

## **UPSURGE-DOWNSURGE VARIATIONS AT SEA LEVEL IN THE NORTH – WEST BLACK SEA AND THEIR CHANGES IN PRESENT CLIMATE**

### **СТОПНО-НАГОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ В АКВАТОРИЯХ ПОРТОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ И ИХ ИЗМЕНЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫЙ КЛИМАТИЧЕСКИЙ ПЕРИОД**

**R.V. Havryliuk**, PhD, associate professor, **S.V. Kornilov**, PhD student  
**Р.В. Гаврилюк**, к.г.н., доцент, **С.В.Корнилов**, аспирант

Odessa State Environmental University, Ukraine

Odessa National Maritime Academy, Ukraine

Одесский Государственный Экологический Университет, Украина

Одесская Национальная Морская Академия, Украина

#### **ABSTRACT**

The article is devoted to study of the variability of the north-west Black sea level. Special attention is given to variability of upsurge-downsurge at sea level and their changes in present climate are identified.

**Keywords:** Black sea, coastal zone, upsurge-downsurge variations at sea level, wind, variability, present climate.

#### **Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами**

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 эволюцию контура береговой линии. Все это влияет на гидротехнические сооружения и сказывается на морехозяйственной деятельности.

Исследованиям повышения уровня Мирового океана в условиях глобального потепления климата в последние годы уделяется большое внимание ученых разных стран. Рост уровня наблюдается и в Черном море. Наиболее полные сведения по этой проблеме приведены в монографии [1], где указывается, что за последние 60 лет уровень повысился на 14см, а в 2010 году

он достиг своего абсолютного максимума за всю 150-летнюю историю наблюдений. Согласно прогнозным оценкам, наибольшее воздействие повышения уровня Черного моря будет оказывать на плотно заселенные берега в районе Одессы.

Причиной таких изменений является как общее повышение уровня Мирового океана, так и региональные факторы – увеличение положительного баланса пресных вод (за счет роста количества осадков и уменьшения испарения при практически неизменном стоке рек), стерические эффекты (уменьшение плотности воды) и опускания суши, особенно заметные в северо-западной части Черного моря.

На изменения среднего уровня в прибрежных районах и акваториях портов оказывают влияние также стонно-нагонные колебания, вызванные ветром. Особенно значительны такие колебания в районе Одессы, где наблюдаются как наиболее высокие, так и наиболее низкие положения уровня, а размах достигает 2,75м [3]. Стонно-нагонные колебания уровня являются кратковременными (от нескольких часов до нескольких суток) и при достижении уровня критических отметок эти явления становятся опасными для судоходства.

### **Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы**

Аналізу морских опасных гидрометеорологических явлений, в том числе и стонно-нагонных колебаний уровня моря, посвящена работа [4], опубликованная более 15 лет назад. В монографии [2] приводятся характеристики многолетних изменений количества случаев стонов-нагонов в Одессе, Феодосии и Севастополе. Показано, что в Одессе до конца 60-ых годов прошлого столетия наблюдалось увеличение повторяемости стонов-нагонов, которое сменилось устойчивой тенденцией к их уменьшению. Некоторые сведения о морских опасных гидрометеорологических явлениях в Азово-Черноморском бассейне приводятся в монографии [3]. Однако, на наш взгляд, в приведенных источниках отсутствуют статистические характеристики по длинным рядам, нет оценок тенденций изменений характера стонно-нагонных колебаний в портах Южный и Ильичевск, не изучены в полной мере причинно-следственные связи.

### **Формулирование целей статьи ( постановка задачи )**

Целью данного исследования является анализ климатических изменений характера стонно-нагонных колебаний уровня (повторяемости и размаха) в портах северо-западной части Черного моря – Одесса, Ильичевск, Южный и на станции Цареградское гирло на входе в Днестровский лиман.

## **Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов**

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

До 1990 года данные опубликованы в [5], а за последние годы ряды дополнялись наблюдениями из таблиц ТГМ, любезно предоставленных Гидрометцентром Черного и Азовского морей. Для анализа многолетней изменчивости сгонно-нагонных колебаний использовались данные о среднем за месяц уровне и экстремальных (максимальных и минимальных) значениях по срочным наблюдениям.

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 характера сгонно-нагонных колебаний 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 климатической изменчивости сгонно-нагонных колебаний уровня моря.

Для получения количественных характеристик использовались традиционные в гидрометеорологии математические методы обработки информации – статистический, корреляционный, регрессионный анализ, для оценки климатической изменчивости рассчитывались характеристики линейных трендов рядов.

Основными факторами, которые определяют режим сгонно-нагонных колебаний уровня моря являются ветер и атмосферное давление. При этом ветру принадлежит определяющая роль. Развитие сгонов-нагонов 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. Как указывалось выше, 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 колебания в 15см в сутки [1]. 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 внутримесячными 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 свидетельствует о преобладании нагонных колебаний над сгонными.

Для более детального анализа интенсивности сгонно-нагонных колебаний и ее изменчивости на разных временных интервалах (для станции Одесса) 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 1 и 2.

Таблица 1 – Повторяемость ( в % ) нагонных колебаний уровня разной интенсивности для станций северо-западной части моря

Станция, период 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 2 – Повторяемость ( в % ) сгонных колебаний уровня разной интенсивности для станций северо-западной части Черного моря.

