

Б.Н. 1300

**ТБИЛИССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

На правах рукописи

УДК 551.468+551.482.6

АБДУЛЛАЕВ ИСМИХАН ВЕЛИ оглы

**РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В УСТЬЯХ РЕК ЗАПАДНОГО
ПОБЕРЕЖЬЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ**

11.00.07—гидрология суши, водные ресурсы

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ТБИЛИСИ—1983

Работа выполнена в Закавказском региональном научно-исследовательском институте Госкомгидромета (Бакинское отделение).

Научные руководители — член-корр. АН СССР, проф.
Г. Г. Сванидзе,
доктор географических наук
с. н. с. **Б. С. Штейнман.**

Официальные оппоненты — доктор технических наук,
П. А. Шатберашвили,
кандидат географических наук,
А. А. Алиев.

Ведущая организация — Азербайджанский государственный университет (кафедра гидрометеорологии).

Защита диссертации состоится «23» марта 1984 г.
в 15 часов на заседании Специализированного совета
К 057.03.13 в Тбилисском государственном университете по
адресу: 3800... проспект Чавчавадзе, 1, ТГУ, ге-
ографо-геол.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тби-
лисского государственного университета.

Автореферат

84 г.

Учен
Специализи
кандидат ге

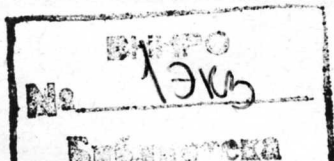
И АДЗЕ.

ОБЩИЙ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Использование природных ресурсов устьевых областей непрерывно возрастает. Связано это с тем, что устье, являясь звеном контактной зоны река-море, используется многими отраслями народного хозяйства. Особенно интенсивно ресурсы устьевых областей используются в западно-каспийском регионе. Устья крупных рек (Терек, Сулак, Самур, Кура) представляют собой районы разведения и промысла ценных пород рыб. Велико и сельскохозяйственное использование их земельных массивов, особенно в дельте Терека. В устье Куры интенсивно судоходство. Все это выдвигает на первый план необходимость изучения закономерностей формирования дельт и их изменений под влиянием непрерывно возрастающих антропогенных факторов. Русловые процессы в устьях рек и процессы дельтообразования изучаются сравнительно недавно, по существу, в последние три десятка лет. За этот период проведен ряд фундаментальных исследований, заложивших основы теории русловых процессов в устьях рек (С.С.Байдин, В.Н.Михайлов, М.М.Рогов и др.).

Теория русловых процессов в устьях рек использует многие положения гидроморфологической теории руслового процесса (Н.Е.Кондратьев, И.В.Попов) с учетом влияния специфических устьевых факторов. В общей теории руслового процесса признается большая роль турбулентной структуры потоков в формировании рельефа русла. Независимо на трудности, вытекающие из совместного рассмотрения различных русловых форм и макротурбулентности, признано, что

они неизбежны и что любое приближение к пониманию связей русловых форм с турбулентностью следует рассматривать как полезный шаг в развитии теории руслового процесса.



В то же время в теории русловых процессов в устьях рек макротурбулентность не рассматривается.

Цель и задачи исследований. Основной целью работы является установление влияния особенностей турбулентности потоков, наблюдаемых в устьях рек, на русловые процессы в дельтах и динамику их морского края.

С основной целью работы связано решение следующих задач:

1. Исследование транспорта донных наносов в водотоках дельт как содержания руслового процесса.
2. Изучение обратимых русловых деформаций как внешнего проявления перестроения наносов.
3. Исследование необратимых плановых и высотных переформирований русловой сети дельт.
4. Установление роли турбулентности потоков в динамике морского края дельт.
5. Изучение влияния антропогенных факторов на русловые процессы в устьях рек.

Методика исследований и исходные данные. Методологической основой исследований являлись теория стадийности и цикличности процессов дельтообразования и гидроморфологическая теория руслового процесса.

Турбулентность естественных потоков обладает особенностями, которые ограничивают возможность использования для теоретического анализа наиболее развитых в настоящее время направлений общей теории турбулентности. Связано это с тем, что в русловых потоках турбулентные структуры обладают большей стабильностью, по сравнению с тем, что обычно принимается в теории турбулентности. Поэтому в работе предпочтение отдано экспериментальным исследованиям, проводившимся автором в устьях рек Терек, Сулак, Самур и Кура

в период с 1975 по 1981 год. Кроме того, использованы материалы русловых наблюдений, проводившихся Азерб.УГКС с 1960 года. Для фиксации турбулентности использованы многокомпонентные тензодатчики.

