

КВАДРАНТНЫЙ АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИИ МОРСКОГО ДНА

Квадрантный анализ деформации рассматривается как неотъемлемая часть статистического метода, изложенного в предыдущих статьях автора. Показана эффективность этого метода при анализе отдельных сторон механизма деформации морского дна: статистической однородности, синхронности процессов аккумуляции и размыва морского дна в различных масштабах времени и частях экспериментального участка. Дана оценка целесообразности математического моделирования процесса деформации.

Ключевые слова: *квадрантный анализ, деформация, синхронность, статистическая однородность процесса, масштаб процесса.*

Введение. При математическом моделировании процесса деформации морского дна коэффициенты гидро - и литодинамических уравнений в ходе их решения полагаются неизменными. В других обстоятельствах природный процесс и его отображение в математических уравнениях будут неадекватны друг другу и удовлетворительных результатов о процессе, путем математического моделирования, получить невозможно; можно воспроизвести только самые общие его черты. Для хорошей сходимости натуре и результатов расчета необходимо выявить пространственные и временные границы адекватности природного процесса и описывающих его математических уравнений. Прежде всего, требуется подтвердить статистическую однородность процессов аккумуляции и размыва дна в регионе, составляющих различные стороны механизма деформации дна.

Исходные данные. Деформация морского дна оценивалась по данным промера на экспериментальном участке Керченской бухты размером $5.8 \times 0.4 \text{ км}^2$, включающем подходной канал Керченского морского торгового порта (КМТП), его откосы, а также правое и левое забровочные пространства.

Метод исследования. Для рассмотрения картины деформации морского дна применяется географический метод и квадрантный анализ, как неотъемлемая часть статистического метода (изложенного в предыдущих статьях автора [1,2,3]). Квадрантный анализ позволяет легко выделять типы деформаций, сравнивать интенсивности протекания процессов при осажении наносов на морское дно или их взвешивание, т.е. анализировать разные стороны механизма деформаций.

Результаты исследования. Анализ характеристик деформации морского дна и их статистической однородности показал, что этот процесс во времени в морском канале и на всей площади охваченной промером может протекать синхронно и асинхронно. Одного типа процессы на разных участках исследуемой акватории могут наблюдаться в следующих основных сочетаниях:

- накопление наносов преобладает одновременно и на дне канала и на всей прилегающей территории промера;
- эрозия морского дна одновременно превышает аккумуляцию и в канале и на всей прилегающей территории промера.

В этих случаях на всей территории промера наблюдается совпадение по времени одного и того же механизма деформации морского дна. Возможны также другие варианты сочетаний типов процесса, асинхронные:

- накопление наносов на морском дне канала и на всем прилегающем участке промера протекают в противофазе;

- в противофазе могут наблюдаться также процессы размыва морского дна в канале и на всем участке промера.

В последних двух случаях процесс размыва морского дна, или накопление наносов на нем на разных участках, протекают асинхронно. Внутри канала взаимодействие вод и поверхностного слоя грунтов дна отличается от их взаимодействия в верхней забровочной толще воды всего участка промера, бухты.

