

## ***Глава 10. МЕХАНИЗМЫ ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ И ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ОСАДКОВ ИЗ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ НА ШЕЛЬФ И КОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ СКЛОН***

---

---

Интенсивное освоение прикавказского шельфа Черного моря, быстрый рост приморских городов, курортных объектов, сельскохозяйственная деятельность на побережье способствуют росту антропогенного воздействия на водные экосистемы. Наиболее сильное антропогенное влияние морская акватория испытывает от береговых источников – объектов индустриальной и хозяйственной деятельности людей.

Современные уровни загрязнения морской воды, взвеси и донных осадков различными загрязняющими веществами на российском шельфе Черного моря подробно рассмотрены в монографиях анализируются в монографиях “Техногенное загрязнение..., 1996” и “Геоэкология шельфа..., 2001”. В настоящей главе дается краткая характеристика основных источников поступления загрязняющих веществ в береговую зону, рассмотрены возможные механизмы их переноса на акваторию шельфа и их выноса на континентальный склон под действием гидродинамических факторов.

### **10.1. Краткая характеристика источников и содержания загрязняющих веществ в прибрежно-шельфовой зоне**

Основными источниками поступления большей части загрязняющих веществ в морскую среду прикавказского шельфа Черного моря являются малые реки, ливневые стоки и сточные коллекторы бытовых вод вблизи больших городов Анапы, Новороссийска, Геленджика, Туапсе и Сочи. В реки и непосредственно в море через глубоководные выпуски в 1994 г. было сброшено 83 млн. куб. м загрязненных сточных вод. 37 предприятий сбрасывает сточные воды непосредственно в море, в том числе 12 предприятий – без очистки. Из них 23 предприятия относятся к непрерывно действующим источникам загрязнения, остальные действуют в режиме залповых сбросов, некоторые из них вообще не контролируются (например, ливневые канализации в Анапе и Геленджике) (Геоэкология шельфа и морских берегов морей России, 2001).

Загрязнение морской воды и донных осадков шельфа нефтепродуктами традиционно определяется количеством нефти и нефтепродуктов, поступающих в море в результате аварий судов или с промышленными стоками с берега. Поскольку в состав нефтепродуктов входят фенолы, то нефтяное загрязнение сопровождается также фенольным. Источниками загрязнения являются морские порты; судо- и вагоностроительный заводы; нефтеперерабатывающие предприятия и предприятия по обеспечению нефтепродуктами в Туапсе; нефтеперевалочная база “Шесхарис” в Новороссийске; муниципальные сооружения по очистке вод (Геоэкология шельфа и морских берегов морей России, 2001).

Нефтепродукты в речных стоках выносятся в море в растворенном состоянии и сорбированными на взвеси, преимущественно в периоды ливневых дождей и паводков. Кро-

ме этого потенциальным источником загрязнения морской среды нефтепродуктами является морской терминал и береговые сооружения для отгрузки нефти в районе Ю.Озереевки (вблизи г. Новороссийска), строительство которого осуществляется Каспийским Трубопроводным Консорциумом (КТК) будет завершено в 2001 году. В период эксплуатации морского терминала возможны несанкционированные сбросы загрязненных балластных вод и аварийные утечки нефти при загрузке танкеров, которые могут привести к существенному загрязнению морской среды нефтепродуктами прибрежно-шельфовой зоны на прилегающей акватории.

По имеющимся на сегодняшний день данным наблюдений на участке побережья от Новороссийска до Туапсе содержание нефтепродуктов в морской воде составляет в среднем 0,03 мг/л и изменяется в диапазоне от 0,005 до 0,2 мг/л. Наиболее высокие значения содержания нефтепродуктов отмечались у выхода из Новороссийской бухты, в районе п. Джубга и у г. Туапсе (Техногенное загрязнение..., 1996).

Юго-восточнее Туапсе, на участке шельфа от Лазаревского до Адлера среднее содержание нефтепродуктов в морской воде также составляло в среднем 0,03 мг/л и изменялось в диапазоне от 0,01-0,08 мг/л.

Наибольшее загрязнение донных осадков нефтепродуктами в Прикавказской зоне Черного моря наблюдаются в районе портов и в бухтах, где их содержание в 30-100 раз выше, чем на прилегающих к ним акваториях шельфа.

