

**Гаврилюк Р.В., к.г.н., Одесский Государственный Экологический
Университет**
Корнилов С.В., асп., Одесская Национальная Морская Академия

Изменчивость уровня в северо-западной части Черного моря

ВВЕДЕНИЕ

К числу наиболее важных характеристик состояния прибрежной зоны моря относится изменение уровня. Экстремальные повышения уровня опасны наводнениями, как для жизни людей, так и для инфраструктуры прибрежной зоны, а снижения уровня приводят к обмелению акваторий и создают угрозу посадки судов на мель в акваториях портов. Колебания уровня моря и вертикальные тектонические движения побережий оказывают значительное влияние на интенсивность рельефообразующих процессов в береговой зоне – условия питания берегов наносами, общий бюджет осадочного материала и эволюции контура береговой линии. Все это сказывается на морехозяйственной деятельности.

Исследованиям повышения уровня Мирового океана в условиях глобального потепления климата в последние годы уделяется большое внимание ученых. Рост уровня наблюдается и в Черном море. Наиболее полные сведения по этой проблеме приведены в монографии [2], где содержатся количественные характеристики изменчивости всего Черного моря для различных пространственно-временных масштабов. Согласно прогнозным оценкам, наибольшее воздействие повышения уровня Черного моря будет оказывать на плотно заселенные берега в районе Одессы.

В статье приведены результаты статистического анализа изменчивости уровня моря в северо-западной части по материалам наблюдений на станциях Одесса, Ильичевск, Южный и Цареградское гирло. Рассматриваются многолетняя, сезонная и синоптическая изменчивость, выявлены тенденции многолетних изменений характеристик уровня.

МАТЕРИАЛЫ НАБЛЮДЕНИЙ.

Для решения поставленной задачи использовались материалы наблюдений над уровнем моря на станциях Одесса (1947-2012гг.), Ильичевск (1986-2013гг.) , Южный (1986-2011гг.), Цареградское гирло(1975-2010гг.).

До 1990 года данные наблюдений опубликованы в [1], а за последние годы ряды дополнялись наблюдениями из таблиц ТГМ, любезно предоставленных Гидрометцентром Черного и Азовского морей. Для анализа многолетней и сезонной изменчивости использовались среднемесячные значения уровня, а изменчивости стонно-нагонных колебаний – экстремальные (максимальные и минимальные) срочные значения уровня моря.

Наиболее продолжительный ряд наблюдений имеется для станции Одесса – длина ряда составляет 66 лет. Ряд был разбит на два периода – 1947-79гг. и

1980-2012гг. продолжительностью 33 года каждый. По рекомендациям Всемирной Метеорологической Организации для оценки климатических изменений гидрометеорологических характеристик ряд наблюдений должен иметь продолжительность не менее 30 лет. Таким образом, по данным наблюдений на станции Одесса выполнялся анализ климатических изменений в многолетних, сезонных и сгонно-нагонных колебаниях уровня моря. На других станциях продолжительность рядов наблюдений составляет – для станции Цареградское гирло – 36 лет, для станции Ильичевск – 28 лет, для станции Южный – 26 лет, и является достаточной для оценки изменчивости уровня моря разного временного масштаба.

Для получения количественных характеристик изменчивости использовались традиционные в гидрометеорологии математические методы обработки информации – статистический, корреляционный, регрессионный анализ.

Многолетние колебания уровня в северо-западной части Черного моря

По данным наблюдений за среднемесячными значениями уровня на разных станциях выполнены расчеты среднего многолетнего значения уровня моря за все месяцы года и за год. В таблице 1 приведены статистические характеристики уровня моря – средние месячные значения, средние годовые значения, экстремальные средние месячные значения и их даты. Для станции Одесса статистические характеристики приводятся за два периода. Для сравнения в таблице 2 приведены среднемесячные и средние за год значения уровня всего Черного моря за два климатических периода из работы [2].

Таблица 1 – Статистические характеристики межгодовой изменчивости уровня в северо-западной части Черного моря.

| Станция, период | Месяц | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| | Хар-ка | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | За год |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Одесса, 1980- 2012гг. | Средний | 488 | 489 | 490 | 493 | 497 | 495 | 490 | 487 | 482 | 482 | 483 | 486 | 489 |
| | Миним., год | 475 | 469 | 472 | 474 | 482 | 482 | 472 | 471 | 465 | 462 | 464 | 461 | 479 |
| | | 2007 | 1985 | 2012 | 2008 | 2007 | 2003 | 2008 | 2007 | 2007 | 1986 | 1986 | 1982 | 2007 |
| | Максим., год | 507 | 511 | 509 | 506 | 517 | 506 | 507 | 502 | 495 | 493 | 500 | 503 | 502 |
| | | 1996 | 2011 | 2010 | 2010 | 1989 | 2010 | 2010 | 2010 | 2002 | 2009 | 2002 | 1981 | 2010 |
| | Размах, см | 32 | 42 | 37 | 32 | 35 | 24 | 35 | 31 | 30 | 31 | 30 | 42 | 23 |
| | СКО | 8,6 | 9,5 | 8,1 | 6,9 | 6,9 | 5,5 | 6,9 | 7,1 | 7,8 | 7,4 | 8,1 | 9,2 | 7,7 |
| Одесса, 1947- 1979гг. | Средний | 479 | 482 | 484 | 487 | 491 | 490 | 485 | 479 | 475 | 470 | 472 | 477 | 481 |
| | Миним., год | 451 | 446 | 459 | 463 | 469 | 470 | 466 | 462 | 458 | 456 | 450 | 450 | 463 |
| | | 1949 | 1949 | 1949 | 1949 | 1949 | 1949 | 1950 | 1950 | 1950 | 1953 | 1953 | 1953 | 1949 |
| | Макс., год | 497 | 505 | 510 | 512 | 512 | 511 | 502 | 496 | 490 | 487 | 491 | 496 | 496 |
| | | 1961 | 1970 | 1970 | 1970 | 1970 | 1970 | 1970 | 1955 | 1955 | 1960 | 1960 | 1960 | 1970 |
| | Размах, см | 46 | 59 | 51 | 49 | 43 | 41 | 36 | 34 | 32 | 31 | 41 | 46 | 33 |
| | СКО | 12,5 | 13,1 | 11,4 | 11,7 | 10,8 | 10,0 | 7,8 | 8,1 | 7,1 | 8,3 | 8,4 | 9,7 | 9,9 |
| Южный, 1986- 2011гг. | Средний | 485 | 486 | 488 | 492 | 495 | 494 | 490 | 486 | 481 | 481 | 483 | 484 | 487 |
| | Миним., год | 463 | 470 | 470 | 475 | 477 | 482 | 474 | 467 | 458 | 451 | 453 | 451 | 469 |
| | | 1987 | 1992 | 1987 | 1991 | 1986 | 1986 | 1986 | 1986 | 1986 | 1986 | 1986 | 1986 | 1986 |
| | Макс., год | 506 | 514 | 513 | 511 | 511 | 512 | 512 | 507 | 496 | 494 | 503 | 504 | 506 |
| | | 2011 | 2010 | 2010 | 2010 | 2010 | 2010 | 2010 | 2010 | 1999 | 2005 | 2010 | 2010 | 2010 |
| | Размах, см | 43 | 44 | 43 | 36 | 34 | 30 | 38 | 40 | 38 | 43 | 50 | 53 | 37 |
| | СКО | 9,8 | 9,7 | 10,5 | 10,0 | 8,8 | 7,9 | 8,6 | 8,9 | 9,2 | 8,8 | 10,5 | 10,5 | 9,4 |