Научная новизна работы. Путем модификации объемного метода с применением подводной радиометрии и гидроакустики определен сток донных наносов в устьях исследуемых рек. Исследованы условия применимости метода расчета расхода донных наносов с учетом процесса переноса энергии в турбулентном потоке.

Изучен характер обратимых высотных деформаций русел водотоков дельт и показана роль турбулентности.

Исследованы необратимые высотные переформирования водотоков дельт с учетом антропогенных и естественных факторов.

Впервые показано влияние турбулентности однонаправленных, волновых и смешанных потоков на динамику морского края дельт.

Достоверность научных положений обоснована широкой практикой использования гидроморфологической теории руслового процесса и общей теории формирования устьевой области реки, большим картографическим и экспериментальным материалом, а также многолетними данными русловых наблюдений в устьевых областях исследуемых рек.

Практическая значимость работы заключается в использовании результатов при проектировании противопаводковых мероприятий в низовьях р.р. Куры и Терека.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на ряде всесоюзных и республиканских совещаний и конференций, на научных семинарах лаборатории устьев рек ГОИНа, лаборатории гидрологических исследований БФ ВНИИ Водгео, БО ЗаКНИИ Госкомгидромета.

Публикация. Основные результаты исследования отражены в 17 опубликованных работах.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и выводов; она изложена на 144 страницах машинописного текста, содержит 10 таблиц, 45 рисунков. Список литературы включает 108 наименований, в том числе 10 работ зарубежных авторов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложена актуальность исследований, поставлены цель и задачи работы, определена научная и практическая значимость изучения русловых процессов в устьях рек западного побережья Каспийского моря с учетом естественных факторов и антропогенных воздействий.

Глава I. Состояние изученности вопроса. Проведен анализ теоретических исследований особенностей русловых процессов в устьях рек и влияния на них естественных и антропогенных факторов, а также натурных и экспериментальных наблюдений в регионе. В рамках изучения русловых процессов в устьях основных рек западного побережья Каспийского моря накоплен обширный натуральный материал, особенно за период 1960-80 г.г. Исследование русловых процессов в устьях рек Терек, Сулак, Самур и Кура проводил ряд организаций: ЗаКНИИ Госкомгидромета, Азерб.УТКС, МГУ, ГОИН, ИВПАН СССР и др. Наиболее полные и систематические наблюдения над русловыми процессами выполнены БО ЗаКНИИ и Аз.УТКС, которыми на протяжении 20 лет на эталонных участках производились русловые наблюдения по методике, разработанной в ГГИ. Большое внимание при этом было уделено процессу транспорта донных наносов как одному из основных факторов руслового процесса. Выполнен широкий комплекс наблюдений по формированию пионерных дельт. Вместе с тем, как отмечалось, роль турбулентности потоков в устьях рек на формирование устьевых

рельефа практически не исследовалась.

Глава 2. Обратимые высотные деформации русла. Обратимые высотные деформации русел водотоков дельт являются внешним проявлением движения донных наносов, которое реализуется на трех основных структурных уровнях и в бесструктурной фазе. Амплитуда обратимых высотных деформаций увеличивается с возрастанием расходов донных наносов, которые чаще всего определяются с применением различных расчетных формул, полученных либо теоретически, либо из эксперимента.

Среди отмеченных расчетных методов имеется группа формул, учитывающая турбулентные характеристики потока: Эйнштейна, Великанова, Гришанина, Калининске, Россинского, Любомировой и др. На основе схемы процесса обмена и потерь энергии в турбулентном потоке Б.А.Бахметева, К.А.Ибад-заде предложена формула расхода донных наносов в виде

$$G = \frac{\alpha}{f} \frac{1}{1 + \gamma/\gamma_n} u \left(S \frac{\alpha_{кр} u_{кр}}{\alpha u} S_{кр} \right), \quad (I)$$

содержащая значения влекущей силы и определенной скорости потока, их критические значения, коэффициент сопротивления перемещаемых частиц.

