

УДК 656.61.052:

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ****Р.В. Гаврилюк, к.г.н.****С.В. Корнилов, асп.***Одесский государственный экологический университет,  
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, korensv08@rambler.ru*

На основе статистического анализа данных наблюдений даны характеристики многолетней, сезонной и синоптической изменчивости уровня моря на станциях Одесса, Ильичевск, Южный и Цареградское гирло в современный климатический период.

**Ключевые слова:** Черное море; прибрежная зона; уровень моря; штормовые нагоны; сезонная и многолетняя изменчивость.

**1. 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 море- хозяйственной 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 работах [1,2], 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.

**2. МАТЕРИАЛЫ НАБЛЮДЕНИЙ**

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

До 1990 года данные наблюдений опубликованы в [3], 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 сгонно-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 – 1947-79 гг. и 1980-2012 гг. 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.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

#### 3.1 Многолетние колебания уровня

По данным наблюдений за среднемесячными значениями уровня на разных станциях выполнены расчеты статистических характеристик изменчивости – средние месячные значения, средние годовые значения, размах колебаний и средние квадратические отклонения. Для станции Одесса статистические характеристики приводятся за два периода. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

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.

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 %.

Для исследования колебаний уровня по рядам среднегодовых значений рассчитывались характеристики линейных трендов – угловые коэффициенты тренда, коэффициенты детерминации, величины общего изменения уровня, а также вклад тренда в общую дисперсию ряда. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

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 1947-79 гг., скорость роста уровня достигала  $3,3 \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$  при размахе тренда 11 см, а за период 1980-2012 гг. уровень моря в Одессе испытывал волновые колебания со слабым отрицательным трендом. За весь исследуемый период (1947-2012 гг.) 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]. 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, причем, как указывается в [5], скорости вертикальных движений суши различны для разных временных интервалов.

#### 3.2 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.

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 1980-2012 гг. размах сезонных колебаний снизился с 21 см до 15 см (на 25%), что совпадает с аналогичными оценками по всему Черному морю [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
		Одесса, 1980-2012гг.	Средний	488	489	490	493	497	495	490	487	482	482	483
	Размах, см	32	42	37	32	35	24	35	31	30	31	30	42	23
	СКО, см	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
	Размах, см	46	59	51	49	43	41	36	34	32	31	41	46	33
	СКО, см	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
	Размах, см	43	44	43	36	34	30	38	40	38	43	50	53	37
	СКО, см	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
Ильичевск, 1986-2013гг.	Средний	487	488	489	493	496	496	492	487	482	482	484	486	489
	Размах, см	47	54	50	43	42	35	41	37	32	31	35	44	36
	СКО, см	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
Цареградское гирло, 1875-2010гг.	Средний	492	495	496	504	503	500	496	491	486	485	486	489	494
	Размах, см	49	54	46	33	36	45	53	48	35	36	44	43	37
	СКО, см	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** – Характеристики линейных трендов в колебаниях средних годовых значений уровня моря в северо-западной части Черного моря

Станция, период Хар-ка	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.
a (см·год <sup>-1</sup> )	0,30	-0,08	0,21	0,79	0,70	0,64
R <sup>2</sup>	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 (см·год<sup>-1</sup>), R<sup>2</sup> – коэффициент детерминации, Δ - изменение уровня, см, B - вклад тренда в общую дисперсию ряда (%), \* - значимые тренды на уровне 0,01.

Изменились также месяцы достижения минимальных в сезонном ходе значений уровня – за период 1980-2012 гг. минимальный среднемесячный уровень моря наблюдается в сентябре и октябре, а за период 1947-1979 гг – 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 1980-2012 гг. уровень моря повысился на 11-12 см, а в мае – только на 5-6 см по сравнению с периодом 1947-1979 гг. 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 [2] являются клима-

тические 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. Расчеты повторяемости показали, что максимальные в сезонном ходе значения уровня моря на всех станциях чаще всего наблюдаются с апреля по июнь (в 60-70% случаев) 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 (наблюдаются два максимума уровня). Повторяемость осеннее-зимнего максимума в сезонном ходе составляет от 20% до 28%.