| | | | | | | | | | | | Продолжение таблицы 1 | | | | |
|-----------------------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------|------|------|------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | |
| Льичевск, 1986- 2013гг. | Средний | 487 | 488 | 489 | 493 | 496 | 496 | 492 | 487 | 482 | 482 | 484 | 486 | 489 | |
| | Миним, год | 463 | 463 | 466 | 473 | 472 | 477 | 472 | 470 | 467 | 464 | 465 | 461 | 471 | |
| | | 1992 | 1992 | 1992 | 1994 | 1992 | 1992 | 1993 | 1993 | 1992 | 1986 | 1986 | 1993 | 1993 | |
| | Макс.,год | 510 | 517 | 516 | 516 | 514 | 512 | 513 | 507 | 499 | 495 | 500 | 505 | 507 | |
| | | 2010 | 2010 | 2010 | 2013 | 2013 | 2013 | 2010 | 2010 | 1999 | 2005 | 2002 | 2010 | 2010 | |
| | Размах, см | 47 | 54 | 50 | 43 | 42 | 35 | 41 | 37 | 32 | 31 | 35 | 44 | 36 | |
| | СКО | 10,3 | 12,4 | 12,5 | 11,1 | 9,3 | 8,9 | 9,2 | 8,4 | 8,8 | 7,9 | 9,9 | 10,8 | 8,4 | |
| Цар. гирло 1975- 2010гг. | Средний | 492 | 495 | 496 | 504 | 503 | 500 | 496 | 491 | 486 | 485 | 486 | 489 | 494 | |
| | Миним., год | 470 | 474 | 478 | 486 | 483 | 477 | 472 | 467 | 470 | 462 | 462 | 466 | 479 | |
| | | 1976 | 1985 | 1976 | 1993 | 1976 | 1976 | 1976 | 1976 | 1985 | 1983 | 1983 | 1983 | 1976 | |
| | Макс., год | 519 | 528 | 524 | 519 | 519 | 522 | 525 | 515 | 505 | 500 | 506 | 509 | 516 | |
| | | 2010 | 2010 | 2010 | 2010 | 2010 | 2010 | 2010 | 2010 | 1999 | 2002 | 2002 | 1981 | 2010 | |
| | Размах, см | 49 | 54 | 46 | 33 | 36 | 45 | 53 | 48 | 35 | 36 | 44 | 43 | 37 | |
| | СКО | 10,5 | 11,0 | 10,3 | 9,1 | 8,4 | 8,8 | 10,3 | 9,3 | 8,7 | 9,8 | 11,2 | 11,5 | 9,9 | |

Примечание: СКО – средние квадратические отклонения.

Таблица 2 – Уровень Черного моря за разные климатические периоды, [2]

| Месяц | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | За год |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|--------|
| Период 1946- 1975гг. | 473 | 474 | 476 | 478 | 480 | 483 | 481 | 476 | 469 | 464 | 464 | 468 | 474 |
| 1976- 2005гг. | 479 | 479 | 479 | 482 | 487 | 487 | 484 | 480 | 476 | 473 | 473 | 477 | 480 |

Согласно с исследованиями [2], средний многолетний уровень Черного моря за период 1976-2005 гг. равен 480 см. На всех станциях северо-западной части Черного моря уровень моря выше среднего уровня всего моря. Наибольшие положительные отклонения наблюдаются на станции Цареградское гирло – 14 см, на остальных станциях отклонения достигают 7-9 см.

Превышение уровня моря на станциях северо-западной части по сравнению со всем морем обусловлено природными факторами – речным стоком, стерическими эффектами, характером сгонно-нагонных колебаний.

Средние многолетние значения уровня моря на станциях Одесса, Ильичевск и Южный приблизительно совпадают, а на станции Цареградское гирло уровень моря на 15 см выше, что можно пояснить стоком реки Днестр.

Межгодовая изменчивость среднего годового уровня характеризуется величиной размаха колебаний. На станциях Южный, Ильичевск и Цареградское гирло размах межгодовых колебаний составляет 36-37 см, а на станции Одесса – только 23 см.

Минимальные абсолютные годовые значения уровня на разных станциях наблюдаются в разные годы, а максимальные абсолютные годовые значения уровня на всех станциях приходятся на 2010год, что подтверждает вывод работы [3], о том, что уровень Черного моря в этом году достиг своего абсолютного максимума за всю 150-летнюю историю наблюдений. Если сравнивать размахи межгодовых колебаний уровня на станции Одесса за разные климатические периоды, то можно отметить, что за последние 33 года размах колебаний среднего годового уровня снизился с 33 см до 23 см, то есть на 30 %.

Взаимосвязи межгодовых колебаний среднего годового уровня моря на разных станциях приведены в табл.3. Как следует из таблицы, межгодовые колебания уровня моря на станциях Южный, Ильичевск и Цареградское гирло практически синфазны. Коэффициенты корреляции близки к 0,9, а при осреднении скользящим средним по пяти годам возрастают до 1.

Изменения среднего годового уровня моря и линейные тренды на станциях Южный, Ильичевск и Цареградское гирло показаны на рис. 1, 2, 3.

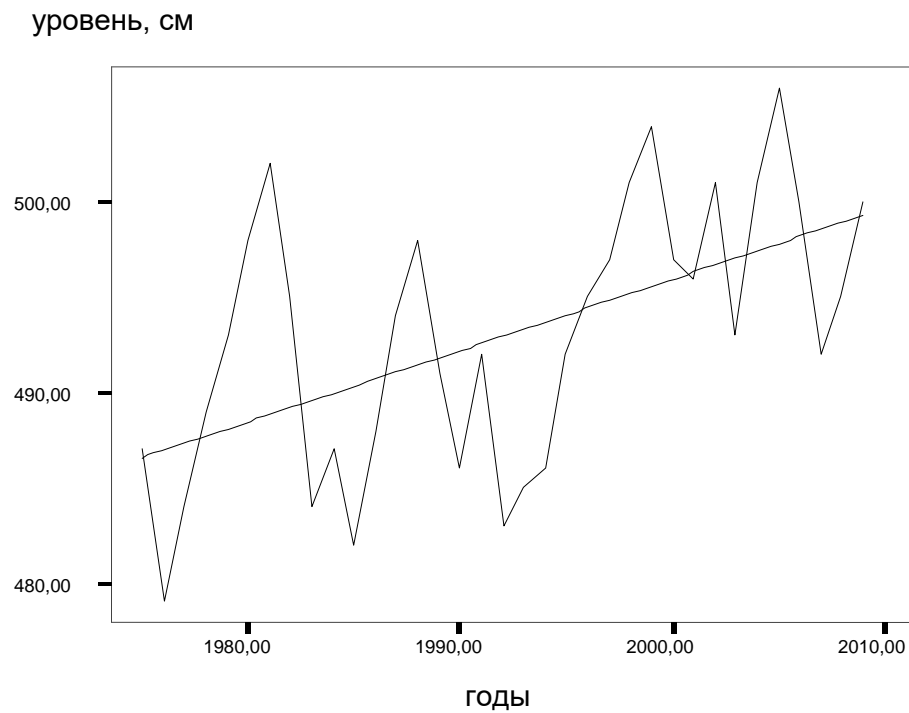


Рис. 1 Изменения среднего годового уровня моря на ст.Цареградское гирло за 1975-2010 гг. и линейный тренд.

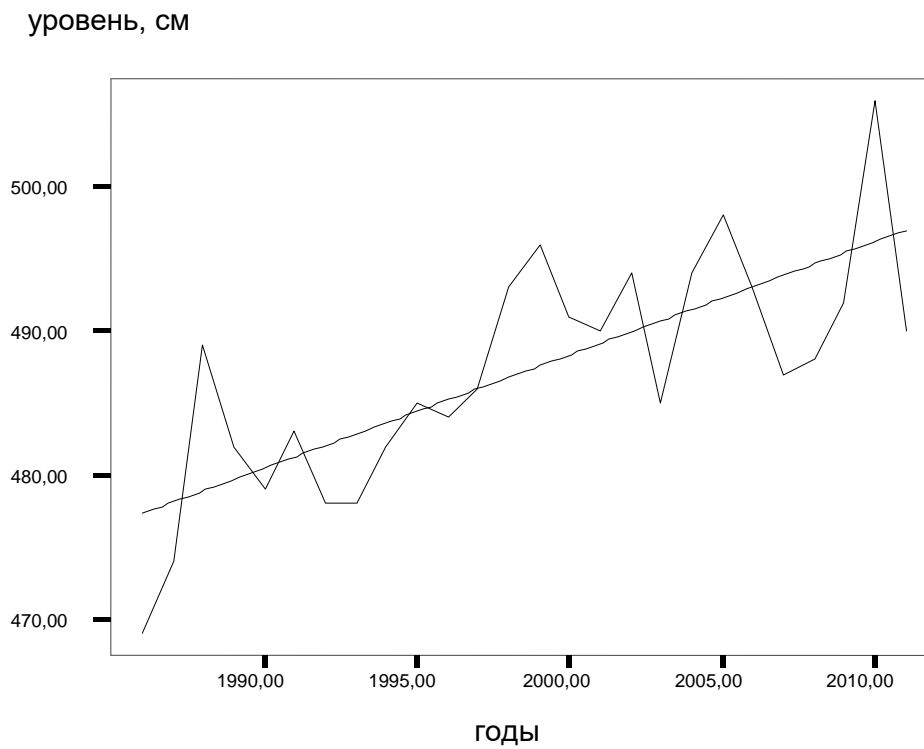


Рис. 2 Изменения среднего годового уровня моря на ст. Южный за 1986-2011 гг. и линейный тренд.

