

УДК 556.5

В.Я. Илюшин доцент, Н.О. Олифиренко аспирант.

Одесский Государственный Экологический Университет.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ УРОВНЯ И ДЕНИВЕЛЯЦИИ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОХОДИМОСТЬ СУДОВ ПО МОРСКОМУ КАНАЛУ

В статье рассматриваются причины и количественные характеристики изменчивости уровня в Керченском проливе. Показано, что уровень моря в течение последних 60 лет повышается со скоростью 0,33 см/год. Анализируются внутрисуточные денивеляции: продольные и поперечные; крупномасштабные внутрисуточные денивеляции, длительностью $6.5 \pm 4,1$ часа, и мелкомасштабные двухчасовые и их влияние на проходные глубины в Керчь-Еникальском канале.

***Ключевые слова:** проходные глубины, пресная составляющая, глобальное потепление, многолетний ход уровней, продольные и поперечные денивеляции, амплитуды денивеляций, длительность внутрисуточных денивеляций.*

Введение. Керченский пролив соединяет Азовское море с Чёрным; по нему проложен Керчь-Еникальский канал (КЕК), проектная глубина канала 9,35 м; канал имеет большое стратегическое значение для страны. Перевозки грузов морем постоянно растут, в связи с этим, требования к безопасным проходным глубинам на каналах повышаются.

Черное и Азовское моря соединены с Мировым океаном проливами, поэтому наполнение этих морей отображает глобальные тенденции увеличения пресной составляющей водного баланса всего земного шара, в связи с потеплением. Глобальное потепление на земном шаре – факт в науке о климатических изменениях на Земном шаре в настоящее время, вроде бы, хорошо установленный. Процесс этот происходит медленно – не одну сотню лет, в районе Керченского пролива в настоящее время хорошо заметен по данным многолетних наблюдений за уровнем воды на водпостах.

Материалы и методы исследования. В районе Керченского пролива, уровенные данные анализировались по водпостам: в предпроливном районе Азовского моря - Мысовое и Кубанская устьевая (г. Темрюк); в предпроливном районе со стороны Черного моря – Феодосия и Анапа; в Керченском проливе по водпостам Опасное, Керчь и Тамань. В Черном море использовались водпосты: Севастополь, Новороссийск.

При анализе изменчивости уровня и денивеляций, влияющих на проходимость судов по КЕК, использовались данные мореографов на водпостах в районе Керченского пролива за различные периоды 2003 года. Также были рассмотрены закономерности изменения среднегодовых уровней за период 1945-1985 годов.

Результаты исследования и их анализ. Ход среднегодовых уровней на различных водпостах показан на рис.1; тенденция повышения уровня на графиках хорошо прослеживается: в 2005 г. среднегодовой уровень 493 см, а в 1945 году был равен 473 см над единым нулем Черного и Азовского морей (-5.00 м Балтийской системы). Интенсивность подъёма уровня моря в районе составляет 0,33 см/год.

Отклонения уровня на величину ± 15 см, от линейного тренда за многолетний период в сторону повышения или понижения, обусловлены региональными климатическими изменениями или же движением земной коры, как утверждают авторы работы [1].

Наибольшие изменения уровня в течение года отмечаются в северной части пролива в январе-феврале, а в южной — в феврале-марте и обусловлены они значительной штормовой деятельностью ветра. Наименьшие колебания уровня в Керченском проливе в августе - сентябре. В течение суток наибольшие изменения уровня