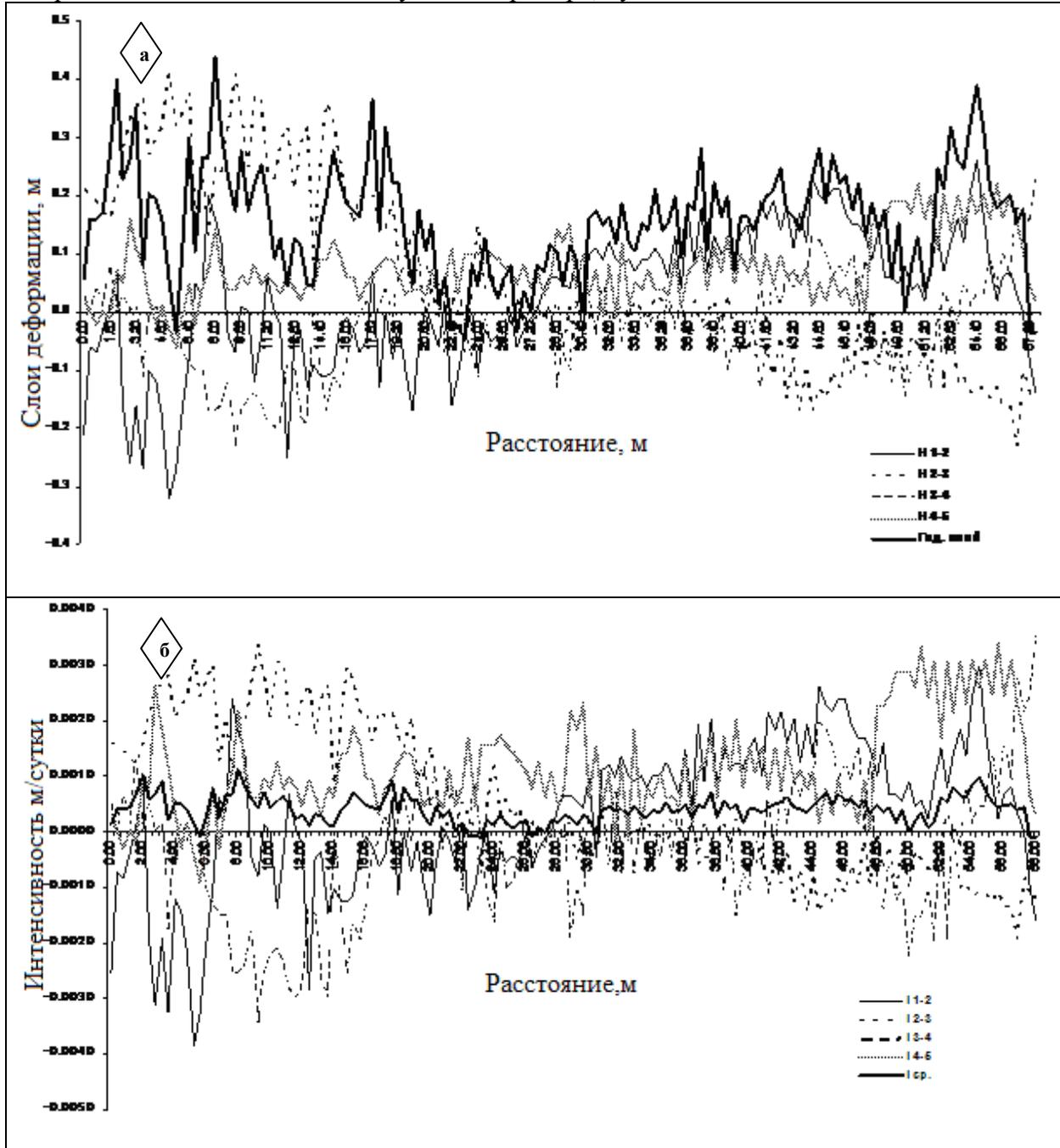


Рис.1 - Графики изменения в подходном канале КМТП усредненных в поперечном направлении показателей деформации: их величин за сентябрь 2001г. – август 2002г (годовых) и за периоды между “сезонными” промерами: сентябрь-ноябрь (1-2), декабрь-март (2-3), апрель-май (3-4) и июнь-август (4-5): **а** – “сезонных” и годовых слоев деформаций (Δh , м), **б** - годовых и “сезонных” интенсивностей деформаций (i , м/сут).