уровень, см

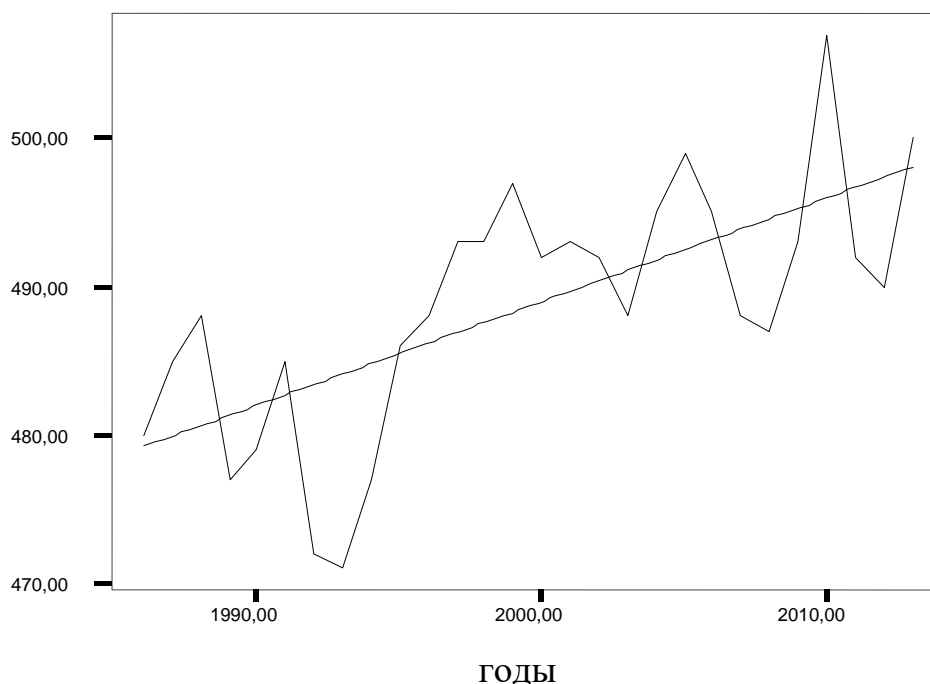


Рис.3 Изменения среднего годового уровня на ст. Ильичевск за 1986-2013 гг. и линейный тренд.

Таблица 3 – Коэффициенты корреляции между парами станций для средних годовых значений уровня моря (ниже диагонали), и при осреднении скользящим средним по 5-ти годам (выше диагонали).

| Станция \ Станция | Одесса | Ильичевск | Южный | Цареградское гирло |
|-----------------------|--------|-----------|---------|-----------------------|
| Одесса | 1 | -0,566* | -0,606* | -0,555* |
| Ильичевск | 0,178 | 1 | 0,966* | 0,993* |
| Южный | 0,342 | 0,864* | 1 | 0,993* |
| Цареградское гирло | 0,381 | 0,948* | 0,889* | 1 |

Примечание : * - корреляция значима на уровне 0,01

Межгодовые колебания средних годовых значений уровня моря на станции Одесса статистически слабо связаны с межгодовыми колебаниями на других станциях, При осреднении по пяти годам выявляются статистически значимые коэффициенты корреляции, свидетельствующие о противоположном характере колебаний.

В работе [4] приводятся результаты анализа декадной изменчивости среднего годового уровня на станциях западной части моря. Показано, что

на фоне общего повышения уровня в десятилетних трендах наблюдаются периоды попеременного повышения или снижения уровня. В частности, за период 1980-2000 гг. на станции Одесса в десятилетних колебаниях среднего годового уровня наблюдается отрицательный тренд. Исключительность станции Одесса возможно связана с вертикальными движениями суши. Изменения среднего годового уровня моря на станции Одесса за два периода показаны на рис.4 и 5.

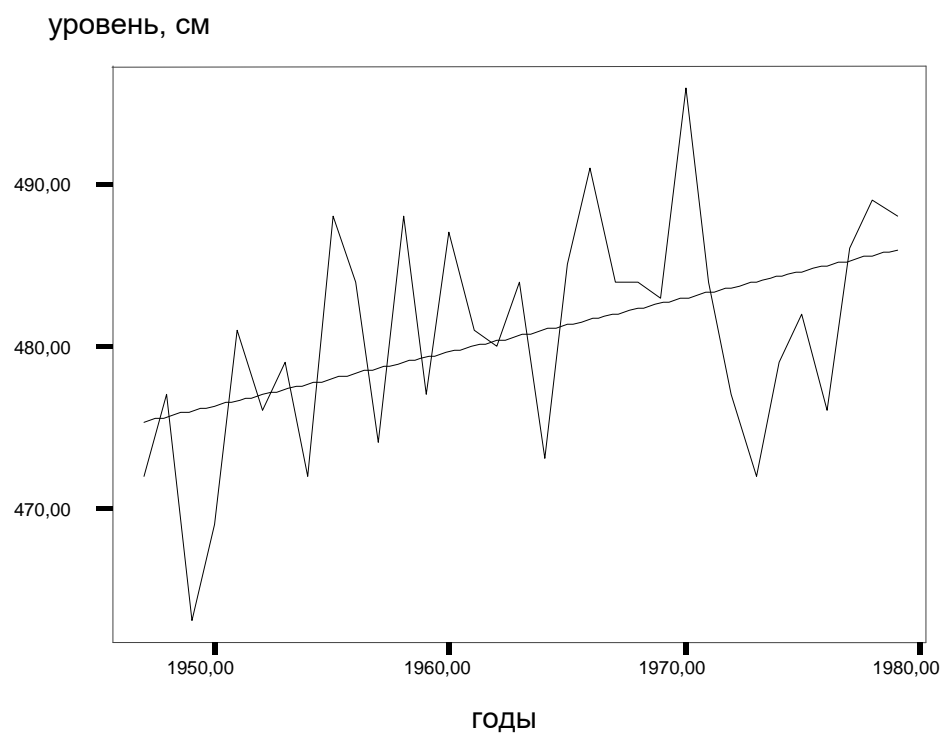


Рис. 4 Изменения среднего годового уровня моря на ст. Одесса за 1947-1979 гг. и линейный тренд.

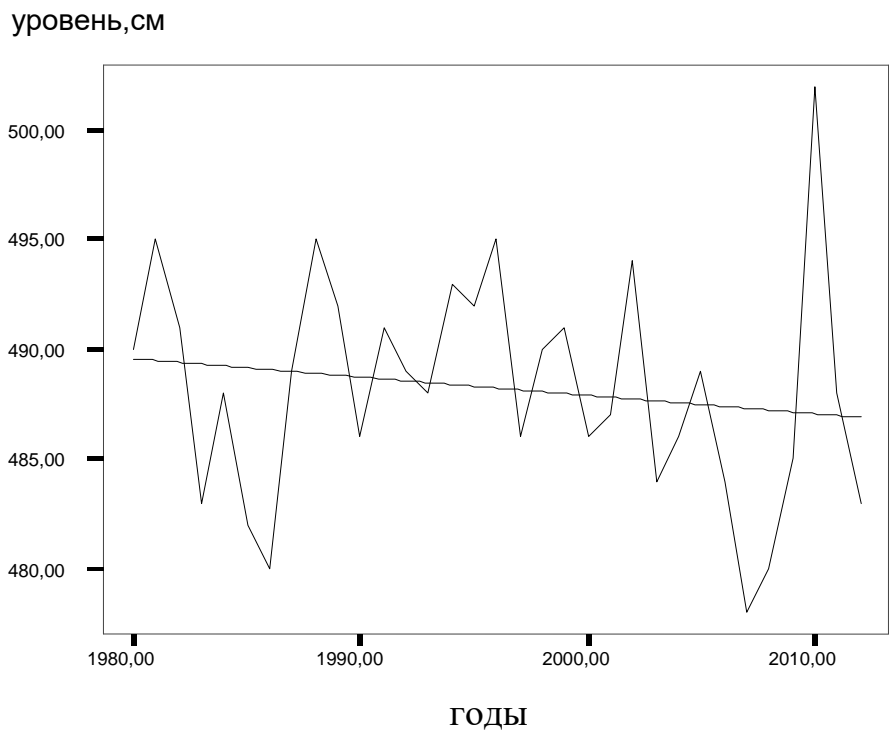


Рис. 5 Изменения среднего годового уровня моря на ст. Одесса за 1980-2012 гг. и линейный тренд.

Результаты анализа линейных трендов средних годовых значений уровня моря на разных станциях приведены в табл.4 – угловые коэффициенты тренда, коэффициенты детерминации, величины общего изменения уровня, а также вклад тренда в общую дисперсию ряда.