В прибрежной полосе содержание нефтепродуктов, как правило, не превышает 30 мг/кг сухого осадка (Техногенное загрязнение..., 1996). Ширина этой зоны меняется от сотен метров до 2-3 км. Далее, в сторону открытого моря содержание нефтепродуктов возрастает до 50 мг/кг. Во внешней зоне шельфа содержание нефтепродуктов наиболее высокое: от 50 до 100 мг/кг и выше. Смена зон с низким содержанием нефтепродуктов зонами с более высокими его значениями объясняется изменением гранулометрического состава осадков. По мере удаления от берега осадок обычно становится более мелкодисперсным с лучшей адсорбционной способностью.

Поскольку в состав нефти входят фенолы и полиядерные ароматические углеводороды (ПАУ), то нефтяное загрязнение сопровождается также фенольным и ПАУ загрязнением донных осадков. Кроме этого ПАУ образуются в результате горения и переработки нефтепродуктов и других органических веществ. В морскую среду ПАУ попадают в результате атмосферного переноса с суши и с береговым стоком. Большое количество ПАУ вырабатывается и выбрасывается в воздух или воду при работе двигателей морских судов.

В Геленджикской бухте содержание ПАУ в донных отложениях менялось в довольно широких пределах: от 2,0 до 4300 мкг/кг сухого остатка (Техногенное загрязнение..., 1996). Наименьшее содержание ПАУ наблюдалось на выходе из бухты в открытое море. В открытой части побережья, в районе Южной Озереевки содержание ПАУ варьировало в пределах от менее 10 до 56 мкг/кг сухого осадка, а среднее составляло 18 мкг/кг. В этом же районе концентрация фенолов в поверхностном слое осадков колебалась от менее 0,01 мг/кг до 0,67 мг/кг сухого осадка. Среднее содержание фенолов составляло 0,09 мг/кг сухого осадка.

Основной объем тяжелых металлов выносится в море в растворенном виде и во взвеси ливневыми водостоками и паводковыми речными водами. Маловодные реки, характерные для района от Туапсе до Анапы, весной выносят взвесь с повышенным и высоким содержанием меди и цинка, которые в большом количестве поступают в речные воды при химической обработке виноградников и садов. Техногенная деятельность на берегу и

прилегающих к нему акваториях также приводит к увеличению поступления загрязняющих веществ с речными и ливневыми стоками.

Наиболее высокие значения концентрации тяжелых металлов в морской воде и донных осадках характерны для районов примыкающих к устьевым участкам побережья. Содержание тяжелых металлов обычно возрастает по мере перехода от песчано-алевритовой фракции к пелитам. Поэтому в средней и нижней частях шельфа, где преобладают илистые осадки, их содержание значительно выше по сравнению с прибрежной зоной. Исключение составляет кадмий, максимум содержания которого приходится на крупно-алевритовую фракцию.

Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) поступают в морскую среду преимущественно с бытовыми стоками. Максимальные концентрации синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) в поверхностных водах в районе Туапсе по данным "Ежегодников качества морских вод...", 1994; 1995" за 1994-1995 гг. составляли 0,25-0,43 мг/л предельно допустимой концентрации (ПДК). Среднее содержание СПАВ составляло менее 0,25 ПДК. В последние годы отмечается устойчивая тенденция увеличения загрязнения морских вод СПАВ на всем протяжении кавказского побережья Черного моря.

Содержание синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) в донных осадках обычно высокое и среди них преобладают анионные соединения (АПАВ).

Смыв удобрений и пестицидов с полей и виноградников в реки и непосредственно в море является основным источником поступления хлорорганических пестицидов, нитратов, нитритов, аммонийного азота и фосфатов в прибрежно-шельфовую зону.

## **10.2. Основные факторы, определяющие перенос загрязняющих веществ и тонкодисперсных осадков на шельфе**

Как правило, все загрязняющие вещества из перечисленных выше источников поступают в береговую зону моря в растворенном виде и сорбированными на взвеси. Их дальнейшее перераспределение, перенос, изменение концентрации, отложение взвеси на дно, переход в донные осадки и последующая ресуспензия в прибрежно-шельфовой зоне определяется комплексом гидродинамических факторов: штормовыми волнениями, циркуляцией вод, пространственно-временными характеристиками течений, сгонно-нагонными явлениями.