Минимальные в сезонных колебаниях средние месячные значения уровня наблюдаются в разные месяцы года, за исключением периода с апреля по июль. Чаще всего (в 50% случаев) минимальный в сезонном ходе уровень моря на всех станциях наблюдается в сентябре и ноябре. Сравнение двух климатических периодов (1947-1979 гг. и 1980-2012 гг.) 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 1980-2012 гг. 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.

### 3.3 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. В работе [6] приводятся характеристики многолетних изменений количества случаев сгонов-нагонов в Одессе, Феодосии и Севастополе. Показано, что в Одессе до конца 60-ых годов прошлого столетия наблюдалось увеличение повторяемости сгонов-нагонов, которое сменилось устойчивой тенденцией к их уменьшению.

Некоторые сведения о морских опасных гидрометеорологических явлениях в Азово-Черноморском бассейне, включая сгонно-нагонные колебания, приводятся в работе [7], выполненной более 15 лет назад. Однако, на наш взгляд, в приведенных источниках отсутствуют статистические характеристики по длинным рядам, нет оценок тенденций изменений характера сгонно-нагонных колебаний на станциях Южный и Ильичевск, не изучены в полной мере причинно-следственные связи.

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.

Как известно, характерной величиной выделения сгона или нагона в Черном море является величина размаха колебаний в 15 см в сутки [2]. 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 связи между внутри месячными срочными экстремумами и среднемесячными величинами. Анализ расчетов показал, что на всех станциях коэффициенты корреляции доста-

**Таблица 3** – 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 4** – Повторяемость ( в % ) сгонных колебаний уровня разной интенсивности для станций северо-западной части Черного моря

Станция Градация, см	Одесса		Ильичевск, 1986- 2013гг.	Южный, 1986- 2012гг.	Цар.гирло 1975- 2010гг.
	1947- 1979гг.	1980- 2012гг.			
< 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

точно 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 10 см ( 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 табл. 3 , 4.

Как следует 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% на всех станциях, за исключением станции Цареградское гирло, где оно составляет только 1,5%. Сравнение двух климатических периодов для станции Одесса показывает, что повторяемость незначительных 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 [8].

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 из всех станций северо-западной части Черного моря.

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.

Расчеты показали, что 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 1980-2012 гг. повторяемость опасных подъемов выросла приблизительно в два раза, а повторяемость опасных спадов уровня, наоборот, снизилась примерно в три раза по сравнению с периодом 1947-79 гг.

Пояснить это можно климатическими изменениями характеристик ветра. В работе [8] показано, 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 работе [8] приводятся характеристики линейных трендов суммарной повторяемости скорости ветра по основным направлениям для станции Одесса за период 1945-2011 гг. Опасные подъемы уровня моря в Одессе обусловлены действиями ветра восточного и юго-восточного направлений. Согласно [8], 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 повышение 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 1980-2012 гг.

Для определения тенденций в многолетней

изменчивости интенсивности сгонно-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 5.

Как следует 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 1986-2012 гг. 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. На станции Одесса за период 1947-1979 гг. в изменчивости максимального и минимального уровня моря и в их разнице наблюдаются положительные тренды, хотя и статистически незначимые. За период 1980-2012 гг. 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.

Таким образом, в снижение интенсивности сгонно-нагонных колебаний уровня на станциях северо-западной части Черного моря больший 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 30 см относительно среднего уровня моря. На станциях Цареградское гирло, Ильичевск и Южный размах сгонов по тренду 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.

**Таблица 5** – 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- 1979гг	1980- 2012гг.
Максимальный	a	0,51	0,54	1,07	0,50	-0,19
	R <sup>2</sup>	0,22	0,15	0,46*	0,05	0,02
	Δ	18,36	15,12	27,82	16,5	-6,27
Минимальный	a	0,85	0,71	1,07	0,37	1,13
	R <sup>2</sup>	0,39*	0,12	0,29*	0,02	0,38*
	Δ	30,6	19,88	27,82	12,21	37,29
Разница экстремумов	a	-0,33	-0,17	0,00	0,13	-1,32
	R <sup>2</sup>	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, (см · год<sup>-1</sup>), R<sup>2</sup> – коэффициент детерминации,

Δ - общее изменение величины, разница между первым и последним значением тренда, см,

\*- значимые на уровне не ниже 95% тренды.