Параметр α представляет собой отношение расходуемой потоком энергии в придонной зоне к энергии отнимаемой у потока. Первая определяется как произведение скорости потока в придонном слое на вертикальный градиент турбулентного трения, а вторая - как произведение турбулентного трения, осредненного для придонного слоя на вертикальному градиенту осредненной скорости, т.е.

$$\alpha = \frac{\tau du/dy}{-u \delta \tau / \delta y} \quad (2)$$

Для исследования применимости формулы (I) нами использовались двухкомпонентные тензодатчики, с помощью которых на осциллограммах записывались реализации пульсаций скорости и рассчитывались значения $\tau = \rho / u'v'$. По данным натурных измерений определены функции

$$\alpha = f(Q), u = f(Q), S = f(Q), \alpha = f(u) \quad \text{в графическом виде.}$$

Определение расходов донных наносов производилось по формуле (I) для промежутка времени, в течение которого на устьевом взморье наблюдались штормовые условия. Одновременно на взморье с применением гамма-съемки донных отложений и геолокации измерялся объем вынесенных рекой наносов. Сопоставление расчетных значений расходов донных наносов с фактическими показало, что формула (I) дает удовлетворительные результаты ($\pm 15\%$) для значений $\alpha = 0,20 \div 0,30$, что отвечает широкому диапазону изменения гидравлических параметров потока в дельте.

Таблица I

Сток донных наносов (в % от стока взвешенных)
и высотные обратимые деформации русел (м)
водотоков исследуемых дельт.

Река-дельта	Фаза режима			
	Половодье		Межень	
	G	Δh	G	Δh
Кура	10	2,0	2	0,5
Самур	5	1,0	1	0,5
Сулак	30	3,0	10	1,0
Терек	70	4,0	20	1,5

Преобладающей формой транспорта донных наносов в исследуемых дельтах являются ленточные гряды. Тесная связь образования гряд на дне руслового потока общепризнанна (К.В.Гришанин, Н.С. Знаменская, Н.А.Михайлова, А.Б.Клавен, Ю.Т. Борщевский, Ф.М.Чернышев и др.). Нашими натурными исследованиями установлено хорошее соответствие между линейными размерами донных гряд и продольным масштабом турбулентности. Последний определялся по автокорреляционным функциям пульсаций продольной составляющей скорости, полученным в виде $K(\varrho) = \ell^{-\alpha\varrho} \cos \beta\varrho$ и $K(\varrho) = \ell^{-\alpha\sqrt{\varrho}} \cos \beta\varrho$, где α — ордината максимальной спектральной плотности, β — радиус корреляции. Движение крупных гряд определяет довольно значительные обратимые высотные деформации русел (табл. I) и большой сток донных наносов в изучаемых дельтах.

В результате зарегулирования и крупных изъятий стока амплитуда знакопеременных деформаций уменьшается, наблюдается тенденция к нивелировке отметок дна.

Глава 3. Необратимые плановые и высотные переформирования гидрографической сети дельт. Из теории стадийности и цикличности процессов дельтообразования вытекает чередование периодов сосредоточения и рассредоточения стока по пространству дельты.

Путем последовательной смены различных стадий развития дельта перестраивается из однорукавного устья в многорукавную на конусе выноса, а затем — опять в однорукавную. Эта закономерность иллюстрируется в работе на историческом картографическом материале по изучаемым дельтам.

Указанные плановые перестройки сопровождаются необратимыми высотными деформациями водотоков дельт, а точнее — обуславливаются ими. По мере устьевоего удлинения уклон реки становится меньше