При первом и втором типах гидро - и литодинамика механизма деформации наносов единая для всего экспериментального участка. Такая ситуация возможна когда вся территория деформации морского дна охвачена одним и тем же крупномасштабным процессом. В третьем и четвертом случаях общий результат взаимодействия водной среды и грунтов дна на всей территории асинхронный, состоит из локально-однородных участков. В последнем случае скорости течений в канале превышают ее размывающие величины. В предыдущем же, наоборот, в канале процессы аккумуляции наносов интенсивнее эрозионных, вероятно, из-за малых скоростей течений; и это в то время, когда на всей контролируемой промером территории эрозия морского дна преобладает над аккумуляцией. Гидродинамику толщи вод экспериментального участка, вероятно, следует рассматривать по схеме двух ячеек. Верхний слой водной акватории бухты следует анализировать отдельно от более глубокой части (в канале). В первом слое, напряжение трения на свободной водной поверхности должно рассматриваться по типу “вода-воздух”, на нижней как “вода-вода”. На верхней границе второй ячейки, в канале, касательное напряжение на поверхности раздела водных сред по типу “вода-вода”, а на нижней как касательное напряжение трения на дне. При этом необходимо учитывать, что гранулометрический состав грунтов на поверхности морского дна, в канале и забровочных пространствах неодинаковый: в канале и на забровочных пространствах, вследствие неодинаковой гидродинамики водных сред, этот состав, вероятно, неоднородный по крупности наносов, сортированности, модальной фракции и др. их свойствам.

Закономерности процесса синхронности и асинхронности деформации морского дна на экспериментальном участке Керченской бухты хорошо просматриваются по графикам, приведенным на рис. 1а, б.

Прояснить описанные ситуации эффективнее с помощью известного в математике квадрантного анализа, в данном случае как составной части статистического метода оценки деформации морского дна, обоснованного в [1]. В этом его значении применение метода показано на рис. 2, 3.

Различия между двумя рисунками обусловлены, в первую очередь, временными масштабами оценок интегральных характеристик деформации морского дна. Это хорошо видно, когда эти оценки нанесены на графики в соответствии с их координатами, т.е. показаны по квадрантам (координатным углам), по типам деформаций.

В табл.1 типы деформации морского дна в канале и на всей площади промера в зависимости от координатных углов обозначены: знак плюс (+) аккумуляция наносов, минус (-) – размыв дна, эрозия.

Таблица 1 - Особенности деформации в канале и на всей площади промера в зависимости от координатных углов.

Координатные углы (квадранты)	I	II	III	IV
Абсцисса	+	-	-	+
Ордината	+	+	-	-

При одинаковой интенсивности процессов уравнение связи деформации на дне канала и на всей территории представлено прямой линией проходящей под углом 45° через начало координат. По разбросу точек лежащих выше или ниже этой прямой

(рис.2, 3) можно судить о преобладании интенсивности деформации в канале или на всей контролируемой промером территории. Зависимости между интенсивностями деформации, показанные в поле каждого графика уравнениями, наоборот, свидетельствуют о их незначительной пригодности для анализа. Все-таки, по этим графикам заметно, что интенсивность деформации дна в канале осенью и зимой значительно выше, чем на прилегающей ему территории Керченской бухты.

На рис.2 отображены сезонные связи интенсивности деформации дна в подходном канале в зависимости от интенсивности деформации на общей площади промера глубин, с учетом забровочных пространств и откосов канала. На рис.3 изображена картина для годового периода. По оси абсцисс на рисунках показана интенсивность деформации на всей площади промера, по оси ординат – интенсивность деформации дна наблюдаемая в подходном канале. В I и III координатных углах процессы деформации морского дна синхронные, во II и IV – асинхронные. В первом координатном углу лежат точки соответствующие накоплению, аккумуляции наносов на дне морского канала и на всей контролируемой промером территории; в третьем – точки соответствуют размыву, эрозии морского дна. Во втором и четвертом координатных углах расположены точки соответствующие асинхронным процессам, т.е. одновременному размыву и аккумуляции в пространстве, в разных частях экспериментального участка.