#### 4. ВЫВОДЫ

1. Средний многолетний уровень моря в северо-западной части моря выше на 7-14 см, чем средний многолетний уровень всего Черного моря, что обусловлено региональными природными факторами – речным стоком, динамикой вод, сгонно-нагонными колебаниями.

2. На всех станциях северо-западной части Черного моря наблюдается рост уровня: на станциях Ильичевск, Южный и Цареградское гирло за исследуемый период (1986-2013 гг.) рост уровня моря составил 16-21 см. На станции Одесса за период 1947-1979 гг. рост уровня составил 11 см, а за период 1980-2012 гг. уровень моря испытывал волновые колебания со слабым отрицательным трендом. За весь исследуемый период (1947-2012 гг.) уровень моря в Одессе поднялся на 14 см, 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 – 19 см. Максимум в сезонном ходе в большинстве случаев (50%-70%) достигается с апреля по июнь, а минимум – с сентября по ноябрь. Примерно в 20%-28% случаев в сезонных колебаниях наблюдается два максимума – один весенний, второй – зимний. На станции Одесса за период 1980-2012 гг. размах сезонных колебаний снизился на 25% - с 21 см до 15 см по сравнению с

периодом 1947-1979 гг. 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 30 см) 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 1980-2012 гг. по сравнению с периодом 1947-1979 гг. 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 1980-2012 гг. повторяемость опасных подъемов возросла приблизительно в два раза, а повторяемость опасных спадов – снизилась примерно в три раза по сравнению с периодом 1947-1979 гг. Такие изменения характера сгонно-нагонных колебаний уровня моря объясняются климатическими изменениями скорости и направлений ветра над Черным морем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горячкин Ю.Н. Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее /Ю.Н. Горячкин, В.А. Иванов; под ред. акад. НАН Украины В.Н. Еремеева.- Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006 – 210 с.
2. Горячкин Ю.Н. Современные тенденции изменений уровня Черного моря /Ю.Н. Горячкин, В.А. Иванов //Водные ресурсы. – 1996, № 2. - С. 246-248.
3. Каталог наблюдений над уровнем Черного и Азовского морей. Государственный комитет по гидрометеорологии. Государственный океанографический институт, Севастопольское отделение. – Севастополь, 1990. – 269 с.
4. Андрианова О.Р. Особенности декадной изменчивости среднемесячных и экстремальных высот уровня в западной части Черного моря /О.Р. Андрианова, А.М. Буров, М.И. Скипа //Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2010. - Вып.23. - С. 40-46.
5. Андрианова О.Р. Динамика суши и уровня побережья Одесского региона Черного моря /О.Р. Андрианова, Р.Р. Белевич, М.И. Скипа //Геофизический журнал. - 2005. - Т. 27, №3. – С. 463-469.
6. Доценко С.Ф. Природные катастрофы Азово-Черноморского региона / С.Ф. Доценко, В.А. Иванов. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2010 -174 с.
7. Казаков А.Л. Морские опасные и особо опасные гидрометеорологические явления в Азово-Черноморском бассейне. 1. Каталог /А.Л. Казаков, Е.А. Собченко //Метеорология, климатология и гидрология. – 1999.- №39. - С. 116-131.
8. Ильин Ю.П. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т.2. Черное море /Ю.П. Ильин, Л.Н. Репетин, В.Н. Белокопытов, Ю.Н. Горячкин, Н.Н. Дьяков, А.А. Кубряков, С.В. Станичный. – Севастополь, 2012. – 420 с.

