 1995 г. могло быть уменьшение индексов NAO и EA/WR с начала 1990-х годов, свидетельствующее об изменении характера циркуляции атмосферы в атлантико-европейском регионе.

Из рис. 3 также видно, что понижению УКМ с середины 1950-х до середины 1970-х годов не предшествовало уменьшение значений индексов NAO и EA/WR. В этой связи необходимо упомянуть работы [7, 14, 15], где было отмечено, что корреляционные связи между индексом NAO и некоторыми гидрометеорологическими полями в Северной Атлантике неустойчивы не только во времени, но и в пространстве. Так, в период роста NAO во второй половине XX века обнаружилось, что некоторые связи ослабли или, наоборот, усилились.

### **3. Особенности внутригодовой изменчивости уровня Каспийского моря**

В каждом районе моря внутригодовой ход уровня моря имеет свои особенности, отражая в то же время и общие закономерности, характерные для всего моря в целом.

Во внутригодовой изменчивости уровня Каспийского моря можно выделить сезонную изменчивость уровня, обусловленную соотношением приходной и расходной частей водного баланса моря, изменчивость синоптического масштаба, обусловленную характером циклонической и антициклонической деятельности на водосборе Каспия и короткопериодную изменчивость, обусловленную, главным образом, сгонно-нагонными явлениями.

#### **3.1. Сезонная изменчивость УКМ**

Основными факторами, определяющими сезонную изменчивость уровня, являются внутригодовое распределение речного стока и испарения, а также осадков. Сезонный цикл уровня более устойчив, чем циклы с периодом больше одного года. В северной части моря, куда поступает основная часть стока, размах сезонных колебаний уровня моря наибольший и составляет в среднем 40 см, в то время как в Среднем Каспии этот размах в среднем составляет 30 см. В табл. 2 представлены статистические данные сезонной изменчивости уровня в 7 пунктах моря.

Сезонные подъемы и спады уровня Каспийского моря обусловлены, прежде всего, объемом волжского половодья, его интенсивностью и продолжительностью, характеризующиеся значительной изменчивостью. За счет притока речных вод происходит повышение уровня моря от 55 до 115 см, что в отдельные годы составляет 60–90 % годового приращения уровня. Внутригодовой ход водного баланса характеризуется максимумом в

мае-июне, и минимумом – в августе-сентябре. Время наступления максимума определяется паводковым стоком, а минимума – повышенным испарением.

Таблица 2

**Средние многолетние и среднеквадратические отклонения уровня Каспийского моря для  
7 пунктов**

| Пункты         | Стат. характ.  | I   | II  | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X   | XI  | XII | Сред. год. |
|----------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------------|
| Махачкала      | $\overline{H}$ | 78  | 77  | 78  | 82  | 89  | 99  | 103 | 98   | 90  | 83  | 82  | 80  | 87         |
|                | $S$            | 107 | 107 | 106 | 104 | 104 | 107 | 109 | 109  | 108 | 108 | 108 | 107 | 107        |
| Баку           | $\overline{H}$ | 70  | 70  | 71  | 76  | 84  | 96  | 101 | 96   | 86  | 77  | 73  | 71  | 81         |
|                | $S$            | 96  | 96  | 95  | 94  | 93  | 95  | 97  | 97   | 97  | 97  | 97  | 96  | 96         |
| о.Жилой        | $\overline{H}$ | 71  | 71  | 72  | 76  | 84  | 97  | 102 | 97   | 88  | 78  | 75  | 72  | 82         |
|                | $S$            | 101 | 101 | 100 | 99  | 99  | 101 | 102 | 102  | 102 | 101 | 101 | 101 | 101        |
| Туркменбаши    | $\overline{H}$ | 67  | 68  | 68  | 73  | 80  | 91  | 99  | 94   | 82  | 72  | 69  | 67  | 77         |
|                | $S$            | 105 | 105 | 104 | 103 | 103 | 105 | 106 | 106  | 106 | 105 | 106 | 105 | 105        |
| Куули-Маяк     | $\overline{H}$ | 71  | 72  | 72  | 77  | 84  | 95  | 101 | 98   | 86  | 76  | 72  | 72  | 81         |
|                | $S$            | 107 | 106 | 106 | 105 | 105 | 106 | 108 | 107  | 107 | 106 | 107 | 107 | 107        |
| Кара-Богаз-Гол | $\overline{H}$ | 66  | 66  | 68  | 73  | 80  | 91  | 96  | 91   | 81  | 72  | 69  | 67  | 76         |
|                | $S$            | 103 | 103 | 102 | 101 | 100 | 102 | 104 | 104  | 104 | 104 | 104 | 104 | 104        |
| Форт-Шевченко  | $\overline{H}$ | 75  | 74  | 76  | 80  | 88  | 99  | 102 | 97   | 89  | 81  | 78  | 76  | 84         |
|                | $S$            | 99  | 99  | 98  | 97  | 96  | 99  | 102 | 102  | 101 | 100 | 99  | 98  | 100        |