Таблица 2 - Оценки типов деформации морского дна в канале и на всей площади промера, (в % от общего числа случаев), в районе подходного канала КМТП по сезонам 2001-2002 гг. и за годовой цикл

Участок морского дна	Синхронные процессы		Асинхронные процессы		Сумма всех деформаций
	А(ПК)- А(ПП)	Р(ПК)- Р(ПП)	А(ПК)- Р(ПП)	Р(ПК)- А(ПП)	
Осень 2001 г.					
Подходной канал (ПК)	43	9	13	0	65
Вся площадь промера (ПП)	12	6	12	5	35
Зима 2001 - 2002 гг.					
Подходной канал (ПК)	40	5	23	0	68
Вся площадь промера (ПП)	16	5	11	0	32
Весна 2002 г.					
Подходной канал (ПК)	20	21	8	5	54
Вся площадь промера (ПП)	11	20	12	3	46
Лето 2002 г.					
Подходной канал (ПК)	29	11	5	2	47
Вся площадь промера (ПП)	36	17	0	0	53
Оценка превышения типов деформации (интенсивностей, %), на отдельных участках за годовой цикл					
Подходной канал (ПК)	79	1	3	0	83
Вся площадь промера (ПП)	16	1	0	0	17

Примечание: А – процесс аккумуляции; Р – размыв морского дна (эрозия)