*Штормовые волнения.* Важным гидродинамическим фактором перераспределения загрязняющих веществ между береговой зоной и шельфом являются штормовые волнения. Их воздействие приводит к взмучиванию донных осадков в прибрежной зоне и переносу в сторону моря разрывными течениями, компенсационными противотечениями и вынужденными инфрагравитационными волнами. Выносимая из береговой зоны взвесь, с сорбированными на ней загрязнителями, при слабых течениях у дна будет отлагаться на дно в средней и нижней частях шельфа. При косом подходе штормовых волн к берегу, в зоне их разрушения формируются интенсивные вдольбереговые течения, которые перемещают осадки, взвесь, прибрежную воду и загрязняющие вещества вдоль берега. При штормах очень редкой повторяемости взмучивание рыхлого поверхностного слоя донных осадков возможно и на шельфе до глубин 70-80 м. Оценки этого процесса приведены ниже.

*Течения.* Одним из важнейших гидродинамических факторов переноса и перераспределения поллютантов на шельфе являются стационарные течения. Режим течений на рос-

сийском шельфе Черного моря определяется Циклоническим Кольцевым Течением (КЦТ), которое направлено вдоль береговой линии с юго-запада на северо-восток, а его стрежень располагается над верхней частью континентального склона. Результаты анализа детальных измерений на шельфе подробно рассмотрены в главе 4. Главной их особенностью является бимодальный характер направлений – перенос вод вдоль берега в двух диаметрально противоположных направлениях: северо-западном (западном) и юго-восточном (восточном). При этом, северо-западное направление преобладает над юго-восточным как по повторяемости направлений, так и по величине скорости. Средний вектор течения за продолжительные (более 6 месяцев) периоды на большей части шельфа всегда направлен на северо-запад и в конкретном районе его направление согласуется с направлением береговой линии. За пределами шельфа в районе глубин 500-600 м (верхняя часть континентального склона) течение имеет мономодальный режим и направлено на запад. На внешней части шельфа (глубины 50-100 м) перенос вод вдоль берега в западном направлении в несколько раз превышает перенос вод в восточном направлении. Ближе к берегу разность между повторяемостью противоположно направленных переносов вод уменьшается и вблизи береговой линии (глубина 10-15 м) перенос вод в противоположных направлениях почти равновероятен.

Смена одного направления течения обуславливается прохождением прибрежных антициклонических вихрей (ПАВ) и происходит довольно быстро, за 2-4 часа. Во время такой смены скорости течения в большинстве случаев отмечается поворот вектора скорости течения по часовой стрелке. ПАВ перемещаются в том же направлении, что и поток КЦТ (на запад, северо-запад). В их передней части орбитальное движение направлено к берегу, а в тыловой – от берега в море. По данным многолетних наблюдений установлено, что в районе северокавказского побережья Черного моря за год наблюдается от 19 до 46 антициклонических вихрей, со средней продолжительностью их действия от 3 до 6 суток.

Модальные (наиболее часто повторяющиеся) значения скорости течений в шельфовой зоне на поверхности моря в подавляющем большинстве случаев изменяются в диапазоне 5-15 см/с, а в придонном слое – 0-5 см/с. Максимальные скорости течений на шельфе достигают 70-80 см/с на поверхности моря и 50-60 см/с у дна, иногда они могут достигать 100-130 см/с на поверхности и 80-100 см/с у дна (Титов, 1989). Обычно это наблюдается в периоды времени, когда стрежень КЦТ прижимается к бровке шельфа или когда хорошо развитый циклонический меандр КЦТ выходит на внешнюю часть шельфа.

Отмеченные выше особенности характера течений играют важную роль в экологии шельфовой зоны. Поскольку линейные размеры ПАВ больше ширины шельфа, то их проникновение в береговую зону будет способствовать ее самоочищению вследствие поступления в нее чистых вод открытого моря при прохождении переднего фронта ПАВ и выносу из нее тонкодисперсной взвеси и загрязняющих веществ в растворенной форме в моменты прохождения тылового фронта. Преобладание течений вдоль изобат на внешней части шельфа также будет способствовать вентиляции шельфа, и выносу загрязняющих веществ за его пределы. С другой стороны преобладающее среднее течение вдоль берега может приносить загрязнители из смежных участков шельфа, а ПАВ переносить их к берегу.

Кроме этого в периоды сильных скоростей течений в средней и низкой частях шельфа они могут эродировать донные осадки и распределять их по глубине экмановского донного пограничного слоя. В этом случае возможен вынос взвеси на континентальный склон, как это будет показано далее.