Примечание:  $\overline{H}$  – средний уровень моря;  $S$  – среднеквадратичное отклонение (стандарт)

Наибольшие подъемы уровня моря отмечаются в многоводные годы, к которым относятся 1914, 1926, 1947, 1978, 1981, 1995 гг. (с положительным приращением уровня от 42 до 54 см), а наибольшие спады уровня – в маловодные годы: 1910, 1934, 1937, 1958, 1975 годы (с отрицательным приращением уровня от 41 до 45 см).

В северной части моря, куда поступает большая часть речного стока, многолетние изменения сезонного хода выражены более ярко, чем в средней и южной частях моря. Так, например, за рассматриваемый период наблюдений на о. Тюлений средние значения подъема уровня и его спада составляли 30 и 27 см соответственно, а на о. Кулалы – 36 и 30 см, соответственно. Наибольший сезонный подъем был отмечен в районе о. Тюлений в 1959 и 1985 гг. (71–72 см), а наибольший спад – в 1975 г. (64 см). В период стабилизации уровня поверхности в условиях равновесного водного баланса значения подъема и спада примерно равны.

Роль испарения во внутригодовых колебаниях уровня моря стоит на втором месте после стока. Колебания этой величины зависят от свойств воздушных масс над морем и в значительной степени определяются тепловым состоянием подстилающей поверхности.

Отклонение испарения от среднего многолетнего значения в отдельные годы достигает  $\pm 10-20$  см, что соответствует примерно 30-50% амплитуды внутригодовых колебаний уровня. За счет испарения уровень моря понижается в среднем за год на 97 см.

Испарение с поверхности моря непосредственно не измеряется, а рассчитывается по формулам. В настоящее время для получения данных об испарении используются разнообразные методы. Среди них можно выделить методы, основанные на использовании уравнений водного и теплового баланса, и методы, основанные на использовании различного рода эмпирических и полуэмпирических соотношений. До настоящего времени не существует достаточно надежных методов расчета испарения с поверхности моря. Расчетные данные об испарении, полученные по различным формулам сильно расходятся между собой. Разброс ошибок расчета может достигать 60 % и более.

Для практических расчетов испарения на Каспийском море часто используется формула [1]:

$$E = 4,29 \cdot E_{tw} + 8,$$

где  $E_{tw}$  – максимальное насыщение водяного пара при температуре воды за предшествующий месяц.

Данная формула позволяет по средним месячным значениям температуры воды у прибрежных станций приближенно вычислять испарение с поверхности моря для следующего месяца. Асинхронность связи можно объяснить особенностями термического режима замкнутого водоема, в котором процессы прогрева и охлаждения в открытом море запаздывают по сравнению с теми же процессами в мелководных районах. Учитывая, что температура воды в открытых районах моря всегда ниже, чем в прибрежных районах, значения испарения, рассчитанные по выше приведенной формуле, обычно уменьшают на 5 %.

Роль атмосферных осадков в сезонных колебаниях уровня моря по сравнению со стоком рек и испарением относительно невелика. Ежегодный прирост уровня моря в результате выпадения осадков составляет примерно 20 см. Отклонения количества осадков от нормы могут обуславливать отклонения в годовых приращениях уровня на  $\pm 3-7$  см, что составляет 10-15% размаха его внутригодовых колебаний. В табл. 3 приведены данные внутригодового распределения основных составляющих водного баланса, подсчитанные за период с 1924 по 2006 гг.