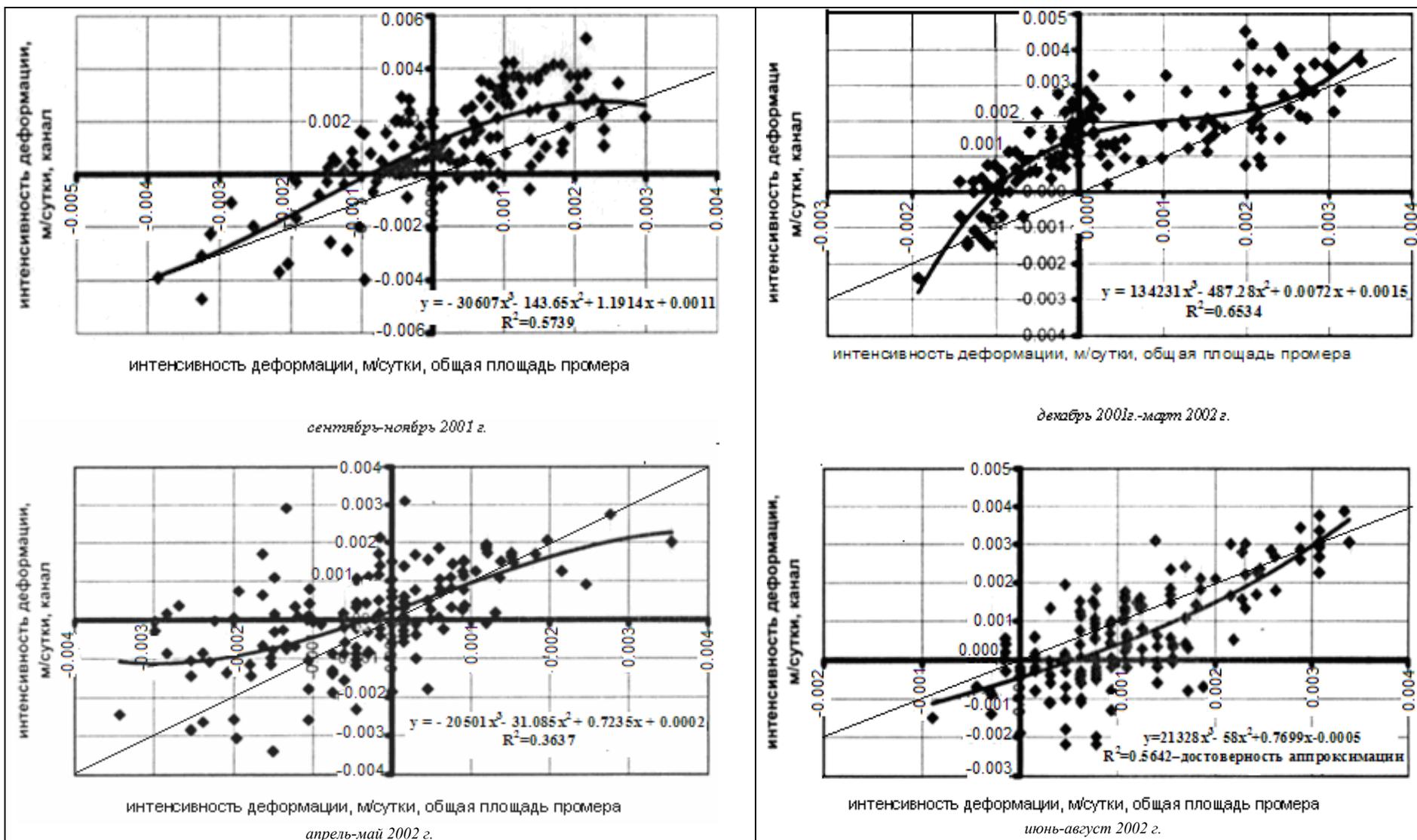


Рис. 2 - Графики связи интенсивности деформации дна в подходном канале КМТП и интенсивности деформации дна на общей площади промера глубин, с учетом забровочных пространств и откосов канала, по "сезонам".

Примечание: — — уравнение связи деформаций; — — прямая линия, проходящая под углом 45°

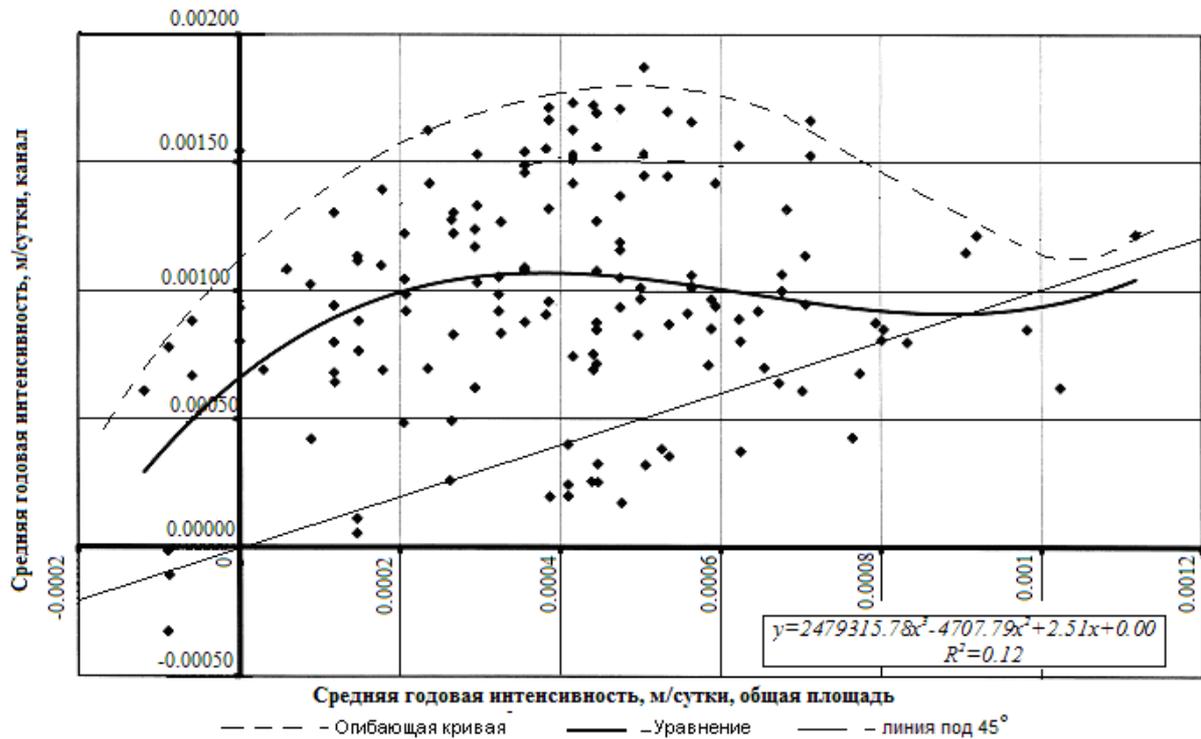


Рис. 3 – График связи интенсивности деформации дна в подходном канале КМТП и интенсивности деформации дна на общей площади промера глубин, с учетом забровочных пространств и откосов канала, за годовой период (сентябрь 2001 г. – август 2002 г.)