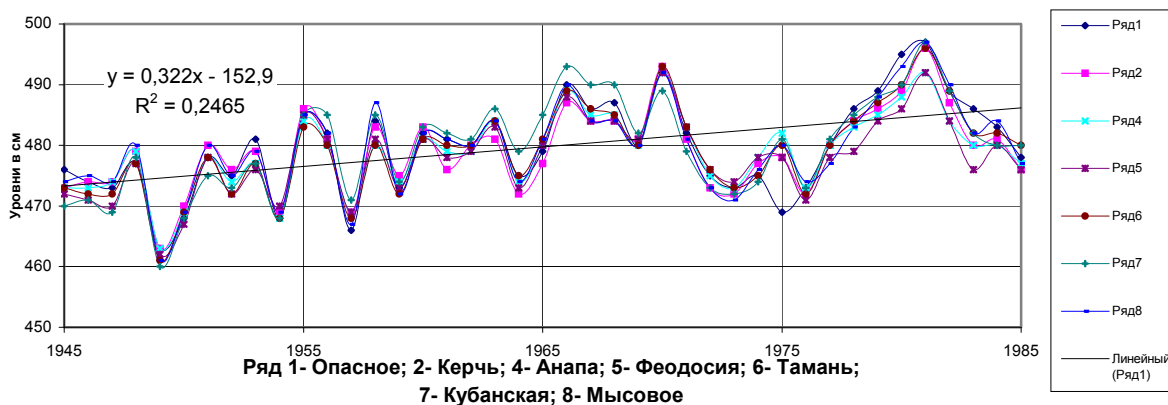


Рис.1. Совмещённые графики временного хода среднегодовых уровней и его линейный тренд на водпостах Чёрного и Азовского морей

наблюдаются на севере Керченского пролива. Разность уровня между абсолютным максимумом и минимумом за сорокалетний период в предпроливном районе Азовского моря (Мысовое) составляет 2,7 м, в то время как в предпроливной части Черного моря (Феодосия) она равна 1,1 м, т. е. наиболее значительные колебания уровня и денивеляции уровенной поверхности происходят у входа в пролив со стороны Азовского моря.

Денивеляции водной поверхности в районе Керченского пролива более подробно рассмотрены по данным уровневых наблюдений в 1969 и в 2003 годах. В 1969 году за многолетний период в октябре наблюдался наиболее выдающийся шторм, 2003 год – год детальных гидрографических изысканий ЧерноморНИИпроектом в Керченской бухте и Керченском проливе, в связи с оценкой заносимости отдельных участков морского канала.

Вычисленные среднегодовые уровни на разных водпостах за 1969 год, с исключительно сильным штормом на Азовском море показали, что отчетной является практически горизонтальная поверхность, высота нулей водпостов региона отличается в пределах одного сантиметра – точности отсчета уровня по футштоку.

При оценке денивеляций уровенной поверхности моря необходимо уровни на разных водпостах отсчитывать от единой горизонтальной поверхности, это потребовало проведения водной нивелировки нулей водпостов. Для водной нивелировки реперными определены водпосты вековых морских станций Севастополь и Мысовое.

Основной гипотезой при водной нивелировке принято утверждение, что, при неизменности климатических условий и отсутствии движений земной коры, графики связей многолетних уровней на разных водпостах должны проходить под углом 45° к координатным осям. Разброс точек связи около этих прямых вызывается или подвижками земной коры или разной направленностью климатических изменений в районах анализируемых уровневых наблюдений.

Различная пресная составляющая водного баланса в разных районах проявляется на графиках в виде постоянного смещения прямой связи, относительно прямой выходящей из начала координат под углом 45°.

Анализ данных уровня моря в Севастополе и в предпроливном районе Черного моря показал, что уровень в Феодосии практически во все сезоны года мало отличается от среднего уровня Черного моря (постоянно превышает уровень в Севастополе на 3 см). Что касается уровня в предпроливном районе Азовского моря, Мысовом, то последний практически постоянно выше среднего уровня Черного моря на 5-8 см. Считается [2;3], что повышенные значения уровня в районе Мысового — прямое следствие наклона уровенной поверхности Азовского моря с юго-запада на северо-восток, вызванное преобладанием нагонных ветров над сгонными. Выполненные расчёты показывают, что различные высоты уровенных поверхностей в Чёрном и Азовском морях – следствие различий в их пресных составляющих водного баланса (рис.2). Положительная пресная составляющая вызывает повышение уровня моря: увеличение объёма пресной воды в водоёме прослеживается по повышению уровня и уменьшению солёности этих вод. Уменьшение солёности вызывает уменьшение плотности, но увеличение удельного объёма и, следовательно, тоже приводит к повышению уровня. Отмеченное хорошо прослеживается по графику на рис. 2.