Таблица 3

**Многолетние среднемесячные значения составляющих водного баланса Каспийского моря (в мм слоя воды) (период осреднения 1924-2006 гг.)**

| Элементы водного баланса | Месяцы |     |     |     |      |     |     |      |     |     |    |     | Сред. год. |
|--------------------------|--------|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|----|-----|------------|
|                          | I      | II  | III | IV  | V    | VI  | VII | VIII | IX  | X   | XI | XII |            |
| Сток                     | 40     | 39  | 47  | 75  | 173  | 111 | 57  | 45   | 40  | 42  | 45 | 38  | 752        |
| Испарение                | 46     | 41  | 42  | 49  | 68   | 94  | 122 | 140  | 139 | 116 | 86 | 63  | 1006       |
| Осадки                   | 21     | 22  | 25  | 20  | 20   | 12  | 9   | 13   | 27  | 36  | 33 | 27  | 265        |
| Невязка                  | +15    | +20 | +20 | +46 | +125 | +29 | -56 | -82  | -72 | -38 | -8 | +2  | +11        |

Сезонный ход уровня моря в основном определяется речным стоком, отличающимся большой межгодовой и внутригодовой изменчивостью. Отклонения средних месячных значений стока от средних многолетних существенны в период паводка (апрель-июль), когда сток рек может колебаться от 15 до 20 км<sup>3</sup> в месяц, а в межень (декабрь-февраль) – от 5 до 29 км<sup>3</sup> в месяц, т.е. объем стока рек может увеличиваться или уменьшаться в 2–3 раза. Наибольшая межгодовая изменчивость стока характерна для июня и декабря, когда наблюдаются, соответственно, максимальный и минимальный среднемесячные объемы стока.

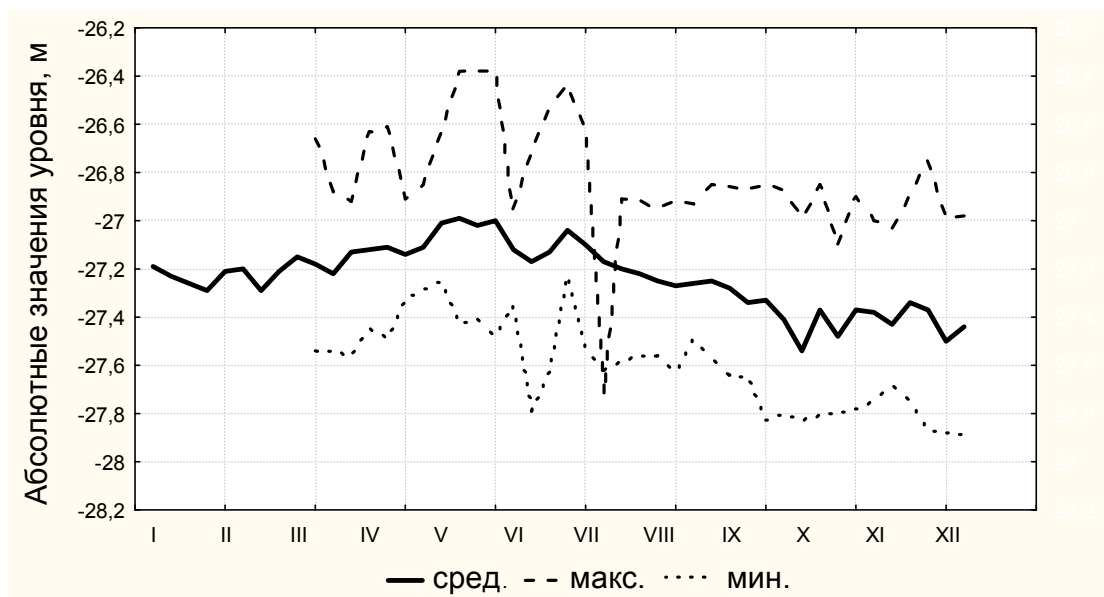
Сток с апреля по июнь, когда его объем наибольший, играет решающую роль в весенне-летнем подъеме уровня моря. Именно в эти месяцы уровень моря достигает своих максимальных значений. Среднемесячный максимум чаще всего отмечается в июле. В средней и южной части моря более высокие повторяемости июльского пика уровня характерны для западного побережья. В целом, наступление максимума и минимума имеет довольно широкий временной диапазон.