Данные табл.2 свидетельствуют о том, что во все сезоны годового цикла синхронные процессы деформации наблюдаются чаще асинхронных. Наиболее часто синхронные процессы размыва-намыва встречаются осенью, зимой и летом. Из общего числа таких случаев аккумуляционные процессы преобладают в осенний и зимний сезоны. При этом интенсивность деформаций в канале почти всегда выше средней интенсивности на общей территории промера, включающей канал, его откосы, левое и правое забровочные пространства. Превышение интенсивностей деформаций в канале, по сравнению с интенсивностью процессов деформации на всей территории охваченной промером, в 2 раза чаще встречается осенью и зимой и в 1.2 раза чаще весной. В летний период отмечено только два случая, когда интенсивность аккумуляции в канале меньше, чем на всей территории. Этот редкий случай, вероятно, связан с особыми, редко повторяющимися обстоятельствами взаимного влияния гидро- и литодинамических процессов.

В годовом цикле синхронные процессы составляют 97% всех случаев. Интенсивность процессов деформации в канале превышает интенсивность аналогичных процессов на всей территории в 83% всех случаев (см. рис.3 и табл. 2), т.е. практически все точки в поле рисунка лежат в первом координатном углу и подавляющая их часть - выше прямой, проходящей под углом 45° из начала координат.

Наибольшая интенсивность накопления наносов в годовом цикле на отдельных участках в канале равна 0.00175 м/сут, (верхняя условная линия, огибающая точки кривой на рис.3), что соответствует годовому слою осадконакопления 0.64 м. Средняя интенсивность накопления наносов в канале равна 0.00100 м/сут; при этом средний слой наносов равен 0.365 м. Этот средний слой накопления наносов в прорези канала

численно соответствует максимальному годовому слою наносов на отдельных участках всей площади промера. Максимальные слои накопления наносов в канале определяют критические глубины при судоходстве, а средние слои необходимый объем ремонтного землечерпания.