Станция, период 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

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 со снижением средней скорости ветра над Черным морем [2]. Изменения средней годовой скорости ветра на станции Одесса за период 1975-2011гг. и линейный тренд показаны на рис.1.

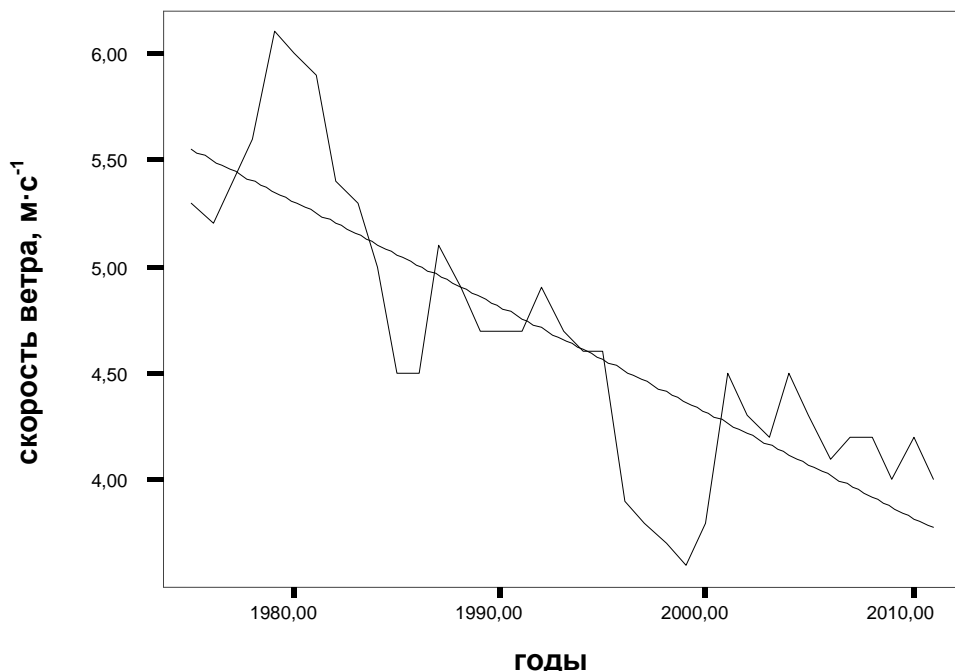


Рис. 1 Изменения скорости ветра на ст. Одесса за 1975-2011 гг. и линейный тренд.

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.

Для морской хозяйственной деятельности в прибрежной зоне 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. В соответствии с опасными отметками для каждой станции рассчитывались повторяемости (%) опасных подъемов и спадов уровня, результаты которых приведены в табл.3.

Таблица 3 – Повторяемость ( % ) суммарно за год опасных колебаний уровня на станциях северо-западной части Черного моря.

Станция, период	Одесса		Ильичевск, 1986- 2013гг.	Южный, 1986- 2011гг.	Цар.гирло, 1975- 2010гг.
	1947- 1979гг.	1980- 2012гг.			
Нагон	1,9	3,7	4,2	3,7	4,1
Сгон	17,1	6,0	4,5	2,8	0,7

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 [2], 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 4 из работы [2] 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, ветер восточного направления имеет не значимый отрицательный тренд, а ветер юго-восточного направления – значимый положительный тренд - его повторяемость возросла на 5,1%, 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 - их повторяемости снизились на 5,6% и 4,6% соответственно, 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 4 – Характеристики линейных трендов годовых величин суммарной повторяемости скорости ветра по основным направлениям для станции Одесса за период 1945-2011гг. [2 ]

Направление ветра , румб	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Хар-ка тренда								
а (%· год <sup>-1</sup> )	-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<sup>-1</sup>), 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 5.

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.

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. На станции Южный за исследуемый период экстремальные уровни моря изменялись с одинаковой скоростью, а в их разнице тренд отсутствует.

На станции Одесса за период 1947-79гг. в изменчивости максимального и минимального уровня моря и в их разнице наблюдаются положительные тренды, хотя и статистически 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.



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 учитывать при планировании дноуглубительных работ в акваториях портов, так как минимальные значения уровня моря при сгонах создают угрозу посадки судов на мель.

### **Выводы и перспективы дальнейшего исследования**

1. Сгонно-нагонные колебания оказывают влияние на средний уровень моря. Корреляционный анализ для рядов наблюдений на станциях северо-западной части Черного моря 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.

2. Анализ сгонно-нагонных колебаний уровня моря разной интенсивности показал, что незначительные колебания (не превышающие 30 см относительно 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.

3. 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%.

4. 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.

5. В снижение интенсивности сгонно-нагонных колебаний уровня в 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 30 см относительно среднего уровня моря. На станциях Цареградское гирло, Южный и Ильичевск размах сгонов снизился на 20-30 см, а на станции Одесса – на 37 см, что необходимо учитывать при планировании дноуглубительных работ в портах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. 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.
3. Доценко С.Ф. , Иванов В.А. Природные катастрофы Азово-Черноморского региона . – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2010 -174с.
4. Казаков А.Л., Собченко Е.А. Морские опасные и особо опасные гидрометеорологические явления в Азово-Черноморском бассейне. 1. Каталог. – Метеорология, климатология и гидрология, № 39, 1999, с.116-131.
5. Каталог наблюдений над уровнем Черного и Азовского морей. Государственный комитет по гидрометеорологии / Государственный океанографический институт. Севастопольское отделение. – Севастополь. 1990.- 269с.