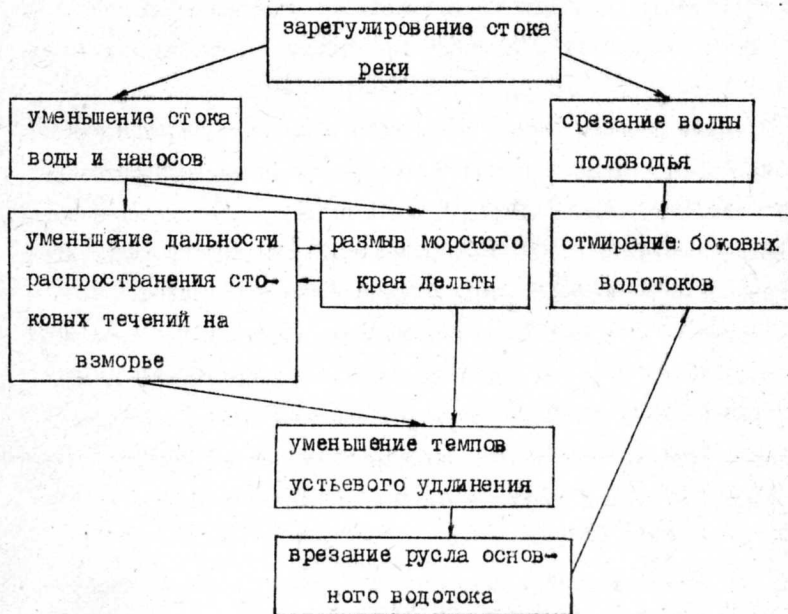
устойчивого уклона, соответствующего гидравлическим условиям, при которых происходит полный транзит наносов, поступающих с вышележащих участков реки, без аккумулятивных и эрозионных процессов. Сопутствующее устьевому удлинению уменьшение уклонов реки приводит к отложению наносов в русле и повышению отметок дна. Так, в дельте Терека дно водотоков приподнято над окружающей местностью на 5-7 м. Указанный процесс приводит к отмиранию ряда водотоков, сосредоточению стока в основном русле и, по мере его поднятия, - прорыву реки к морю в новом направлении с образованием нового одно-рукавного устья. В дельте Терека такие прорывы происходили в прошлом раз в 50-60 лет.

Существенное влияние на необратимые русловые деформации водотоков изучаемых дельт оказывают колебания уровня Каспийского моря. Падение уровня Каспия за период 1932-45 г.г. на 1,8 м вызвало волну регрессивной эрозии в низовьях впадающих в него рек. На Куре эта эрозия распространилась вверх по течению на расстояние 90 км от устья, на Сулаке - на 40 км и на Самуре - на 25 км. На р. Терек к указанному периоду процесс формирования нового транзитного русла после прорыва реки к морю от ст-цы Каргалинская (1914 г.) еще не завершился, поэтому процесс его переформирования шел по пути формирования водным потоком нового русла до моря путем развития быстрины. Только к концу 1948 г. началось отложение наносов в устье Терека.

Регулирование стока и крупные его изъятия практически срезают волну половодья, уменьшают интенсивность подъема уровней и расходов воды, приводят к значительному уменьшению стока воды и наносов, а также нарушают сложившийся баланс наносов в береговой зоне в районе морского края дельты. Все это приводит к перестройке

многорукявных дельт на конусе выноса в однорукавные устья. В работе указанная закономерность проиллюстрирована на примере отмирания гидрографической сети дельт Терека, Самура, Сулака и Куры под влиянием изъятий стока соответственно в районах Каргалинского, Самурского, Чирюртского и Мингечаурского гидроузлов.

Схема взаимодействия основных факторов и направленности руслового процесса в дельте при зарегулировании стока реки приведена ниже.



Глава 4. Динамика морского края дельт. Самым характерным процессом на морском краю дельты является формирование устьевого бара – последнего структурного элемента, образованного речными наносами, устьевых кос. Отмеченные морфологические элементы устьевого рельефа образуются в результате отложения наносов, связанного

с затуханием свободной инерционной речной струи за устьевым створом. Затухание стоковых течений вдоль струи происходит по экспоненциальному закону.

Существенное влияние на формирование аккумулятивных устьевых форм рельефа оказывают особенности турбулентности речной струи на устьевом взморье.

Существующие теоретические методы описания свободной турбулентности основаны, во-первых, на гипотезах об автономности соответствующих течений и, во-вторых, на использовании полуэмпирических теорий турбулентности. Гипотезы об автономности опираются на некоторые общие свойства жидкости и могут быть обоснованы также с помощью методов подобия и размерности. Полуэмпирические же теории свободной турбулентности используют, кроме общих законов гидродинамики, некоторые дополнительные гипотезы более специального характера, не подтверждающиеся наблюдениями в устьях рек.

Исследование влияния турбулентности на отложение наносов на морском крае дельт путем постановки специальных наблюдений показало, что за выходным устьевым створом происходит быстрое вырождение русловой турбулентности: на расстоянии от устья, равном $1,5-2,0$ ширинам в выходном устьевом створе, продольный масштаб турбулентности начинает уменьшаться.

Наличие отрицательной корреляции пульсаций скорости, свидетельствующее о преобладании в спектре пульсаций низких частот, наблюдается на расстоянии от устья вдоль речной струи, равном 5 ширинам реки.