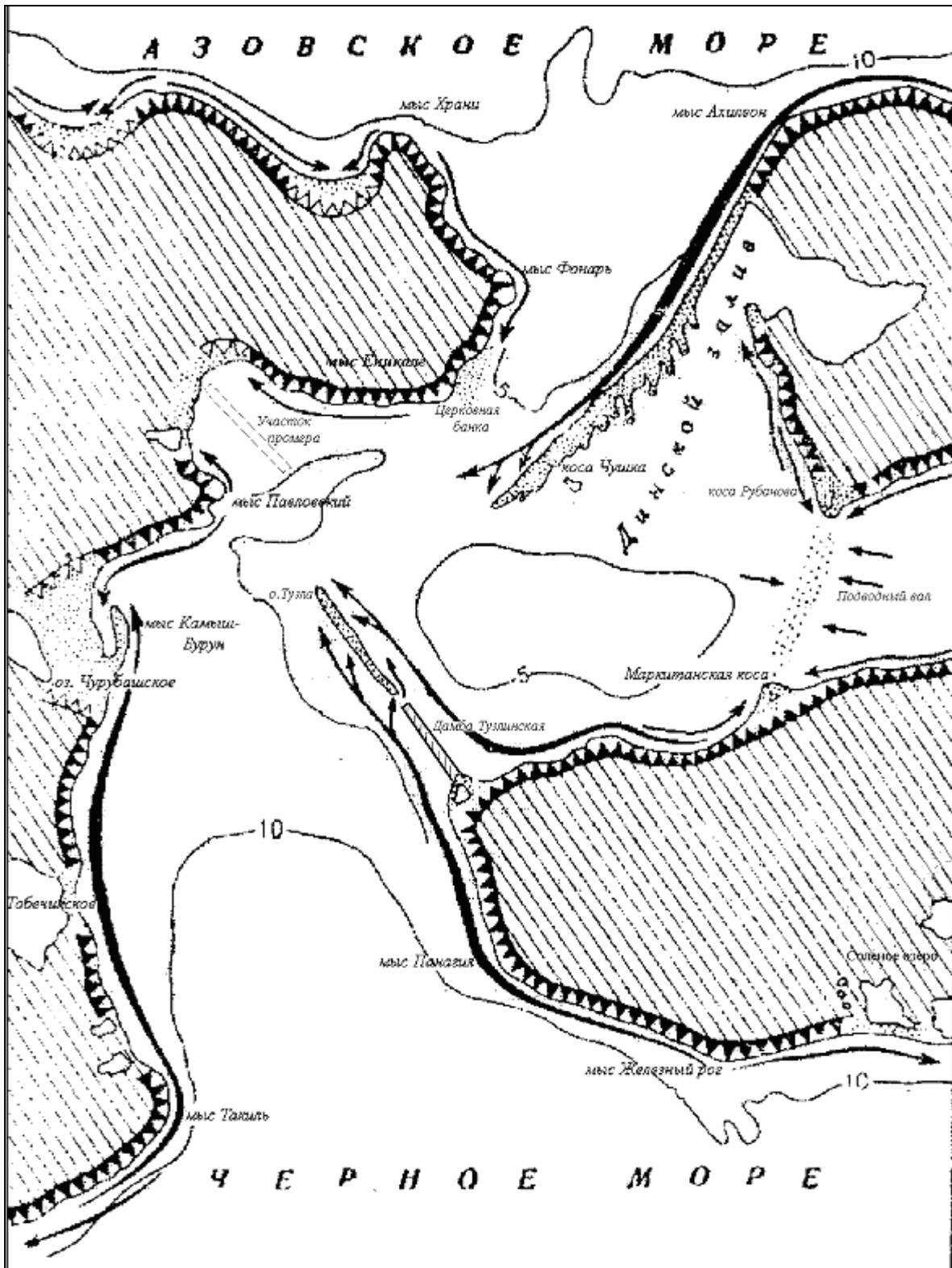


Рис.4 - Карта-схема движения наносов в Керченском проливе, достигающих Керченской бухты.

Сезонные составляющие максимальной интенсивности накопления наносов на дне канала в 2.3 раза превышают такую же характеристику годового периода.

Последний факт свидетельствует об уменьшении интенсивности аккумуляции наносов в канале с возрастанием временного масштаба процесса деформации. Накапливающиеся в течение годового периода наносы на дне моря периодически подвергаются эрозии (размыву), поэтому, в итоге, интенсивность аккумуляции наносов на дне моря бухты за более длительный период всегда оказывается величиной меньшей, чем за более короткий отрезок времени.

Абразия берегов бухты в настоящее время незначительная. Рекогносцировочное обследование береговой зоны примыкающей к урезу показало, что большая ее часть укреплена бетоном.

Постоянное превышение аккумуляционных процессов по сравнению с эрозионными на экспериментальном участке в Керченской бухте свидетельствует о том, что источники наносов находятся вне ее водосборной площади и акватории бухты. Бухта является областью разгрузки мутьевых потоков доставляющих сюда наносы. Мутьевые потоки проникают в Керченскую бухту со стороны мелководного Динского залива, вследствие интенсивной абразии его берегов, из Азовского моря и с черноморским потоком наносов вдоль украинского и российского берегов (рис.4).

Ежегодный объем грунтов, вынимаемых из судоходного канала в Керченском проливе, достигает 1 млн.т. Это является частью твердого стока р. Кубань (1.2 млн.т), поступающего в Керченский пролив из Азовского моря, абразии западных берегов пролива (10 тыс.т.) и 30 тыс.т. с восточной части береговой зоны пролива. Некоторый вклад наносов аккумулируемых в морских каналах, – есть следствие эрозии морского дна при воздействии на грунты размывающих скоростей: орбитальных, при ветровом волнении; градиентных, при денудации водной поверхности и пр. В литературных источниках обсуждается также возможность поступления мелкодисперсных наносов в судоходные каналы, в результате взмучивания наносов при траловом лове рыбы.