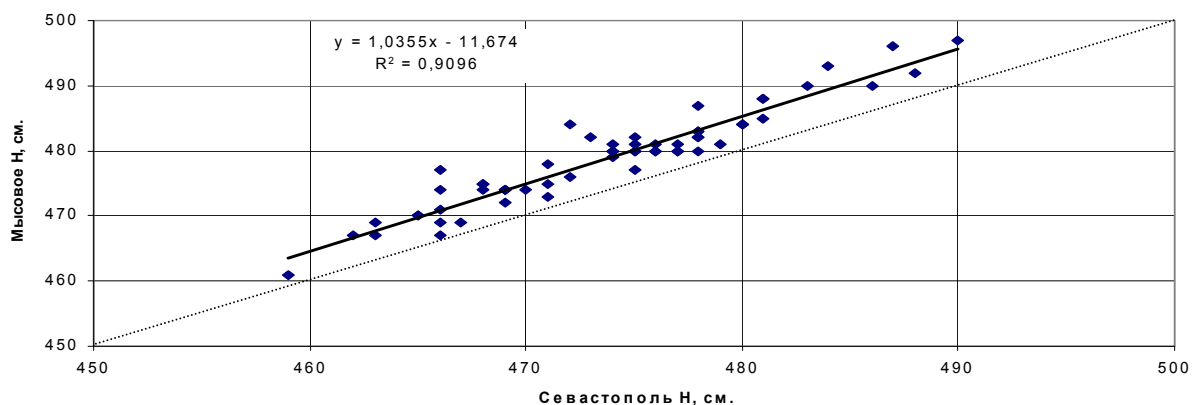


Рис. 2. График связи среднегодовых уровней на водпостах Чёрного (Севастополь) и Азовского (Мысовое) морей.

Денивелиации (от франц. *déniveler* — делать неровным) водной поверхности в проливе, возникают в результате сгонно-нагонных явлений или сейшевых колебаний, а также различий в пресных составляющих водных балансов в Чёрном и в Азовском морях. Это явление может привести к снижению проходных глубин в канале на его отдельных участках и в итоге к снижению рентабельности канала.

Наклоны водной поверхности, по сравнению с горизонтальной плоскостью, зависят от воздействия на нее силы и неравномерности ветра, длины разгона ветра над водной поверхностью, морфологии морского дна (в основном глубин моря), очертаний берегов (морфометрии водоема) и т.д. Общую картину денивелиаций водной поверхности можно получить путем математического моделирования, на основе уравнений гидродинамики в реальных граничных условиях, моделируя воздействие на водную поверхность неизменной скорости ветра заданного направления и бесконечной продолжительности. Такое моделирование при действии ветра со скоростью 10 м/с северо-восточного, восточного, западного и южного направлений было проведено [4]; денивелиации водной поверхности были получены как промежуточный результат.

Анализ пространственных картин наклонов водной поверхности в Керченском проливе, полученных путём математического моделирования, приводит к следующим выводам:

- перенос масс воды осуществляется из Азовского и Черного моря под действием составляющей силы тяжести, параллельной уклону водной поверхности (продольным денивеляциям). Продольные денивеляции водной поверхности в Керченском проливе следует изучать в его северной узкости, по наблюдениям изменчивости уровня на водпостах Опасное и Керчь;
- поперечные денивеляции изучать следует по данным наблюдений уровня на водпостах Керчь и Тамань;
- основное внимание, в дальнейшем, нужно уделить изучению изменчивости во времени уклонов водной поверхности по фактическим данным;
- в северной узкости Керченского пролива выявлена следующая зависимость между направлением ветра и уклонами водной поверхности в проливе, табл.1:

Таблица 1. Характеристика продольных денивеляций в северной узкости Керченского пролива в зависимости от румба ветра, повторяемости ветра заданного румба

Румб	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Продольная Денивеляция	+	+	+	0	-	-	-	+
Повторяемость ветра, %	15.34	23.93	7.84	2.85	11.68	10.88	10.07	10.85

Наклон водной поверхности в сторону Чёрного моря принят положительным (+), а в сторону Азовского отрицательный (-).

В соответствии с этими среднемноголетними данными, поступление азовских вод в пролив должно быть в течение 58% годового периода, а черноморских вод в 33% от годового времени.

Изменчивость денивеляций во времени изучалась частотным методом на основе ежечасных данных о уровнях воды на водпостах Опасное и Керчь в 2003 году. Анализировались только штормовые повышения уровня в 2003 году, таких выявлено 140 дней. Штормовыми считались те дни, в течение которых за суточный период наблюдалось хотя бы разовое повышение уровня до высоты 500 см над нулем графика и понижение до 460 см. Это высоты уровней 10% и 90% обеспеченности. Статистический объем материала вполне достаточный для получения надежных выводов.

В течение 2003 года наблюдалось 263 случая с положительной продольной денивеляцией и 247 случаев с отрицательной денивеляцией, это составляет соответственно 51.1% и 47.6% анализируемого времени года. Средняя длительность положительных крупномасштабных внутрисуточных денивеляций (КВД) 6,61 часа, отрицательных – 6,28. Среднее квадратическое отклонение в обоих случаях составляет $\pm 4,15$ часа. На их фоне формируются мелкомасштабные внутрисуточные денивеляции (МВД): положительные денивеляции средней длительностью - 2.01 часа, отрицательные - 1.90 часа.

Процесс развития КВД и МВД медленнее на 5-6% их затухания.

Мелкомасштабные внутрисуточные денивеляции выделялись из графиков суточного хода уровня с применением высокочастотного фильтра (использовался полином шестой степени).

Крупномасштабные внутрисуточные денивеляции имеют антимодальный частотный график (рис.3 а), формируются, по-видимому, бризовыми ветрами. Наибольшие повторяемости КВД наблюдаются между 20 и 04 часами суток.

Мелкомасштабные внутрисуточные денивеляции формируются, вероятно, сейшевыми явлениями и изменчивостью во времени приземного ветра, его направления

и силы. Раздельный частотный анализ положительных и отрицательных МВД и КВД показан на рис. 3 б.