*Экмановский донный пограничный слой.* Он формируется при стационарном движении жидкости на вращающейся поверхности. Движение воды в донном погранслое определяется балансом сил: градиента давления, силы Кориолиса и донного трения. В результате модуль скорости течения увеличивается по величине ото дна до значения скорости геострофического течения на верхней границе погранслоя, а вектор скорости изменяется по направлению с высотой. Если смотреть в сторону дна с поверхности моря, то в северном полушарии вектор скорости течения отклоняется против часовой стрелки относительно скорости геострофического течения по мере приближения ко дну.

Высота донного пограничного слоя пропорциональна экмановскому масштабу длины  $l_E = \frac{u_*}{f}$ , где  $f = 2 \cdot \Omega \cdot \sin\Phi$  – параметр Кориолиса,  $\Omega$  – угловая скорость вращения Земли и  $\Phi$  – широта места. При нейтральной стратификации вод в придонном слое

на шельфе высота экмановского донного погранслоя примерно равна  $\delta_E = 0.4 \cdot \frac{u_*}{f}$

(Weatherly, 1972). Для условий устойчивой стратификации придонного слоя воды высота  $\delta_E$  меньше, а угол отклонения вектора скорости от геострофического больше, чем при нейтральной стратификации (Adams, Weatherly, 1981).

Измерения на Орегонском и Африканском шельфах на глубинах 50-100 м показали, что высота погранслоя для условий нейтральной стратификации достигает нескольких десятков метров, а угол отклонения вектора скорости от геострофического 25-35° (Kundu, 1977; Dickey, Van Leer, 1983). При устойчивой стратификации придонных вод угол отклонения может достигать 45° (Weatherly, Van Leer, 1977).

К сожалению аналогичных детальных измерений профиля скорости течения в придонном слое для шельфа прикавказской зоны Черного моря нет. Поскольку параметр Кориолиса для этой зоны составляет  $f = 2 \cdot 10^{-4}$  1/с, а скорость трения у дна имеет типичное значение порядка 0,5-1 см/с при скорости течения 10 – 20 см/с на высоте 1 м от дна, то высота экмановского донного пограничного слоя для прикавказского шельфа составит порядка 10-20 м.

Как уже отмечалось выше, на прикавказском шельфе Черного моря на глубинах 50-100 м преобладают течения вдоль изобат с юго-востока на северо-запад. В соответствии с закономерностями для экмановского донного погранслоя вектор скорости течения будет отклоняться влево от этого направления в сторону бровки шельфа. В этом случае взвесь и загрязняющие вещества в придонном слое будут транспортироваться как вдоль изобат, так и по направлению к бровке шельфа и выноситься на континентальный склон. Этот механизм является важным для выноса взвеси и поллютантов с внешней части шельфа на материковый склон.

*Ветровой апвеллинг.* На распределение гидрохимических параметров загрязнения морской воды существенное влияние оказывает ветровой апвеллинг. При сильных северо-восточных ветрах с берега, которые обычно имеют место в этом районе в зимний период, происходит сгон прибрежных загрязненных вод в сторону моря и их замещение глубинными, более чистыми водами. В результате при длительных ветрах этого направления происходит очищение шельфовых вод от загрязнителей.

*Паводковый сток рек.* На российском участке кавказского шельфа от Керченского пролива до Сочи крупные реки практически отсутствуют. Множество небольших рек рас-

средоточены вдоль берега и суммарный вынос ими наносов составляет в среднем около  $10^8$  кг/год (Кочетов, 1991). Основная масса наносов размером  $< 0,1$  мм с сорбированными на них загрязняющими веществами, поступает на шельф в зимне-весенний период во время паводкового стока рек и оседает в его пределах. Во время экстремальных паводков, период повторения которых составляет примерно 10-15 лет, мощные речные струи могут достигать бровки шельфа и поставлять материал на континентальный склон. Однако такой механизм поступления осадков на континентальный склон наиболее вероятен только на участках шельфа южнее Архипо-Осиповки, где его ширина составляет 4-8 км и где сосредоточены наиболее крупные реки кавказского побережья Черного моря.

В периоды времени между экстремальными паводками речные наносы тонкодисперсных фракций распределяются течениями на шельфе и оседают в его пределах, поскольку модальные значения (наиболее вероятные) скоростей обычно менее 10 см/с, при которых, как будет показано ниже, будет преобладать адвективный перенос взвеси вдоль шельфа и оседание частиц взвеси на дно.