С июля–августа в связи с уменьшением речного притока и увеличением испарения с поверхности моря уровень моря постепенно понижается до минимального значения в декабре-феврале.

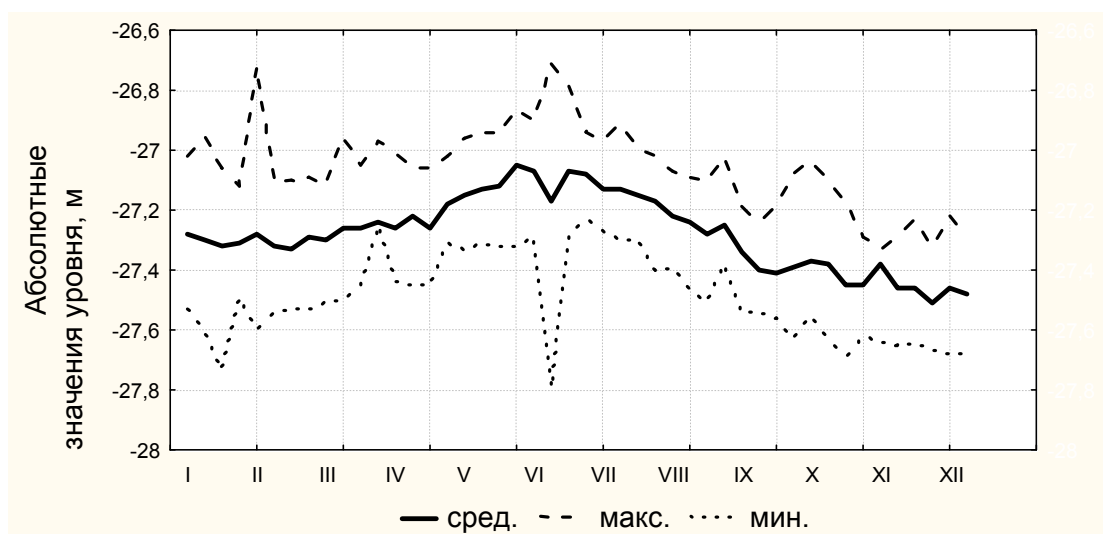
### **3.2. Изменчивость синоптического масштаба**

Колебания синоптического масштаба обычно охватывают период от нескольких суток до месяца. Изменчивость синоптического масштаба является наименее изученной характеристикой уровня моря. До сих пор нет полной ясности о вкладе колебаний уровня моря синоптического масштаба в общую дисперсию колебаний УКМ. В качестве примера на рис. 4 и 5 представлены кривые хода статистических характеристик уровня моря в 2010 г., построенные по данным наблюдений, осредненным за 7 дней отдельно

по постам Северного и Среднего Каспия, и характеризующие изменчивость синоптического масштаба.



**Рис. 4. Внутригодовой ход статистических характеристик уровня в Северном Каспии в 2010 г.**



**Рис. 5. Внутригодовой ход статистических характеристик уровня в Среднем Каспии в 2010 г.**

На рис. 4 и 5 обнаруживается слабо выраженный сезонный ход. Максимум уровня в Северном Каспии приходится на май–июнь, в Среднем Каспии на июнь–июль, а минимальные уровни в обоих случаях приходятся на ноябрь–декабрь.

В целом внутригодовой ход средних значений уровня на Северном и Среднем Каспии мало отличаются друг от друга, однако размах экстремальных колебаний более ярко

выражен на Северном Каспии, чем на Среднем, и может достигать 1 м. Наблюдающиеся отдельные пики во внутригодовом ходе уровня, по-видимому, связаны со сгонно-нагонными явлениями, обусловленными действием ветра и течений. Для более полной характеристики синоптической изменчивости необходим анализ большого объема данных.

### 3.3. Особенности короткопериодной изменчивости уровня

Анализ данных наблюдений показывает, что амплитуда короткопериодных колебаний УКМ в спокойную погоду обычно не превышает нескольких сантиметров. Однако в период сгонно-нагонных явлений суточные изменения уровня моря оказываются более значительными и могут достигать нескольких десятков сантиметров [12]. Наиболее значительные кратковременные непериодические колебания уровня Каспийского моря вызывают сильные сгонные и нагонные ветры, которые обуславливают наибольшие амплитуды уровня моря.