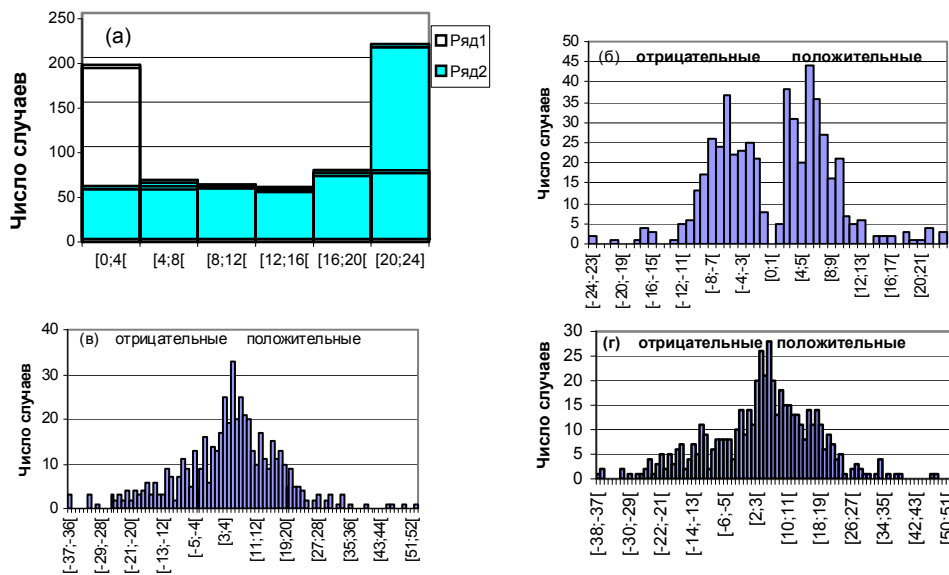


Рис. 3. Частотные характеристики продольных крупномасштабных внутрисуточных денивелиаций урвенной поверхности в Керченском проливе между водпостами Керчь и Опасное в штормовые периоды 2003 года.

а) - Гистограмма часов суток начала (ряд 1) и окончания (ряд 2) крупномасштабных внутрисуточных денивелиаций.

б) - Гистограмма числа случаев положительных и отрицательных изменений длительности фаз крупномасштабных внутрисуточных денивелиаций.

в) - Гистограмма разности уровней между водпостами, в начале фазы денивелиации.

г) - Гистограмма разности уровней между водпостами в конце фазы денивелиации.

Размеры продольных крупномасштабных внутрисуточных денивелиаций, в пределах среднеквадратического отклонения, равны:

- положительных 10.87 ± 8.33 см;

- отрицательных 11.44 ± 8.47 см.

Амплитуды мелкомасштабных внутрисуточных денивелиаций в 68% всех случаев составляют величины:

-положительные 3.28 ± 2.05 см,

-отрицательные 3.33 ± 2.01 см.

На фоне одной крупномасштабной внутрисуточной денивелиации формируются три-четыре мелкомасштабные внутрисуточные денивелиации.

Поперечные перекосы урвенной поверхности пролива по данным двухсрочных наблюдений на водпостах Тамань и Керчь за 06 и 18 часов, а также продольные за эти же сроки, показаны на рис. 4. Положительному перекосу соответствует превышение уровня в Керчи над уровнем в Тамани.

В дни штормовой активности 2003 года преобладали положительные поперечные перекосы. Так же как и в случаях продольных денивелиаций, поперечные перекосы по данным двухсрочных урвенных наблюдений существенно определяемых путём математического моделирования: денивелиации по урвенным наблюдениям часто достигают ± 20 см, вычисленные путём математического моделирования ± 6 см.