Таблица 4 – Характеристики линейных трендов в колебаниях средних годовых значений уровня моря в северо-западной части Черного моря.

| Станция, период | Одесса 1947-1979 гг. | Одесса 1980-2012 гг. | Одесса 1947-2012 гг. | Южный 1986-2011 гг. | Ильичевск 1986-2013 гг. | Цар.Гирло 1986-2010 гг. |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| Хар-ка | | | | | | |
| a (см · год ⁻¹) | 0,30 | -0,08 | 0,21 | 0,79 | 0,70 | 0,64 |
| R^2 | 0,20 | 0,02 | 0,30* | 0,56* | 0,47* | 0,39* |
| Δ (см) | 10,9 | -2,6 | 13,9 | 20,5 | 19,6 | 16,0 |
| B (%) | 11,1 | 10,0 | 26,7 | 23,2 | 27,8 | 28,6 |

Примечание: a – угловой коэффициент тренда ($\text{см} \cdot \text{год}^{-1}$), R^2 – коэффициент детерминации, Δ - изменение уровня, см, V - вклад тренда в общую дисперсию ряда (%), * - значимые тренды на уровне 0,01.

Как видно из таблицы, наиболее существенное повышение уровня моря наблюдается на станциях Цареградское гирло, Ильичевск и Южный - скорость роста уровня составила от $6 \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$ до $8 \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$, а размах тренда от 16 до 21 см. Вклады линейных трендов в общую дисперсию рядов достигают 23%-28%, что подтверждает значимость тренда. На станции Одесса наиболее существенное повышение уровня моря наблюдалось за период 1947-79гг., скорость роста уровня достигала $3,3 \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$ при размахе тренда 11 см, а за период 1980-2012гг. уровень моря в Одессе испытывал волновые колебания со слабым отрицательным трендом. За весь исследуемый период (1947-2012гг.) величина роста уровня в Одессе составила $2,2 \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$ с размахом тренда 14 см, что совпадает с аналогичными оценками по всему Черному морю [2]. Отличие тенденций изменений уровня моря на станции Одесса от других станций объясняется, на наш взгляд, вертикальными движениями суши.

2 Сезонные колебания уровня в северо-западной части Черного моря

Сезонная изменчивость уровня Черного моря обусловлена сезонными изменениями составляющих водного баланса и стерическими эффектами. Из анализа среднемесячных значений уровня моря на разных станциях (табл.1) можно получить характеристики сезонных колебаний - размах колебаний и месяцы достижения экстремальных в сезонном ходе значений уровня. Результаты расчетов для станций северо-западной части моря приведены в таблице 5, там же для сравнения приводятся аналогичные характеристики для всего Черного моря из [2].

Таблица 5 – Характеристики сезонных колебаний уровня и месяцы экстремумов на станциях северо-западной части и всего моря.

| Станция, период | Одесса 1980-2012 гг. | Одесса 1947-1979 гг. | Южный 1986-2011 гг. | Ильичевск 1986-2013 гг. | Цар.Гирло 1975-2010 гг. | Черное море[2] | |
|-----------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|--------------|
| | | | | | | 1976-2005гг. | 1946-1975гг. |
| Хар-ка | | | | | | | |
| Размах, (см) | 15 | 21 | 14 | 14 | 19 | 15 | 20 |
| Месяц максимума | V | V | V | V,VI | IV | V, VI | VI |
| Месяц | IX, | X | IX, X | IX, X | X | X, XI | X, XI |

минимума X

Размах сезонных колебаний уровня моря на станциях Одесса, Ильичевск и Южный по средним многолетним данным составляет 14-15 см. Максимум в годовом ходе наблюдается в мае-июне, минимум – в сентябре-октябре. На станции Цареградское гирло размах сезонных колебаний выше, чем на других станциях приблизительно на 25% и составляет 19 см, что обусловлено влиянием стока реки Днестр.

При сравнении двух климатических периодов на станции Одесса можно отметить, что за период 1980-2012гг. размах сезонных колебаний снизился с 21 см до 15 см (на 25%), что совпадает с аналогичными оценками по всему Черному морю [2]. Изменились также месяцы достижения минимальных в сезонном ходе значений уровня – за период 1980-2012гг. минимальный среднемесячный уровень моря наблюдается в сентябре и октябре, а за период 1947-79гг – только в октябре.

Если анализировать, в какие месяцы года изменения среднемесячных значений уровня за два периода наиболее существенны, можно видеть, что в октябре и ноябре за период 1980-2012гг. уровень моря повысился на 11-12 см, а в мае – только на 5-6 см по сравнению с периодом 1947-79г. Таким образом, уменьшение размаха сезонных колебаний произошло за счет повышения минимального в сезонном ходе уровня моря.

Причиной таких изменений в сезонных колебаниях уровня по оценкам [3] являются климатические изменения составляющих водного баланса Черного моря. Наибольший вклад атмосферных осадков в изменения уровня моря приходится на период с ноября по февраль. В многолетних колебаниях вклада атмосферных осадков над Черным морем за последние 30 лет наблюдается положительный тренд, то есть количество осадков в зимний период увеличилось.

Другой причиной изменений сезонных колебаний уровня являются изменения характера стока рек. Повышение уровня моря осенью обусловлено увеличением стока рек в Черное море в полугодие, когда наблюдаются его минимальные значения (сентябрь - февраль), и уменьшение стока рек в полугодие максимального стока (март - июль). Минимальные значения стока рек наблюдаются в сентябре, что и является причиной минимального уровня моря в сентябре и октябре.

Составляющие водного баланса моря в каждом конкретном году существенно отличаются от средних многолетних значений, что обуславливает разнообразный характер кривых сезонного хода уровня моря. Подтверждением этого могут быть повторяемости (в %) в разные месяцы экстремальных в сезонных колебаниях значений уровня на станциях северо-западной части моря (табл.6).

Таблица 6 – Повторяемость (в %) экстремальных средних месячных значений уровня моря на станциях северо-западной части моря.

| Станции, период | Хар-ка | Месяцы | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------|--------|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|
| | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| Одесса, 1980- 2012гг. | Максимальный | 3 | 12 | 3 | 6 | 39 | 22 | 6 | 6 | - | - | - | 3 |
| | Минимальный | 12 | 9 | 6 | - | - | - | - | 6 | 25 | 12 | 24 | 6 |
| Одесса, 1947- 1979гг. | Максимальный | 2 | 5 | - | 14 | 36 | 19 | 5 | 5 | 2 | - | - | 12 |
| | Минимальный | 10 | 3 | 3 | 3 | - | - | - | 3 | 11 | 35 | 19 | 13 |
| Южный, 1986- 2011гг. | Максимальный | 8 | 4 | 11 | 8 | 42 | 11 | - | - | - | - | 4 | 12 |
| | Минимальный | 15 | 4 | 4 | - | - | - | - | 8 | 31 | 8 | 23 | 7 |
| Ильичевск, 1986- 2013гг. | Максимальный | 4 | 7 | - | 18 | 28 | 18 | 4 | 4 | - | - | 10 | 7 |
| | Минимальный | 7 | 4 | 7 | - | - | - | 4 | - | 32 | 10 | 18 | 18 |
| Цар.гирло 1975- 2010гг. | Максимальный | 5 | 7 | 2 | 16 | 39 | 16 | - | 2 | - | 2 | 2 | 9 |
| | Минимальный | 7 | 3 | 3 | - | - | - | - | 10 | 25 | 17 | 25 | 10 |

Максимальные в сезонном ходе значения уровня моря на всех станциях чаще всего наблюдаются в мае и никогда не наблюдаются в сентябре. Интенсивные осадки в осенние и зимние месяцы могут быть причиной максимума в сезонном ходе уровня в эти месяцы. В некоторые годы зимний максимум уровня может быть одинаковым с весенним максимумом или даже превышать его.

Минимальные в сезонных колебаниях средние месячные значения уровня наблюдаются в разные месяцы года, за исключением периода с апреля по июль. Чаще всего минимальный в сезонном ходе уровень моря на станциях Одесса и Цареградское гирло наблюдается в сентябре и ноябре, а на станциях Южный и Ильичевск – в сентябре.

Сравнение двух климатических периодов (1947-1979гг. и 1980-2012гг.) для станции Одесса показывает, что суммарная повторяемость максимального в сезонном ходе уровня моря за период с апреля по июль практически не изменилась и составляет 67%-69%. Повторяемость минимального уровня в сентябре за период 1980-2012гг. увеличилась более, чем в 2 раза – с 11% до 25%, а в октябре – наоборот, уменьшилась почти в 3 раза - с 35% до 12%. Таким образом, минимальный в сезонном ходе уровень моря на станции Одесса достигается на месяц раньше по сравнению с предыдущим периодом.