Интенсивность турбулентности наибольшая на границах речной струи, в области водоворотных зон (за границу речной струи на устьевом взморье условно принимается линия, на которой проекции

осредненной скорости на продольную ось потока равны нулю).

С удалением от выходного устьевоего створа кривая изменений интенсивности турбулентности по ширине струи выравнивается.

Отличительной особенностью водоворотных зон на границах струйного потока является соизмеримость поперечной и продольной составляющих пульсационной скорости, а также корреляционных моментов в вертикальной плоскости, параллельной оси потока.

Как показали измерения, на границах струи турбулентное трение, определенное с помощью двухкомпонентных тензодатчиков, в 2-4 раза больше, чем в стрежневой зоне, а поперечные пульсации скорости в 10-20 раз больше.

Распределение интенсивности турбулентности по глубине струйного течения на участке от выходного устьевоего створа до гребня бара не отличается от распределения в русловом потоке, хотя с удалением от устья макропульсации скорости затухают. За гребнем бара, с отрывом струи от дна это распределение коренным образом отличается от распределения интенсивности турбулентности в русловом потоке. Если в русловом потоке и на участке от устья до гребня бара интенсивность турбулентности наибольшая в придонном слое, то за баром, в условиях свободного растекания речной струи, связанного с отрывом ее от дна, максимальные пульсации скорости наблюдаются в зоне контакта верхнего слоя пресных речных вод с подстилающим его слоем морской воды. С увеличением скоростей течения речной струи слой максимальной турбулентности опускается на большие глубины.

Рассмотренное специфически устьевое распределение характеристик турбулентности оказывает существенное влияние на динамику наносов.

Вырождение русловой турбулентности после выхода на устьевое взморье и уменьшение продольных размеров турбулентных вихрей вдоль речной струи приводят к уменьшению линейных размеров донных гряд и постепенному прекращению их движения, в результате устьевой бар наращивается сползающими из русла донными грядами и сам принимает форму гряды. На границах речной струи на взморье в водоворотных зонах происходит осаждение взвешенных наносов и формируются устьевые косы, соединяющиеся с баром.

На формирование устьевого рельефа большую роль играет наложение на стоковый поток на взморье поверхностных волн.

При наложении на однонаправленный поток поверхностных волн интенсивность турбулентности уменьшается в 1,5-2,0 раза, одновременно уменьшается и линейный масштаб турбулентности. Интенсивность турбулентности под ложбиной волны на порядок выше, чем под гребнем, и если в русловом потоке она редко превышает 25%, то в смешанных потоках (волны на противотечении) наиболее крупные пульсации скорости могут достигать 70%. Фазы горизонтальной и вертикальной пульсаций скорости обычно не совпадают.

Такое распределение характеристик турбулентности в смешанных потоках приводит к сортировке наносов на морском крае дельты: крупные наносы движутся в момент прохождения ложбин волн (влияние сил инерции в неустановившемся потоке), а мелкие - гребней. При значительных ветрах, формирующих волны больших энергий, одновременно существенную роль играет клин морских вод, подходящий к устью. Этот клин может служить барьером для донных наносов, которыми формируется бар.

В конкретных условиях каждого устья динамика бара под влиянием рассмотренных выше факторов имеет свои характерные особенности.

При штормах наблюдаются следующие основные ситуации, которые с качественной стороны могут быть описаны следующим образом.

Гидродинамические условия взморья таковы, что граница раздела морских и речных вод располагается за баром. При этом формирующиеся волны соответствующих высот размывают морской склон бара. Если проникновения соленых вод за бар не происходит, продолжается вынос донных наносов на устьевое взморье и происходит намыв бара с речной стороны.

В зависимости от того, какими наносами сложен бар, процесс его переформирования происходит по-разному, в соответствии с распределением характеристик турбулентности смешанных потоков.

Если устьевой бар сложен крупными наносами, то их движение совпадает с прохождением ложбин волн на отмелом взморье и прохождением гребней — на приглубом, где бара достигают волны больших высот (энергий). Таким образом, на приглубом взморье, дно которого сложено крупными наносами, устьевой бар подпитывается с речной стороны донными наносами, выносимыми из русла, и с морской стороны — наносами, доставляемыми волнами. В результате бар увеличивается в размерах.