Выводы

1. В результате исследования показано, что по данным промера в Керченской бухте квадрантный анализ, в сравнении с географическим методом, позволяет легко выделять типы деформаций, сравнивать интенсивности протекания процессов при осадении наносов на морское дно или их взвешивании в различных частях экспериментального участка, включающем забровочные пространства морского канала, его откосы, дно канала.

2. На основе квадрантного анализа деформации морского дна в бухте получили подтверждение следующие генетически однородные типы деформаций (выявленные ранее, на основе анализа графиков изменчивости характеристик деформации во времени):

- накопление наносов преобладает одновременно и на дне канала и на всей территории промера;
- эрозия морского дна в одно и тоже время превышает аккумуляцию в канале и на всем экспериментальном участке.

В обоих случаях наблюдается совпадение по времени и пространству типа деформации на всей территории промера. Возможны также другие варианты сочетаний типов процесса, асинхронные:

- накоплення наносів на морському дні каналу і на всьому участку промера протікають в протифазі;

- в протифазі можуть бути також процеси розмиву морського дна в каналі і на всьому участку промера.

3. В роковому циклі синхронні процеси складають 97% всіх випадків. Інтенсивність процесів деформації в каналі перевищує інтенсивність аналогічних процесів на всій території в 83% всіх випадків. На сезонних масштабах процес розмиву і аккумуляції в каналі і на всій території експериментального участка в вірогідному сенсі частіше не однорідні, коефіцієнт кореляції між процесами суттєвий, змінюється в межах 0.60-0.81, а на роковому проміжку часу коефіцієнт кореляції дорівнює 0.36, т.е. детермінована складова процесу деформації в цьому випадку суттєво менше.

4. Найбільша інтенсивність накоплення наносів в роковому циклі на окремих участках в каналі дорівнює 0.00175 м/сут, що відповідає роковому шару 0.64м. Сезонні складові максимальної інтенсивності накоплення наносів на дні каналу в 2.3 рази перевищують таку ж характеристику за роковий період.

5. В зв'язі з вищеизложеному, аналітичне математичне моделювання процесу деформації з постійними коефіцієнтами рівнянь, для всієї акваторії бухти, можна здійснювати тільки на проміжках часу перевищуючих рокові. Отримання задовільних результатів моделювання на сезонних проміжках можливо тільки при уточненні крайових умов окремо для кожного сезону.

Список літератури

1. Ілюшин В.Я. Статистична оцінка бюджету наносів участка Керченської бухти і заносимості підходного каналу Керченського морського торговельного порту (КМТП) //Український гідрометеорологічний журнал -2008. -№3.-С. 213-220.
2. Ілюшин В.Я. Статистичний метод оцінки балансу наносів і деформації морського дна. //Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції 17-18 квітня 2008 р. Екологія міст та рекреаційних зон. -Одеса, 2008. С.51-56.
3. Ілюшин В.Я. Статистичний метод оцінки наносів в районі Керченського проливу. //Вісник Одеського державного екологічного університету. –Одеса, .2008.-№6. С.206-216.

Квадрантний аналіз деформації морського дна. В.Я.Ілюшин

Квадрантний аналіз деформації розглядається як невід'ємна частина статистичного методу, викладеного у попередніх статтях автора. Показана ефективність цього методу при аналізі окремих сторін механізму деформації морського дна: статистичної однорідності, синхронності процесів аккумуляції і розмиву морського дна в різних масштабах часу і частинах експериментальної ділянки. Дана оцінка можливості математичного моделювання процесу деформації.

Ключові слова: квадрантний аналіз, деформація, синхронність, статистична однорідність процесу, масштаб процесу.

The quadrant analysis of sea-bottom deformation. V.Ya.Ilyushin

The quadrant analysis of the deformation is considered as inalienable part of the statistical method expounded in the author's previous articles. Efficiency of this method at the analysis of certain sides of sea-bottom deformation mechanism is shown: statistical homogeneity, synchronism of sea-bottom accumulation and wash-out processes in various time scales and parts of the experimental area. Estimation of appropriateness of mathematical modelling of the deformation process is given.

Keywords: quadrant analysis, deformation, synchronism, statistical homogeneity of the process, scale of the process.