Такие изменения в фазах экстремальных значений уровня на станциях северо-западной части согласуются с аналогичными изменениями для всего Черного моря.

Для анализа взаимосвязи сезонных колебаний уровня рассчитывались коэффициенты корреляции между парами станций (табл.7).

Таблица 7 – Коэффициенты парной корреляции между размахом сезонных колебаний уровня моря на разных станциях за период 1986-2012гг.

| Станция \ Станция | Одесса | Ильичевск | Южный | Цар. гирло |
|-------------------|--------|-----------|-------|------------|
| Одесса | 1 | - | - | - |
| Ильичевск | 0.414 | 1 | - | - |
| Южный | 0.602 | 0.728 | 1 | - |
| Цар. Гирло | 0.727 | 0.634 | 0.807 | 1 |

Все коэффициенты корреляции являются значимыми на уровне 0,01-0,05, что подтверждает общность характера сезонных колебаний уровня на станциях северо-западной части Черного моря.

3 Сгонно-нагонные колебания уровня в северо-западной части Черного моря.

Основными факторами, которые определяют режим колебаний уровня моря в синоптическом диапазоне частот, являются ветер и атмосферное давление. При этом ветру принадлежит определяющая роль, а колебания уровня проявляются в виде сгонно-нагонных колебаний. Их развитие определяется соотношениями силы и направления действующего ветра и конфигурацией береговой линии. По этой причине размах сгонно-нагонных колебаний уровня на разных станциях, даже близко расположенных друг от друга, может существенно отличаться.

Определение показателей штормовой активности и связанных с нею сгонно-нагонных колебаний уровня моря привлекает внимание многих

исследователей в связи с изменениями климата. Для северо-западной части Черного моря такие исследования не проводились. В то же время в этой части моря расположены крупнейшие морские порты, эффективная работа которых зависит, в том числе, и от воздействия сгонно-нагонных колебаний уровня моря.

Для оценки изменчивости сгонно-нагонных колебаний использовались данные об экстремальных (максимальных и минимальных за месяц) срочных значениях уровня на разных станциях за многолетний период наблюдений.

Следует сказать, что экстремальные срочные за месяц величины значений уровня не являются величинами, зафиксированными в ходе конкретного сгона или нагона, так как в течение месяца может наблюдаться несколько таких явлений. Однако при их анализе по многолетним рядам наблюдений можно получить количественные оценки общего предела изменчивости уровня в результате сгонов-нагонов. Такие сведения важны с точки зрения безопасности мореплавания, для оценки возможности затопления и для проектирования и эксплуатации сооружений в прибрежной зоне моря.

Для определения того, как влияют экстремальные характеристики уровня на формирование средних величин, был выполнен корреляционный анализ между внутри месячными срочными экстремумами и среднемесячными величинами. Анализ расчетов показал, что на всех станциях коэффициенты корреляции достаточно высокие (0,6-0,8). При этом средний уровень моря лучше коррелирует с максимальными значениями уровня, чем с минимальными, что может свидетельствовать о преобладании нагонных колебаний над сгонными.

Для более детального анализа интенсивности сгонно-нагонных колебаний и ее изменчивости на разных временных интервалах рассчитывалась повторяемость отклонений экстремальных уровней от среднего месячного значения. Расчеты выполнялись для градаций отклонений в 10см (0-10, 11-20, 21-30...), а затем суммировались по более крупным: отклонения менее 30 см – незначительные колебания, отклонения более 30 см – значительные колебания, отклонения более 50 см – колебания уровня, близкие к критическим отметкам. Результаты расчетов приведены в таблицах 8 и 9.

Таблица 8 – Повторяемость (в %) нагонных колебаний уровня разной интенсивности для станций северо-западной части моря

| Станция \ Градация, см | Одесса | | Ильичевск, 1986-2013гг. | Южный, 1986-2012гг. | Цар.гирло 1975-2010гг. |
|------------------------|--------------|--------------|-------------------------|---------------------|------------------------|
| | 1947-1979гг. | 1980-2012гг. | | | |
| < 30 | 64,90 | 65,90 | 72,0 | 76,28 | 81,63 |
| ≥30 | 35,10 | 34,10 | 28,0 | 23,72 | 18,37 |

≥50 5,30 5,05 2,10 0,96 1,86

Таблица 9 – Повторяемость (в %) сгонных колебаний уровня разной интенсивности для станций северо-западной части Черного моря.

| Станция Градация, см | Одесса | | Ильичевск, | Южный, | Цар.гирло |
|----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 1947- 1979гг. | 1980- 2012гг. | 1986- 2013гг. | 1986- 2012гг. | 1975- 2010гг. |
| < 30 | 48,99 | 54,55 | 64,70 | 65,37 | 79,07 |
| ≥ 30 | 51,01 | 45,45 | 35,30 | 34,36 | 20,93 |
| ≥ 50 | 13,64 | 8,08 | 5,50 | 6,73 | 1,39 |

Как видно из таблиц, сгонно-нагонные колебания уровня, которые не превышают 30 см относительно среднего месячного значения, имеют повторяемость от 50% до 80%. При этом повторяемость нагонов выше повторяемости сгонов этой интенсивности. Преобладание повторяемости нагонов над сгонами достигает 8%-10%, за исключением станции Цареградское гирло, где оно составляет только 1,5%. Сравнение двух климатических периодов для станции Одесса показывает, что повторяемость незначительных (отклонения менее 30см) нагонов практически не изменилась, а повторяемость таких же сгонов за период 1980-2012гг. увеличилась с 48.99% до 54.55%.

Анализ значительных сгонно-нагонных колебаний уровня (отклонения более 30 см) показывает, что повторяемость сгонов на всех станциях выше повторяемости нагонов – превышение составляет 7%-10% за исключением станции Цареградское гирло, где оно достигает только 1,5%. Повторяемость значительных нагонов за два климатических периода на станции Одесса практически не изменилась, а повторяемость аналогичных сгонов снизилась - с 51,01% до 45,45%. Снижение повторяемости значительных сгонов за последние годы хорошо согласуется с снижением средней скорости ветра над Черным морем [5]. Изменения средней годовой скорости ветра на станции Одесса за период 1975-2011гг. и линейный тренд показаны на рис. 6.

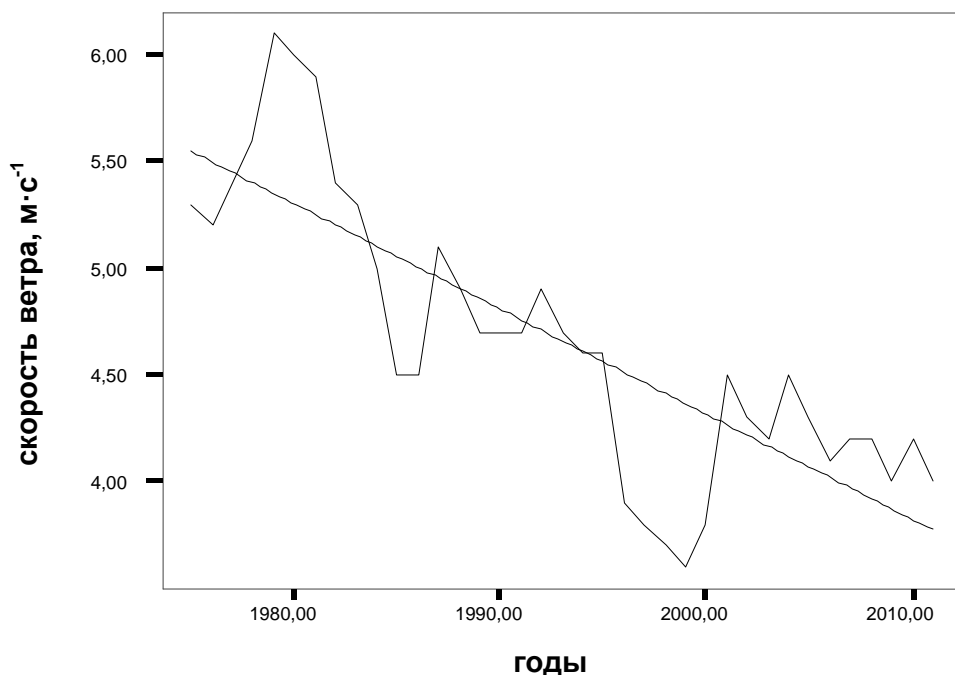


Рис. 6 Изменения скорости ветра на ст. Одесса за 1975-2011 гг. и линейный тренд.