#### REFERENCES

1. Goryachkin Yu.N., Ivanov V.A. *Uroven' Chernogo morya: proshloe, nastoyashchee i budushchee* [The level of the Black Sea: past, present and future]. Sevastopol: MGI NASU, 2006. 210 p. (Ed: Mem. NASU V.N. Eremeev).
2. Goryachkin Yu.N., Ivanov V.A. *Sovremennye tendentsii izmeneniy uroven'ya Chernogo morya* [Present-day tendencies of the level of The Black Sea changes]. *Vodnye resursy* – *Water resources*, 1996, no. 2, pp. 246-248.
3. *Katalog nablyudeniya nad urovнем Chernogo i Azovskogo morey. Gosudarstvennyy komitet po gidrometeorologii. Gosudarstvennyy okeanograficheskiy institut, Sevastopol'skoe otdelenie* [The catalog of observations above the level of the Black and Azov Seas. The State Committee for Hydrometeorology. State Oceanographic Institute, Sevastopol branch]. Sevastopol, 1990. 269 p.
4. Andrianova O.R., Burov A.M., Skipa M.I. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fovoy zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa - Ekologicheskaya safety of coastal and shelf zones and complex use of shelf resources*. Sevastopol, 2010, Iss. 23, pp. 40-46 (in Russian).
5. Andrianova O.R., Belevich R.R., Skipa M.I. *Geofizicheskiy zhurnal – Geophysical journal*, 2005, vol. 27, no. 3, pp. 463-469 (in Russian).
6. Dotsenko S.F., Ivanov V.A. *Prirodnye katastrofy Azovo-Chernomorskogo regiona* [Natural disasters of Azov-Black Sea region] . Sevastopol: MGI NASU, 2010. 174 p.
7. Kazakov A.L., Sobchenko E.A. *Meteorologiya, klimatologiya i gidrologiya – Meteorology, climatology and hydrology*, 1999, no. 39, pp. 116-131 (in Russian).
8. Il'in Yu.P., Repetin L.N., Belokopytov V.N., Goryachkin Yu.N., D'yakov N.N., Kubryakov A.A., Stanichnyy S.V. *Gidrometeorologicheskie usloviya morey Ukrainy. T.2. Chernoe more* [Hydrometeorological conditions of the seas in Ukraine. Vol. 2. Black Sea]. Sevastopol, 2012. 420 p.

### VARIABILITY OF THE SEA LEVEL IN THE NORTH-WESTERN PART OF THE BLACK SEA

R.V. Gavrilyuk, Cand. Sci. (Geogr.)

S.V. Kornilov, Ph.D. student

Odessa State Environmental University,  
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, [korensv08@rambler.ru](mailto:korensv08@rambler.ru)

Introduction. Scientific and practical value of the topic is based on the influence of sea level variation on economic activity in the coastal zone.

**Purpose.** The purpose of this work is to study surge, seasonal and long-term level variations in the North-Western part of the Black Sea at present time.

**Methods of research.** Standard methods of mathematical statistics used in hydrometeorology and oceanography such as statistical, correlation and regression analyses were applied.

**Results.** Over the period from 1947 to 1979 increase of the sea level constituted 11 cm at the station of Odessa, and over the period from 1980 to 2012 the sea level experienced wave fluctuations with a weak negative trend. During the entire period of observation (from 1947 to 2012) the sea level rose up by 14 cm in Odessa, which corresponds to similar estimates for the entire area of the Black Sea. During the period of 1980-2012 the scope of seasonal fluctuations decreased by 25% at the station of Odessa – from 21cm to 15 cm in comparison to the period from 1947 to 1979. The analysis of surge fluctuations of the sea level showed that recurrence of significant (over 30 cm) and very significant (over 50 cm) negative surges is higher than recurrence of positive surge of the same intensity. Over the period of 1980–2012 compared to the period of 1947–1979 recurrence of significant and very significant negative surges decreased by approximately 5%–6% at the station of Odessa. These changes are due to climatic changes of wind speed and direction causing surge fluctuations in the North-Western part of the Black Sea.

**Conclusions.** Theoretical and practical significance of the work consists in possibility of use of these results for scientific and practical activities. Estimates of variability can be used for navigation, hydrotechnical construction purposes and for operation of hydraulic structures in the coastal area.

**Keywords:** the Black Sea; coastal zone; sea level; surge, seasonal and long-term level variations.

## **МІНЛИВІСТЬ РІВНЯ В ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ**

**Р.В. Гаврилюк, к.г.н.**

**С.В. Корнилов, асп.**

*Одеський державний екологічний університет,  
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, [korensv08@rambler.ru](mailto:korensv08@rambler.ru)*

На основі статистичного аналізу даних спостережень наведені характеристики багаторічної, сезонної і синоптичної мінливості рівня моря на станціях Одеса, Іллічівськ, Південний і Царгородське гирло в сучасний кліматичний період.

**Ключові слова:** Чорне море, прибережна зона; рівень моря; штормові нагони; сезонні та багаторічна мінливість

*Дата першого представлення: 25.02.2016*

*Дата поступлення окончательной версии: 28.03.2016*

*Дата опубликования статьи: 04.07.2016*