В табл. 4 представлены данные наибольших за месяц величин нагонов и сгонов по семи уровненным постам за весь период наблюдений.

Таблица 4

**Наибольшие за месяц величины нагонов и сгонов относительно среднего месячного уровня моря по данным наблюдений на постах Северного и Среднего Каспия**

| Пункт            | Явление | I   | II  | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X   | XI  | XII |
|------------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| Каспийский       | Нагон   | 115 | 168 | 178 | 140 | 158 | 96  | 75  | 96   | 115 | 144 | 151 | 180 |
|                  | Сгон    | 113 | 134 | 130 | 122 | 137 | 107 | 79  | 83   | 108 | 120 | 130 | 155 |
| о. Искусственный | Нагон   | 61  | 86  | 77  | 108 | 81  | 135 | 62  | 71   | 92  | 107 | 309 | 102 |
|                  | Сгон    | 45  | 36  | 37  | 48  | 48  | 45  | 34  | 29   | 42  | 47  | 55  | 53  |
| о. Тюлений       | Нагон   | 118 | 139 | 133 | 83  | 90  | 87  | 70  | 80   | 108 | 97  | 238 | 119 |
|                  | Сгон    | 153 | 135 | 118 | 103 | 107 | 97  | 71  | 86   | 126 | 145 | 142 | 122 |
| о. Кулалы        | Нагон   | 60  | 65  | 57  | 62  | 51  | 74  | 48  | 45   | 62  | 60  | 61  | 76  |
|                  | Сгон    | 77  | 64  | 53  | 43  | 51  | 38  | 43  | 48   | 42  | 39  | 57  | 45  |
| о. Пешной        | Нагон   | 72  | 64  | 92  | 153 | 124 | 74  | 94  | 78   | 77  | 105 | 79  | 110 |
|                  | Сгон    | 57  | 57  | 67  | 87  | 80  | 81  | 65  | 87   | 123 | 88  | 83  | 72  |
| Форт-Шевченко    | Нагон   | 53  | 50  | 53  | 49  | 44  | 41  | 47  | 60   | 47  | 53  | 57  | 49  |
|                  | Сгон    | 50  | 46  | 44  | 49  | 49  | 46  | 45  | 48   | 45  | 61  | 58  | 51  |
| Махачкала        | Нагон   | 58  | 49  | 52  | 35  | 47  | 36  | 52  | 42   | 35  | 44  | 54  | 59  |
|                  | Сгон    | 67  | 91  | 50  | 69  | 38  | 54  | 48  | 39   | 62  | 63  | 98  | 73  |

Из табл. 4 видно, что наибольших значений сгонно-нагонные колебания уровня достигают в портах северной мелководной части моря. Экстремальные значения уровня достигают величин 3,1 м при нагонах и 1,5 м – при сгонах. Для Среднего Каспия нагоны не превышают 0,6 м, а сгоны – 0,8–1,0 м.

Короткопериодная изменчивость уровня не имеет суточного хода, так как изменения уровня не имеют суточной периодичности. На самом деле они представляют собой непериодические колебания, периоды, амплитуды и фазы которых испытывают межсуточную изменчивость.

#### **4. Пространственная изменчивость уровня Каспийского моря**

Уровень Каспийского моря, даже при многолетнем осреднении наблюдений, не представляет строго горизонтальную плоскость, а имеет сложный рельеф поверхности. Поэтому объективное суждение об изменении уровня моря в отдельных пунктах можно получить, анализируя данные наблюдений за уровнем моря по большому количеству уровенных постов, равномерно расположенных по периметру моря.

Рельеф уровенной поверхности в различных районах моря формируется под влиянием, главным образом, гидрометеорологических факторов, таких как распределение атмосферного давления над бассейном Каспийского моря, ветра, течений, сгонно-нагонных явлений, речного стока и др., которые создают специфические особенности рельефа поверхности моря. Однако существуют некоторые общие закономерности в распределении уровня моря по площади.