### **10.3. Оценка эрозии и переноса донных осадков на шельфе**

На глубинах более 35 м на кавказском шельфе Черного моря залегают тонкодисперсные осадки с преобладанием алевритовых и пелитовых фракций, к которым, как правило, приурочены и наиболее высокие содержания загрязняющих веществ в поверхностных осадках. При интенсивных движениях воды у дна может происходить их повторное взмучивание и перенос. Ниже рассмотрены условия при которых возможно повторное взвешивание илистых осадков на шельфе и их вынос за его пределы.

В отличие от песчано-гравийных осадков, критические условия начала движения которых определяются только физическими свойствами частиц и воды, для связных тонкодисперсных осадков кроме физических свойств большое значение имеют и другие факторы: минералогический и химический составы, химический состав поровой воды, степень консолидации и биотурбации осадков, видовой состав и продукты жизнедеятельности донных организмов и другие. Более того, биологические факторы подвержены региональным и сезонным изменениям, вызывая сезонные изменения критических значений для начала эрозии связных осадков. Столь большое количество факторов существенно усложняет моделирование этого процесса и разработку надежных методов его прогноза. Попытки исследований образцов тонкодисперсных осадков с не нарушенной структурой, отобранных в море, показали изменение критических условий начала эрозии со временем из-за нарушения нормальных условий жизнедеятельности микроорганизмов.

Тем не менее многочисленные эксперименты по выявлению закономерностей эрозии и переноса связных осадков, выполненные в последние годы показали следующие закономерности (Amos at al., 1992; Maa at al., 1993).

- При достижении критического значения придонного напряжения трения, создаваемого течением, наблюдается два типа эрозии. Первый характеризуется срывом с поверхности дна наиболее неустойчивых флоккул, пеллет или небольших агрегатов частиц. При сохранении постоянного значения напряжения количество эродируемых частиц быстро уменьшается со временем и эрозия прекращается.

- При увеличении напряжения относительно критического значения наблюдается второй тип, для которого характерно непрерывный срыв агрегатов со дна, если степень консолидации осадков остается неизменной. Если же обнажающиеся слои осадков имеют

более высокую степень консолидации, то для их эрозии требуются еще большие значения придонного напряжения трения.

Критические значения придонных напряжений трения для обоих типов эрозии составляют от 0,1 до 2,5 Па в зависимости от сочетания факторов, определяющих физико-химические свойства осадков.

Верхний слой поверхностных осадков толщиной 1-5 см на шельфе обычно рыхлый и слабо консолидирован. Для начала эрозии таких осадков необходимо донное напряжение трения, равное 0,1-0,2 Па. Для более консолидированных осадков, залегающих ниже, критическое значение донного напряжения трения составляет  $> 0,5$  Па.

Если, создаваемое течением донное напряжение трения превышает его критическое значение, то при моделировании процессов переноса связных осадков (Hamm et al., 1995; Cheshier et al., 1995) интенсивность эрозии используются следующие полуэмпирические формулы.

Для случая, когда критическое значение напряжения донного трения ( $\tau_{cr}$ ) увеличивается с глубиной осадка, масса эродируемых с единицы площади дна осадков оценивается по формуле (Parchure, Mehta, 1985):

$$E = \frac{dm}{dt} = E_o \cdot \exp[\alpha \cdot (\tau - \tau_{cr}(z))]^n, \quad (10.1)$$

где  $m$  – масса эродируемых осадков с единицы площади дна,  $\alpha$  и  $n$  – эмпирически определяемые коэффициенты, зависящие от свойств осадка,  $E_o$  ( $\text{кг м}^{-2} \text{с}^{-1}$ ) – интенсивность эрозии при  $\tau = \tau_{cr}$ ,  $\tau$  – напряжение донного трения,  $\tau_{cr}$  – его критическое значение для начала эрозии.

Толщину слоя размыва можно получить интегрированием (10.1) по времени, учитывая что масса осадка на единицу площади равна  $m = \rho_t \cdot h$  и в предположении, что все остальные параметры неизменны во времени:

$$h = \frac{E_o}{\rho_t} \cdot t \cdot \exp[\alpha \cdot (\tau - \tau_{cr}(z))]^n \quad (10.2)$$

Значения коэффициентов по лабораторным измерениям сильно различаются в зависимости от физико-химических свойств осадков. По данным, приводимым в монографии Л. Ван Рийна (Van Rijn, 1993):  $n = 0,5$ ; значения  $\alpha$  меняются в диапазоне 5-30 ( $m / N^{0,5}$ ), а  $E_o$  в диапазоне 0,00001-0,001 ( $\text{кг м}^{-2} \text{с}^{-1}$ ) для натуральных тонкодисперсных осадков,  $\rho_t$  – плотность осадков в подводном состоянии,  $t$  – время действия течения.