Для очень значительных сгонно-нагонных (отклонения выше 50 см) колебаний уровня повторяемость сгонов также выше повторяемости нагонов, кроме станции Цареградское гирло, где эти величины приблизительно одинаковы. Превышение повторяемости сгонов над нагонами наибольшее для станции Южный - 6.73% и 0.96% соответственно. Для станции Одесса за последний климатический период повторяемость очень значительных сгонов уменьшилась с 13.64% до 8.08%, но все же остается наибольшей величиной для всех станций северо-западной части Черного моря, что подтверждает сведения из литературных источников о наиболее интенсивных сгонах на станции Одесса

Для морской хозяйственной деятельности в прибрежной части моря необходимо также знать повторяемости опасных подъемов или спадов уровня, то есть таких, которые выше или ниже критических отметок. Именно такие колебания создают аварийные ситуации на флоте, вызывают обмеление или затопление акваторий, хозяйственных объектов и населенных пунктов. Для каждой станции такие отметки уровня известны, они периодически уточняются и согласовываются с капитанами портов.

Таблица 10 - Повторяемость (%) по месяцам и суммарно за год опасных колебаний уровня моря на станциях северо-западной части моря

| Станция, период | Мес. Хар-ка | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Сумма за год |
|-------------------------------|----------------|-----------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|--------------------|
| | | Одесса, 1947- 1979гг. | Нагон | - | 0,3 | 0,8 | 0,2 | 0,2 | - | - | - | - | 0,2 | |
| | Сгон | 3,5 | 2,0 | 0,7 | 0,2 | 0,2 | - | - | 0,7 | 0,5 | 3,0 | 3,0 | 3,3 | 17,1 |
| Одесса, 1980- 2012гг. | Нагон | 0,2 | 0,5 | 0,2 | 0,5 | 0,2 | 0,5 | - | - | - | - | 0,8 | 0,8 | 3,7 |
| | Сгон | 0,8 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | - | - | - | - | 0,8 | 0,5 | 2,0 | 1,0 | 6,0 |
| Ильичевск 1986- 2013гг. | Нагон | 0,9 | 0,6 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | - | - | - | - | - | 0,9 | 0,9 | 4,2 |
| | Сгон | 0,6 | 0,9 | - | - | - | - | - | - | - | 0,6 | 1,5 | 0,9 | 4,5 |
| Южный 1986- 2011гг. | Нагон | 0,6 | 0,6 | 0,6 | - | 1,0 | - | - | - | - | - | 0,6 | 0,3 | 3,7 |
| | Сгон | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | - | - | - | - | - | - | 1,0 | 0,6 | 2,8 |
| Цар.гирло 1975- 2010гг. | Нагон | 0,9 | 0,9 | 0,5 | - | 0,2 | - | - | - | - | 0,2 | 0,7 | 0,7 | 4,1 |
| | Сгон | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,7 | - | 0,7 |

В соответствии с опасными отметками для каждой станции рассчитывались повторяемости опасных подъемов и спадов уровня для каждого месяца и суммарно за год. Результаты расчетов приведены в таблице 10.

Опасные подъемы и спады уровня имеют наибольшую повторяемость с октября по май, что обусловлено наибольшей интенсивностью ветра в этот период года. На станции Ильичевск суммарно за год вероятность опасных подъемов и спадов примерно одинакова и составляет 4-4,5%. На станции Южный опасные подъемы и спады также примерно равновероятны – 3,7%-2,9%, а на станции Цареградское гирло опасные подъемы встречаются в 4% случаев, а повторяемость опасных спадов незначительна – 0,7% случаев.

Для станции Одесса суммарно за год повторяемость опасных спадов выше, чем опасных подъемов уровня. При сравнении двух климатических периодов можно видеть, что суммарно за год за период 1980-2012гг. повторяемость опасных подъемов выросла приблизительно в два раза, а повторяемость опасных спадов уровня, наоборот, снизилась примерно в три раза по сравнению с периодом 1947-79гг.

Пояснить это можно климатическими изменениями характеристик ветра. Как указывалось выше, на станции Одесса в многолетней изменчивости средней годовой скорости ветра наблюдается отрицательный тренд, то есть сила ветра за последний климатический период снизилась. Более подробный анализ, приведенный в работе [5], показал, что снижение скорости ветра произошло за счет уменьшения повторяемости умеренных и сильных ветров, то есть ветров, обуславливающих опасные подъемы и спады уровня. Произошли изменения и в направлениях ветра. В таблице 11 из работы [5] приводятся характеристики линейных трендов суммарной повторяемости скорости ветра по основным направлениям для станции Одесса за период 1945-2011гг. Опасные подъемы уровня моря в Одессе обусловлены действиями ветра восточного и юго-восточного направлений. Как видно из таблицы 11, ветер восточного направления имеет не значимый отрицательный тренд, а ветер юго-восточного направления – значимый положительный тренд, что по-видимому является причиной роста повторяемости опасных подъемов уровня. Росту повторяемости опасных подъемов уровня способствует также общее повышения уровня моря. Опасные спады уровня моря обусловлены действиями ветров северного, северо-западного и северо-восточного направлений. В многолетней изменчивости повторяемости северного и северо-восточного ветров наблюдаются значимые отрицательные тренды, а в повторяемости северо-западного ветра – не значимый положительный тренд, что поясняет причины снижения повторяемости опасных спадов уровня моря в Одессе за период 1980-2012гг.

Таблица 11 – Характеристики линейных трендов годовых величин суммарной повторяемости скорости ветра по основным направлениям для станции Одесса за период 1945-2011гг. [5]

| Направление ветра , румб | Хар-ка тренда | | | | | | | |
|-----------------------------|---------------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|-------|
| | С | СВ | В | ЮВ | Ю | ЮЗ | З | СЗ |
| а (%· год ⁻¹) | -0,094* | -0,076* | -0,013 | 0,085* | -0,065* | -0,050* | 0,218* | 0,014 |
| Δ (%) | -5,6 | -4,6 | -0,8 | 5,1 | -3,9 | -3,0 | 13,1 | 0,8 |

Примечание: а – угловой коэффициент тренда (% · год⁻¹), Δ - общее изменение величины годовой повторяемости (в %), * - значимые на уровне не ниже 95% тренды.

Для определения тенденций в многолетней изменчивости интенсивности стонно-нагонных колебаний уровня выполнялся также анализ экстремальных за год значений уровня и их разницы по срочным данным наблюдений. Рассчитывались характеристики линейных трендов, результаты которых приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Характеристики линейных трендов рядов экстремальных значений уровня и их разницы на станциях северо-западной части Черного моря.

| Уровень | Характеристика | Станции, период | | | | |
|------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|---|--------|
| | | Цар.гирло 1975- 2010гг. | Ильичевск 1986- 2013гг. | Южный 1986- 2011гг. | Одесса 1947- 1980- 1979гг 2012гг. | |
| Максимальный | а | 0,51 | 0,54 | 1,07 | 0,50 | -0,19 |
| | R ² | 0,22 | 0,15 | 0,46* | 0,05 | 0,02 |
| | Δ | 18,36 | 15,12 | 27,82 | 16,5 | -6,27 |
| Минимальный | а | 0,85 | 0,71 | 1,07 | 0,37 | 1,13 |
| | R ² | 0,39* | 0,12 | 0,29* | 0,02 | 0,38* |
| | Δ | 30,6 | 19,88 | 27,82 | 12,21 | 37,29 |
| Разница экстремумов | а | -0,33 | -0,17 | 0,00 | 0,13 | -1,32 |
| | R ² | 0,06 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,28* |
| | Δ | -11,9 | -4,67 | 0,00 | 4,30 | -43,56 |

Примечание: a – угловой коэффициент тренда, ($\text{см} \cdot \text{год}^{-1}$), R^2 – коэффициент детерминации, Δ - общее изменение величины, разница между первым и последним значением тренда, см, * - значимые на уровне не ниже 95% тренды.

Как видно из таблицы, на станциях Цареградское гирло и Ильичевск в рядах максимальных и минимальных значений уровня наблюдаются положительные тренды. Однако угловые коэффициенты тренда минимального уровня выше, чем максимального уровня, что свидетельствует о более интенсивном повышении минимального срочного уровня по сравнению с повышением максимального уровня. Так как скорости роста экстремальных уровней неодинаковы, разница между ними имеет отрицательный тренд, подтверждающий снижение интенсивности сгонов-нагонов на станциях Цареградское гирло и Ильичевск за период 1986-2012гг. (рис.7 и 8).