Так, например, на Каспийском море отчетливо прослеживается уклон уровенной поверхности с севера на юг, обусловленный резким уменьшением пресного баланса. Уровень Северного Каспия выше среднего по морю. Наибольшая разность средних месячных значений уровня с севера на юг отмечается в годы с большим стоком Волги в половодье.

Также существует заметный перепад уровня с запада на восток. Особенно он четко проявляется на Среднем и Южном Каспии. Разность средних значений уровня между западным и восточным побережьями моря может достигать 15–20 см.

В подтверждение этому, в табл. 5 представлены данные о средних значениях уровня моря, рассчитанные за период 1954–2003 гг. для станций, расположенных вдоль западной и восточной границ Каспийского моря.

Эта таблица показывает, что средний уровень моря на станциях западного побережья (Баку, о. Жилой, Нефтяные Камни) примерно на 12 см выше среднего уровня на станциях восточного Каспия (Кара-Богаз-Гол, Кули-Маяк и Туркменбаши), т.е. в юго-восточной части моря существует своего рода воронкообразное понижение уровня моря. Максимальный наклон уровня на линии Баку-Туркменбаши составляет 17,4 см.

Таблица 5

**Значения средних уровней моря в западной и восточной частях Каспийского моря,  
рассчитанные за период 1954–2003 гг.**

| Западная часть моря |                     | Восточная часть моря |                     |
|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| Название поста      | Средний уровень, см | Название поста       | Средний уровень, см |
| Махачкала           | 7,5                 | о. Кулалы            | 1,2                 |
| Баку                | 9,9                 | Форт-Шевченко        | 5,6                 |
| о. Жилой            | 4,7                 | Кара-Богаз-Гол       | –5,2                |
| Нефтяные Камни      | 2,7                 | Кули-Маяк            | –3,9                |
|                     |                     | Туркменбаши          | –7,5                |

Величина наклона водной поверхности меняется также по сезонам. В весенние месяцы, когда сток рек максимальный, наклон с севера на юг наибольший. Летом, когда паводок спадает, наклон минимальный. Зимой и осенью разность уровней с севера на юг увеличивается за счет сгонно-нагонных явлений и широтной неравномерности испарения. По линии Форт-Шевченко-Махачкала разность уровней в среднем за весь период наблюдений составляет приблизительно 5 см.

Наибольшие сезонные колебания отмечаются в мелководной части устьевого взморья Волги, где они достигают в среднем 1 м и постепенно уменьшаются к югу до значений, характерных для сезонного хода всего Каспийского моря (30–40 см).

Важную роль в перераспределении вод в Каспийском море играют течения и плотность воды. Речной сток и распределение плотности воды определяют постоянные течения, а ветер – ветровые и градиентные. Течения определяют циркуляцию вод, которая в Северном и Южном Каспии заметно перестраивается в зависимости от сезона года. Так, изменения солености и плотности в верхних слоях моря связаны со стоком рек и испарением, а температура воды и содержание кислорода с суровостью зим. С увеличением объема стока рек, ведущего к повышению уровня моря, увеличиваются стоковые течения, которые приводят к растеканию речных вод по площади моря. С наступлением межени, растекание речной воды по поверхности моря ослабляется.

### Заключение

Уровень Каспийского моря характеризуется изменчивостью на различных временных масштабах: тысячи лет, вековые, межгодовые, сезонные, синоптические. Амплитуда

колебаний уровня за последние десять тысяч лет достигала 25 м; только в течение последних 2000 лет наблюдалось 6 крупных трансгрессий уровня с амплитудой колебаний в пределах 5–10 м.

Вековые колебания могут содержать периоды с относительно устойчивым режимом уровня (например, 1878–1933 и 1941–1977 гг.) и периоды с резкими изменениями уровня (катастрофическое падение в 1934–1941 гг. и экстремальное повышение после 1977 г.). Общее понижение УКМ в XX столетии составило 3,2 м. Снижение уровня моря происходило со средней скоростью 4 см в год, а в 1930–1941 и 1970–1977 гг. – со средней скоростью 16 и 14 см/год соответственно.

На вековую и межгодовую изменчивость уровня Каспийского моря значительное влияние оказывают крупномасштабные колебания атмосферной циркуляции, характеризующиеся индексами циркуляции. Одной из возможных причин понижения УКМ после 1995 г. могло быть уменьшение индексов NAO и EA/WR с начала 1990-х годов, свидетельствующее об изменении характера циркуляции атмосферы в атлантико-европейском регионе.