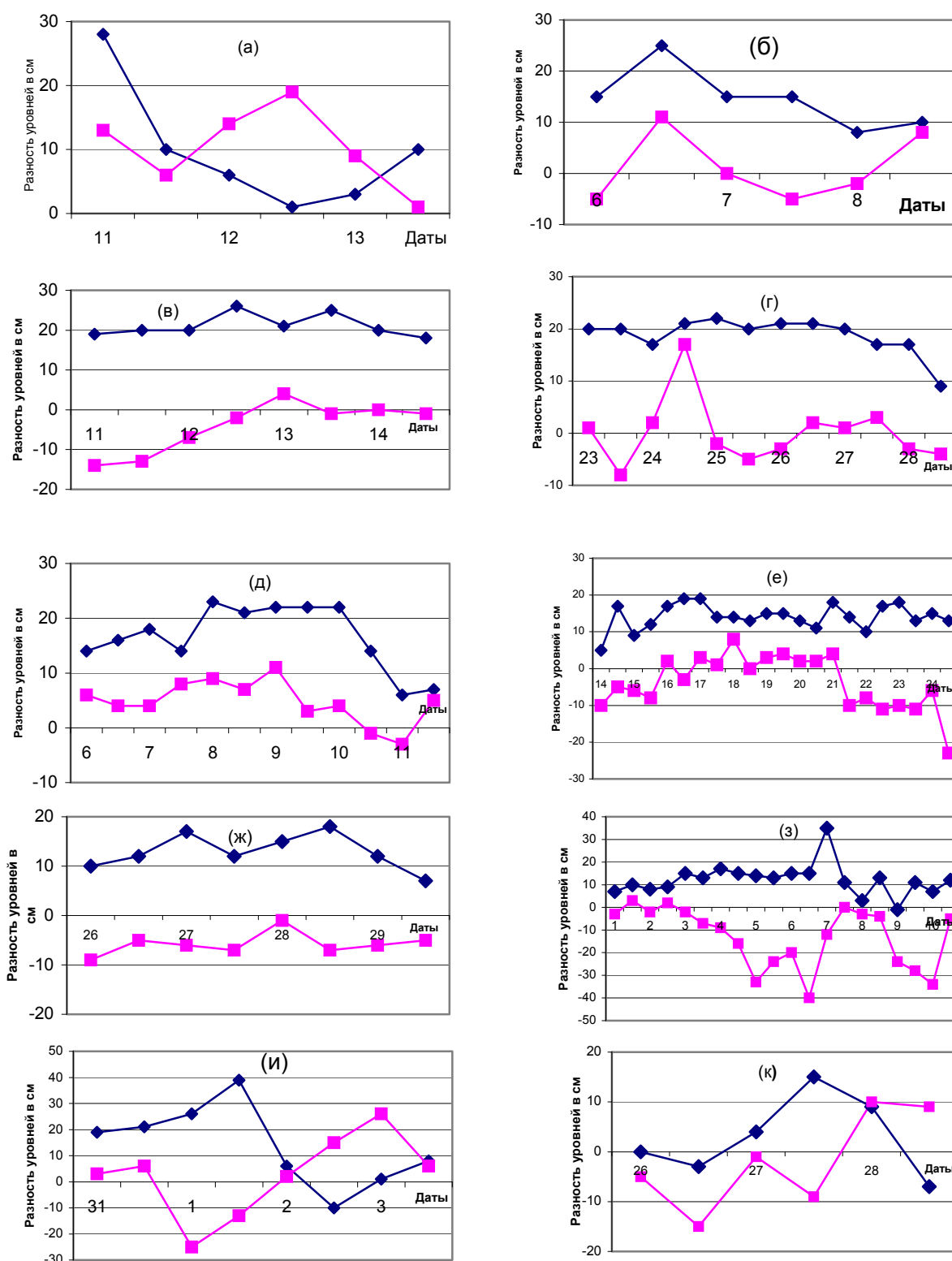


Рис.4. Продольные и поперечные денивеляции уровенной поверхности в Керченском проливе между водпостами Керчь и Опасное, а также Керчь и Тамань в штормовые периоды 2003 года.

■ - водпосты Опасное и Керчь; ◆ - водпосты Тамань и Керчь;

Штормовой период: а) -11-13.01.03; б)- 06 - 08 01.03; в)- 11-14.08.03; г)- 23-28 09.03; д)- 6 -11 09.03; е)- 14-24 09.03; ж)- 26 - 29 09.03; з)- 01-10 10.03; и)- 31.01 -03.02.03; к).- 26 - 28 10.03.

При отрицательных продольных денивеляциях формируются положительные поперечные денивеляции, что соответствует влиянию силы Кориолиса. Это является неординарным фактом, поскольку известно, что сила Кориолиса в условиях мелкого моря может быть на порядок меньше силы трения о морское дно. Объясняется это, вероятно, значительными скоростями течений возникающими вследствие поперечных денивеляций.

Денивеляции уровенной поверхности лимитируют возможность прохождения судов по морскому каналу, а также определяют заносимость этих каналов взвешенными наносами, особенно мелкодисперсной их составляющей.