разница, см

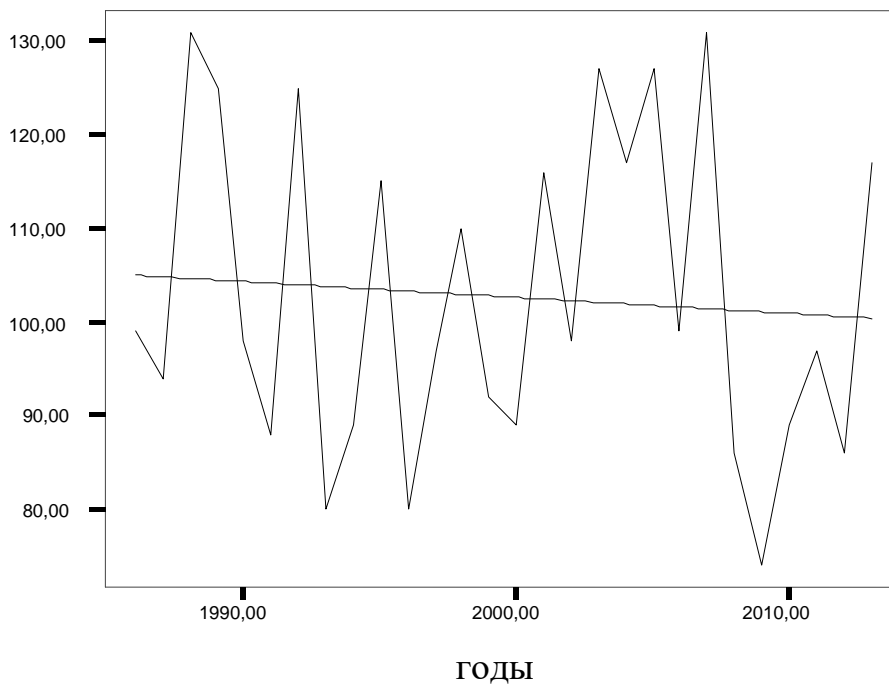


Рис. 7 Изменение разницы максимального и минимального срочного уровня на ст. Ильичевск за 1986-2013 гг. и линейный тренд.

разница, см

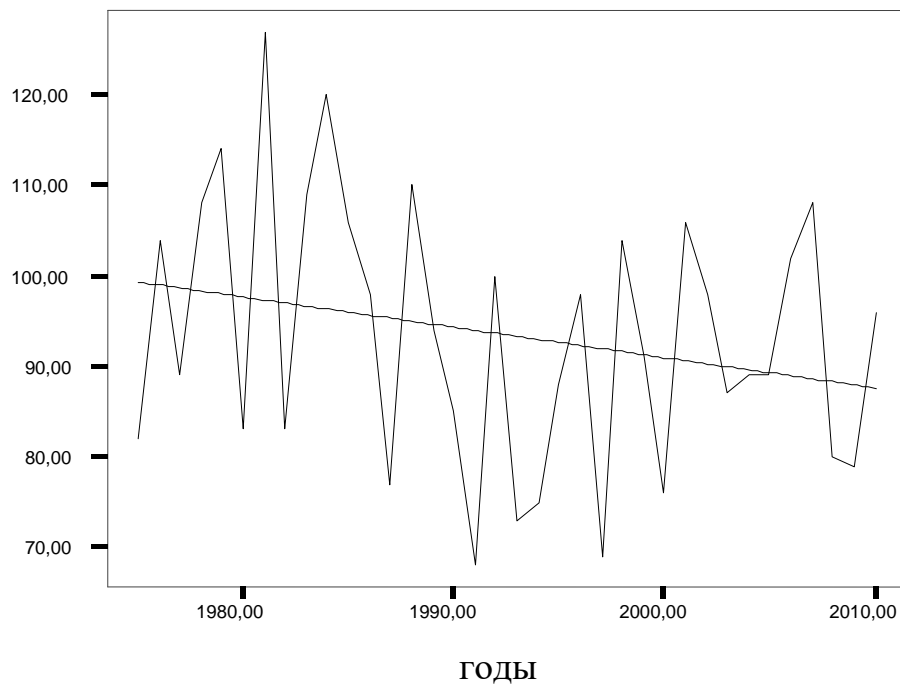


Рис. 8 Изменение разницы максимального и минимального срочного уровня на ст. Цареградское гирло за 1975-2010 гг. и линейный тренд.

На станции Южный за исследуемый период экстремальные уровни моря изменялись с одинаковой скоростью, а в их разнице тренд отсутствует. Выявляются колебания с периодами от 2-х до 5-ти лет (рис.9).

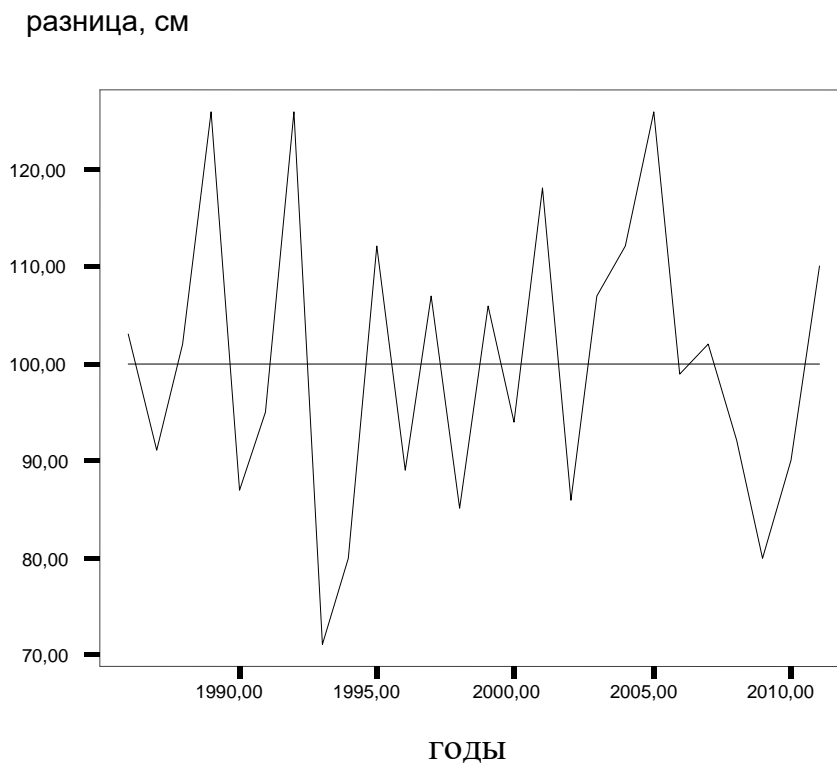


Рис. 9 Изменение разницы максимального и минимального срочного уровня на ст. Южный за 1986-2011 гг. и линейный тренд.

На станции Одесса за период 1947-79гг. в изменчивости максимального и минимального уровня моря и в их разнице наблюдаются положительные тренды, хотя и статистические незначимые. За период 1980-2012гг. максимальный срочный уровень имеет слабый отрицательный тренд, а минимальный срочный – наоборот, значимый положительный., что свидетельствует о снижении интенсивности значительных сгонов. Отрицательный тренд в разнице между максимальным и минимальным уровнем также подтверждает факт о снижении интенсивности сгонно-нагонных колебаний за этот период времени. Изменчивость разницы между максимальным и минимальным срочным уровнем моря на станции Одесса за два периода показана на рис.10 и 11.

Таким образом, в снижение интенсивности сгонно-нагонных колебаний уровня на станциях северо-западной части Черного моря большой вклад вносит рост минимального уровня, то есть интенсивность сгонов имеет тенденцию снижения, а интенсивность нагонов - тенденцию роста, причем эта тенденция достигается за счет роста незначительных нагонов – не выше 30см относительного среднего уровня моря. На станциях Цареградское гирло, Ильичевск и Южный размах сгонов снизился на 20-30 см, а на станции Одесса на 37 см. Этот вывод необходимо использовать при планировании дноуглубительных работ в акваториях портов, так как минимальные значения уровня моря при сгонах создают угрозу посадки судов на мель.