Наибольшая изменчивость короткопериодных колебаний УКМ связана со сгонно-нагонными явлениями, наиболее выраженными в Северном Каспии. Экстремальные значения повышения уровня могут достигать здесь 3,1 м при нагонах и 1,5 м при сгонах. Для Среднего Каспия нагоны не превышают 0,6 м, а сгоны – 0,8–1,0 м.

Анализ разностей уровней между отдельными пунктами северной и южной частей Каспийского моря позволяет сделать вывод о существовании наклона уровенной поверхности с севера на юг и с запада на восток, который связан с физико-географическим положением моря и с тем, что реки, определяющие основную приходную часть водного баланса, расположены в северной и средней частях моря. Величина наклонов уровенной поверхности непостоянна во времени. Она может меняться от года к году. В холодный период года значительный наклон уровенной поверхности могут определять сгонно-нагонные явления.

#### **Список использованных источников**

1. *Абузаров З.К.* Роль составляющих водного баланса Каспийского моря в месячных и годовых приращениях его уровня // Труды Гидрометцентра России. – 2006. – Вып. 341. – С.3–27.
2. *Голицын Г.С.* и др. Региональные изменения климата и их проявления в современном подъеме уровня Каспийского моря // ДАН СССР. – 1990. – Т. 313. – № 5. – С. 1224–1227.

3. *Зайцева И.С.* Многолетние колебания стока Волги и глобальные изменения климата // Известия РАН. Серия географич. – 1996. – № 5. – С. 45–54.
4. *Ким И.С., Никулина С.П.* Изменение уровня Каспийского моря и циркуляция атмосферы // Метеорология и гидрология. – 1994. – № 7.-С.
5. *Косарев А.Н., Никонова Р.Е.* Современные колебания уровня Каспийского моря: причины, последствия, тенденции // Вестник Каспия. – 2006. – № 4(60). – С.40–59.
6. *Нестеров Е.С.* Низкочастотная изменчивость циркуляции атмосферы и уровень Каспийского моря во второй половине XX века // Метеорология и гидрология. – № 11. – 2001. – С. 27–36.
7. *Нестеров Е.С.* Особенности циркуляции атмосферы в Северной Атлантике в последние десятилетия / В сб.: Современные проблемы динамики океана и атмосферы. Сборник статей, посвященный 100-летию со дня рождения проф. П.С.Линейкина. – М.: Триада, 2010. – С.269–280.
8. *Никонова Р.Е.* Уровень моря. Водный баланс / В кн.: Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 6. Каспийское море. – Вып. 1. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – С. 188–199, 211–221.
9. *Никонова Р.Е., Бортник В.Н.* Характеристика межгодовой и сезонной изменчивости составляющих водного баланса и уровня Каспийского моря за период его современного повышения // Водные ресурсы. – 1994. – Вып. 4. – С. 410–414.
10. *Родионов С.Н.* Многолетняя изменчивость сезонного хода уровня Каспийского моря // Водные ресурсы. – 1986. – № 4. – С. 87–91.
11. *Скриптунов Н.А.* Сезонная изменчивость уровня Каспийского моря // Труды ГОИНа. – 1970. – Вып. 88. – С. 95–106.
12. *Скриптунов Н.А.* К расчету максимальных стонно-нагонных колебаний уровня Каспийского моря // Труды ГОИНа. – Вып. 80. – С. 46–61.
13. *Смирнова К.И.* Изменчивость элементов водного баланса Каспийского моря // Труды Гидрометцентра СССР. – 1968. – Вып. 34. – С. 26–33.
14. *Hilmer M., Jung T.* Evidence for a recent change in the link between the North Atlantic oscillation and Arctic sea ice export // Geophys. Res. Lett. – 2000. – Vol. 27. – P. 989–992.
15. *Polyakova E.I., Journel A.G.et al.* Changing relationship between the North Atlantic Oscillation and key North Atlantic climate parameters // Geophys. Res. Lett. – 2006. – Vol. 33. – L03711. – doi:10.1029/2005GL024573.

Поступила в редакцию 15.04.2011