Если клин морских вод заходит в русло, поступление речных донных наносов к бару прекращается и бар либо подпитывается только крупными наносами со стороны моря, либо в случае их отсутствия в донных отложениях устьевого взморья — частично размывается.

Таким образом, распределение характеристик турбулентности в смешанных потоках, наряду с крупностью наносов и гидродинамическими условиями взморья, оказывает существенное влияние на темп формирования устьевого бара и устьевое удлинение.

Зарегулирование и взятия стока приводят к абразии морского края дельты. Так, в устье Куры размывается северная часть дельты (35 м/год), в устье Самура-Ижия (40 м/год).

ВЫВОДЫ.

Основные результаты исследования сводятся к следующему.

1. Руслowym процессам в дельтах свойственен, кроме общих закономерностей русловых деформаций, ряд специфических особенностей, определяющихся положением дельт в зоне взаимного влияния речного и морского гидрологического режимов. Общие закономерности сводятся к дискретному характеру транспорта донных наносов как содержания руслового процесса, и наличию в водотоках дельт структурных русловых форм разных порядков. Кроме того, большое влияние на эти формы и их динамику оказывает турбулентность потока.

2. Показано, что формула (I) расхода донных наносов, учитывающая распределение турбулентного трения по глубине потока и обмен энергией между придонной и основной зонами потока, дает удовлетворительные результаты для большого диапазона изменения гидравлических параметров.

3. В водотоках дельт, как и на вышележащих участках рек, имеет место соответствие между линейными размерами донных гряд и продольными размерами турбулентных вихрей.

Сток донных наносов в дельтах Куры, Самура, Сулака и Терека составляет для периода половодья соответственно 10, 5, 30 и 70%, а для межени - 2, 1, 10 и 20%.

4. Величины обратимых высотных деформаций русел водотоков дельт как внешнего проявления транспорта донных наносов достигают в дельте Куры в половодье 2, а в межень 0,5, в дельте Самура - 1 и 0,5 м, в дельте Сулака - 3 и 1 м и в дельте Терека - 2 и 1,5 м.

5. Преобладающим типом руслового процесса в дельтах Куры, Самура и Терека является ленточно-грядовый, а в дельте Сулака - осередковный.

6. Теоретическим путем проведена вероятностная оценка скоростей перемещения донных наносов в водотоках дельт.

7. В результате зарегулирования режима амплитуда обратимых высотных деформаций русел уменьшилась в дельте Куры на 42%, в дельте Сулака-на 70%, при этом проявляется тенденция к нивелировке отметок дна.

8. Характерным для необратимых плановых переформирований гидрографической сети исследуемых дельт является стадийность и цикличность их развития, подтвержденная обширным картографическим материалом. Зарегулирование рек и крупные изъятия стока приводят к перестройке многорукавных дельт в однорукавные устья.

9. Специфическим образованием является устьевой бар — продукт переноса рекой наносов и последний структурный морфологический элемент, формируемый речным потоком. Вырождение русловой турбулентности вдоль речной струи на устьевом взморье приводит к уменьшению линейных размеров донных гряд и наращиванию устьевого бара.

10. Наложение поверхностных волн на стоковый поток приводит к сортировке наносов на морском крае дельты в соответствии с их крупностью и особенностями турбулентности волнового потока, в результате устьевой бар изменяет свои размеры в зависимости от гидродинамической обстановки на взморье.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Статистические характеристики некоторых гидрологических элементов в шельфовой зоне Каспийского моря. — Тезисы докладов XIII научной сессии ЗагНИИМ, Тбилиси, 1976.

2. Статистические характеристики ветрового волнения в Среднем и Южном Каспии при северном и северо-западном полях ветра. — Вторая Всесоюзная конференция молодых ученых гидрометслужб, Омский, 1976.

3. Влияние турбулентности руслового потока на образование донных гряд.- Материалы совещания "Повышение качества и эффективности гидрометобеспечения народного хозяйства", Баку, 1977.