разница, см

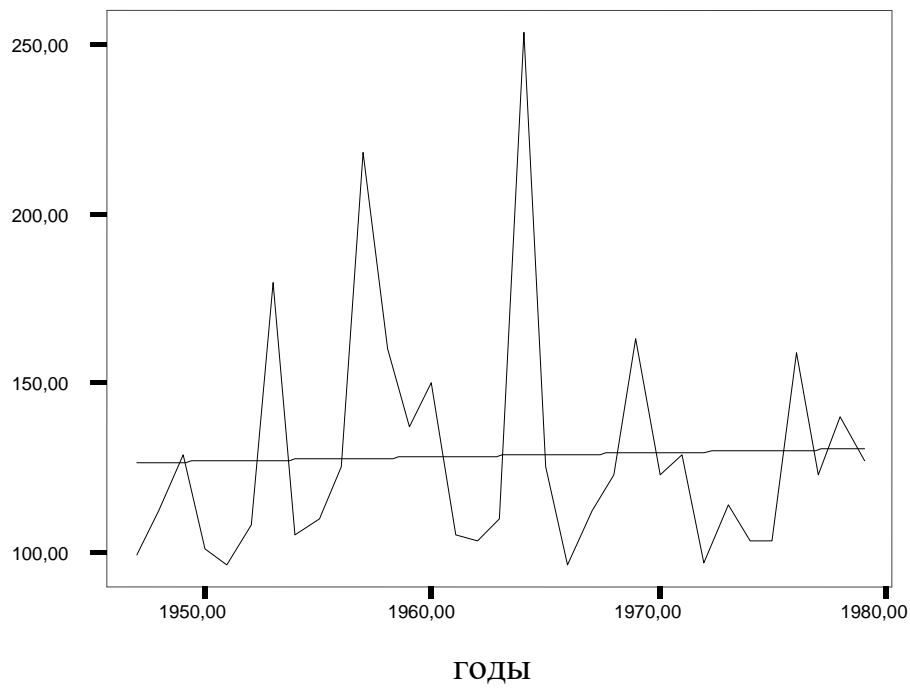


Рис. 10 Изменение разницы максимального и минимального срочного уровня на ст. Одесса за 1947-1979 гг. и линейный тренд.

разница, см

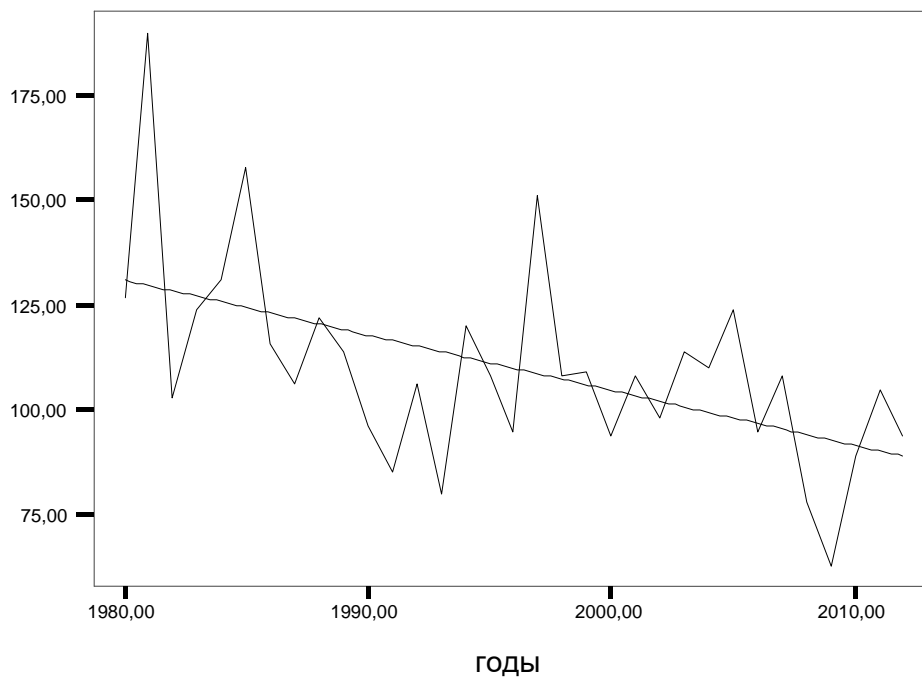


Рис. 11 Изменение разницы максимального и минимального срочного уровня на ст. Одесса за 1980-2012 гг. и линейный тренд.

ВЫВОДЫ

1. На всех станциях северо-западной части средний многолетний уровень моря выше на 7-14см, чем средний многолетний уровень всего Черного моря, что обусловлено природными факторами – речным стоком, стерическими эффектами, динамикой вод, сгонно-нагонными колебаниями.

2. На станциях Ильичевск, Южный и Цареградское гирло за исследуемый период (1986-2013гг.) повышение уровня моря составило 23-29 см. На станции Одесса за период 1947-1979 гг. повышение уровня составило 11см, а за период 1980-2012гг. уровень моря испытывал волновые колебания со слабым отрицательным трендом. За весь исследуемый период (1947-2012гг.) уровень моря в Одессе поднялся на 14см, что согласуется с аналогичными оценками для всего Черного моря. Отличие многолетних колебаний уровня моря в Одессе от остальных станций объясняется вертикальными движениями суши.

3.Размах сезонных колебаний уровня моря на станциях Южный, Ильичевск и Одесса составляет 14-15 см, а на станции Цареградское гирло – 19см. Максимум в сезонном ходе достигается в мае, а минимум – сентябре и октябре. На станции Одесса за период 1980-2012гг. размах сезонных колебаний снизился на 25% - с 21см до 15см по сравнению с периодом 1947-1979гг. Уменьшение размаха сезонных колебаний произошло за счет более существенного повышения минимального в сезонном ходе уровня моря, что в свою очередь обусловлено изменениями составляющих водного баланса.

4. На изменения уровня моря влияют сгонно-нагонные колебания. Корреляционный анализ показал достаточно тесные связи между средними месячными и экстремальными срочными значениями уровня. При этом средний уровень моря теснее связан с максимальными значениями, чем с минимальными, что свидетельствует о преобладающем влиянии нагонных колебаний на формирование среднего уровня.

5.Анализ сгонно-нагонных колебаний уровня моря разной интенсивности показал, что незначительные колебания (не превышающие 30 см относительного среднего уровня) имеют на всех станциях повторяемость от 50%до 80%. При этом повторяемость нагонов выше, чем сгонов. Повторяемость значительных (более 30см) и очень значительных (более 50 см) сгонов – наоборот, выше, чем повторяемость нагонов такой же интенсивности.

6. Анализ климатических изменений характера сгонно-нагонных колебаний уровня на станции Одесса показал, что повторяемость нагонов разной интенсивности практически не изменилась, а в повторяемости сгонов произошли существенные изменения. За период 1980-2012гг. по сравнению с периодом 1947-1979гг. повторяемость незначительных сгонов увеличилась, а значительных и очень значительных сгонов – наоборот, снизилась – приблизительно на 5%-6%.

7. Анализ опасных подъемов и спадов уровня моря показал, что на станции Ильичевск суммарно за год их повторяемости составляют 4,2%-4,5%, а на станции Южный -3,7%-2,8% соответственно. На станции Цареградское гирло опасные спады уровня имеют незначительную повторяемость – 0,7%, а опасные

подъемы встречаются в 4,1% случаев. Для станции Одесса суммарно за год повторяемость опасных спадов уровня выше, чем опасных подъемов уровня. Сравнение двух климатических периодов показало, что за период 1980-2012гг. повторяемость опасных подъемов возросла приблизительно в два раза, а повторяемость опасных спадов – снизилась примерно в три раза по сравнению с периодом 1947-1979гг. Такие изменения характера сгонно-нагонных колебаний уровня моря объясняются климатическими изменениями скорости и направлений ветра над Черным морем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каталог наблюдений над уровнем Черного и Азовского морей. Государственный комитет по гидрометеорологии / Государственный океанографический институт. Севастопольское отделение. – Севастополь. 1990. – 269с.
2. Горячкин Ю.Н. , Иванов В.А. Уровень Черного моря : прошлое, настоящее и будущее / Под ред. акад. НАН Украины В.Н.Еремеева.- Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006 – 210с.
3. Горячкин Ю.Н. Изменчивость уровня Черного моря – Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора географических наук. – Севастополь: МГИ НАН Украины. - 2012 , -38с.
4. Андрианова О.Р., Буров А.М., Скипа М.И. Особенности декадной изменчивости среднемесячных и экстремальных высот уровня в западной части Черного моря. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: 2010, вып.23, с.40-46.
5. Ильин Ю.П., Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н., Горячкин Ю.Н., Дьяков Н.Н., Кубряков А.А., Станичный С.В. Гидрометеорологические условия морей Украины.- т.2. Черное море. – Севастополь: 2012, - 420с.
5. Ильин Ю.П., Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н., Горячкин Ю.Н., Дьяков Н.Н., Кубряков А.А., Станичный С.В. Гидрометеорологические условия морей Украины.- т.2. Черное море. – Севастополь: 2012, - 420с.