Мелкомасштабные денивеляции увеличивают длительность нахождения твердой частицы над прорезью канала. Движение частицы в горизонтальном направлении под воздействием МВД имеет короткопериодный возвратно-поступательный характер. Если время опускания частицы на дно не превышает времени пересечения частицей расстояния от одной бровки канала до другой (ширины канала), с ее переносной скоростью соответствующей составляющей силе тяжести параллельной уклону КВД и возвратно-поступательной скоростью, то частица окажется на дне, составит процесс аккумуляции наносов на морское дно и приведёт к уменьшению проходных глубин КЕК.

- Выводы.** 1. Проходные глубины в КЕК в большей степени лимитируются в основном изменчивостью уровней в северной узкости Керченского пролива; в течение 10% годового периода глубины в КЕК уменьшаются на 0,2 м КВД и на 0,1 м МВД.
2. Продольный уклон водной поверхности от Азовского моря к Черному в Керченском проливе, вследствие годовых различий водно-балансовых составляющих Черного и Азовского морей, равен 0,00000122.
3. Продольные Крупномасштабные положительные внутрисуточные денивеляции в проливе, средней длительности 6.61 часа, имеют уклон водной поверхности 0,00000906; отрицательные, средней длительностью 6,28 часа, - 0,00000953. Продольные двухчасовые МВД, характеризуются переменным уклоном, их средняя величина $\pm 0,00000550$.
4. Заносимость КЕК определяется преимущественно имеющимися в проливе поперечными денивеляциями водной поверхности, поскольку вызывают компенсационные течения неблагоприятные по отношению к трассе КЕК.

Список литературы

1. Андрианова О.Р., Белевич Р.Р., Синна М.И. Оценка характера колебаний суши на побережье Одесского региона // Экологические проблемы Чёрного моря. – Одесса: ОЦНТНТ, 2004, с 6-12.
2. Альтман Э.Н. Об изменчивости уровня моря уклона водной поверхности в Керченском проливе 4 Сб. работ БГМО. ЧЯН. – 1966 – Вып. 4.- с.49-74.
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 4. Чёрное море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. – СП. Б.: Гидрометеоиздат, 1991. – с. 291- 324.
4. Гучковенко Ю. С., Илюшин В. Я., Коморин В. Н., Моделирование транспорта наносов в Керченском проливе /Метеорологія, Кліматологія та гідрологія/ 2005.- ВИП.49.С. 446-459.

Особливості змінення рівня та денівеляції водної поверхні у Керченській протоці, котрі впливають на проходження судів по морському каналу.

Ілюшин В. Я., Оліфіренко М. О.

У статті розглядаються ознаки та кількісні характеристики змінення рівня у Керченській протоці. Показано, що рівень моря протягом останніх 60 років збільшується з швидкістю 0,33 см/рік. Аналізуються внутрішньодобові денівеляції: поздовжні та поперечні; великомаштабні внутрішньодобові денівеляції, розміром $6,5 \pm 4,1$ години, та дрібномаштабні двогодинні, та їх вплив на прохідні глибини в Керч-Єнікальському каналі.

Ключові слова: прохідні глибини, прісна складова, глобальне потепління, багаторічний хід рівнів, поздовжні та поперечні денівеляції, амплітуди денівеляцій, довгостроковість внутрішньодобових денівеляцій.

Features of changeability of level and denivelations water surface in the Kerch channel, influencing on ability travel to cross-country of shipping on a maritime channel.

Pushin V., Olifirenko N.

In the article is examined reasons and specification of quantity changeability of level in the Kerch channel. It is shown that sea level during the last 60 years rises at a speed of 0,33 cm/year. It is analysed inwardly day's denivelations: longitudinal and transversal; large-scale inwardly-day's denivelations, by the duration 6.5 ± 4.1 hours, and finely scale two sentinels and their influence on communicating depths in the Kerch-Enykalsky channel.

Keywords: through passage depths, stale component, global warming, long-term course of levels, longitudinal and cross denivelations, amplitud denivelations, duration inside - daily denivelations.