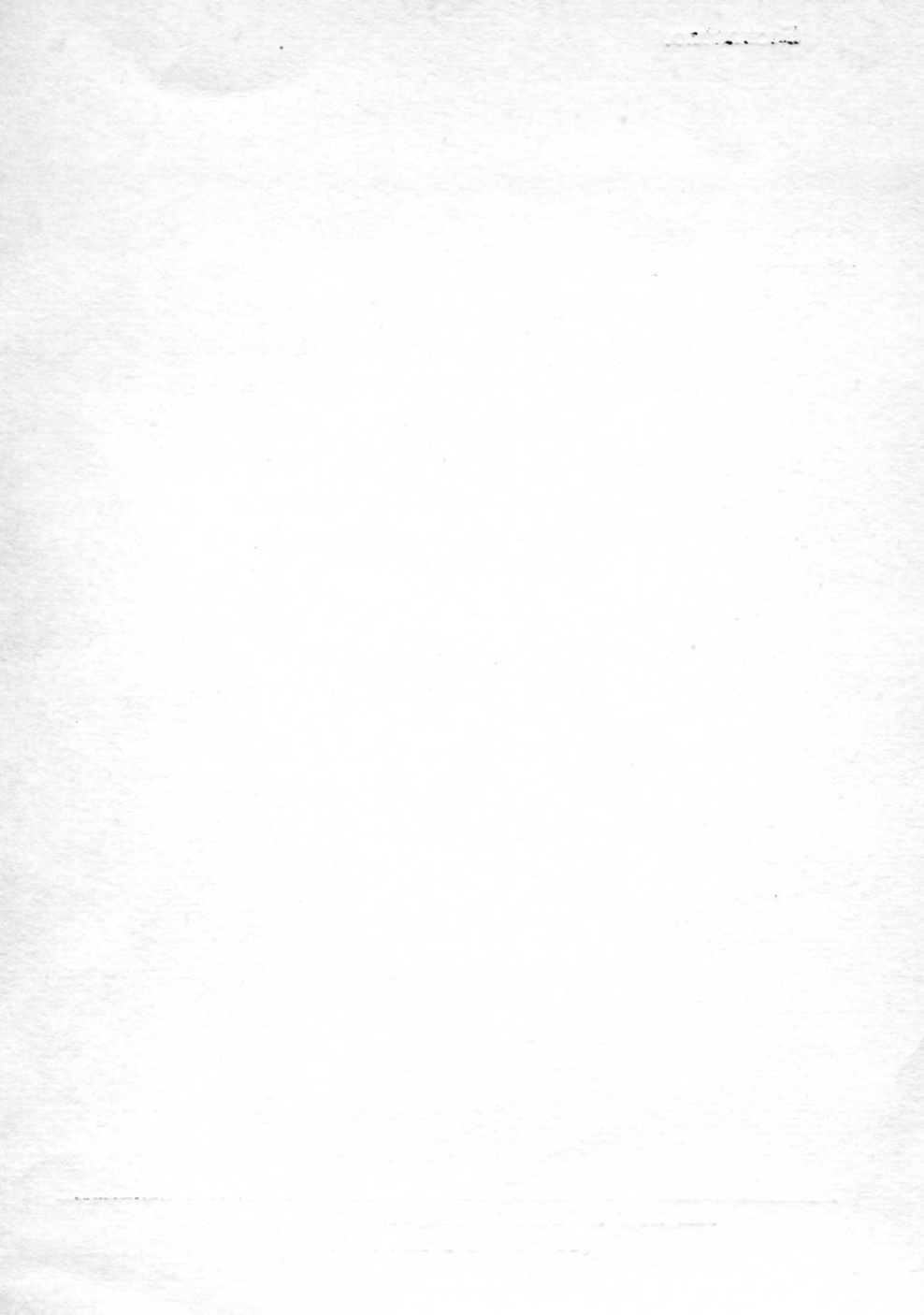
4. Некоторые результаты исследования турбулентности придонных мутьевых потоков.- Материалы совещания "Повышение качества и эффективности гидрометобеспечения народного хозяйства", Баку, 1979.

5. Стохастический характер движения наносов в русловом потоке.- Труды Закавказского государственного гидрометеорологического института, вып. 78(84), Л., 1981.

6. Некоторые вопросы турбулентности однонаправленных потоков.- Труды Закавказского государственного гидрометеорологического института, вып. 78(84).Л., 1981.

7. Особенности турбулентности стоковых потоков и морфологических образований в устьях рек. - Материалы конференции "Повышение качества и эффективности гидрометобеспечения народного хозяйства", Баку, 1982.

8. Влияние антропогенных факторов на динамику наносов и дельт рек западного побережья Каспийского моря.- Тезисы докладов XXIV научной сессии Закавказского государственного гидрометеорологического института, Тбилиси, 1982.



Бесплатно.