Для случая, когда критическое значение напряжения донного трения ( $\tau_{cr}$ ) остается неизменным с углублением в осадок, интенсивность эрозии ( $E$ ) определяется по формуле (Ariathurai, Arulanandan, 1978):

$$E = \frac{dm}{dt} = M \cdot \left[ \frac{\tau - \tau_{cr}}{\tau_{cr}} \right], \quad (10.3)$$

а глубина слоя размыва:

$$h = \frac{M}{\rho_t} \cdot t \cdot \left[ \frac{\tau - \tau_{cr}}{\tau_{cr}} \right], \quad (10.4)$$

где  $M$  – размерный коэффициент, зависящий от минерального состава, содержания органического материала, солёности воды и др.,  $\rho_t$  – плотность осадков в подводном состоянии,  $t$  – время действия течения. Для морских илов значения  $M$  составляют 0,00001-0,0005  $\text{кг м}^{-2} \text{с}^{-1}$ .

Для поверхностного слоя илистых морских осадков значения  $\rho_t$  составляют 1200-1300  $\text{кг м}^{-3}$ .

*Осаждение.* Если донное напряжение трения в потоке воды со взвесью становится меньше критических значений для начала эрозии тонкодисперсных осадков, то будет преобладать осаждение частиц из потока на дно. В современных моделях (Hamm et al., 1995; Chesher et al., 1995) используется формула для интенсивности осаждения (Van Rijn, 1993), полученная по результатам лабораторных исследований:

$$D = \left( 1 - \frac{\tau}{\tau_{d,full}} \right) \cdot C \cdot W_s(C), \quad (10.5)$$

где  $D$  – интенсивность осаждения в  $\text{кг м}^{-2} \text{с}^{-1}$ ,  $C$  – концентрация взвеси средняя по глубине потока,  $W_s(C)$  – скорость осаждения частиц, зависящая от их концентрации в потоке (стесненное оседание с образованием флоккул),  $\tau_{d,full}$  – критическое значение донного напряжения трения, при котором происходит полное выпадение частиц на дно. При концентрациях менее 0,3 г/л скорость осаждения частиц не зависит от концентрации. По данным разных авторов, приводимых в работе Л. Ван Рийна (Van Rijn, 1993), значения этого параметра для морских илов составляют 0,03 – 0,08  $\text{Н/м}^2$ . Процесс выпадения тонкодисперсной взвеси из потока, будет происходить при скоростях течения менее 15 см/с.

При концентрациях взвеси менее 0,3 г/л (что обычно имеет место при воздействии течения на донные осадки шельфа) скорость оседания частиц  $W_s$  не зависит от концентрации и определяется по формуле Стокса:

$$W_s = \frac{(s-1) \cdot g \cdot d}{18 \cdot \nu}, \quad \text{для } \text{Re} = \frac{W_s \cdot d}{\nu}, \quad (10.6)$$

где  $s = \frac{\rho_t}{\rho}$ ,  $\rho_t = 2650 \text{ кг/м}^3$  – плотность твердых частиц,  $\rho$  – плотность морской воды  $\sim 1025 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости, зависящий от температуры воды. Для температуры воды 10°C он равен примерно  $1,15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , для 15°C –  $1,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Как было отмечено выше, для начала эрозии рыхлого верхнего слоя илистых осадков, толщина которого обычно не превышает нескольких сантиметров, необходимо донное напряжение трения, равное 0,1-0,2 Па. Для более консолидированных осадков, залегающих ниже, критическое значение донного напряжения трения составляет  $> 0,5$  Па. Такие условия будут выполняться либо при воздействии течений, скорость которых в 1 м от дна превышает 20 см/с, либо при воздействии сильных штормовых волнений.

Для оценки возможной интенсивности эрозии донных осадков были использованы данные измерения скорости течений на шельфе вблизи Новороссийска на глубине 54 м, рассмотренные в главе 4. Гранулометрический состав донных осадков в месте измерений

(гл. 54 м), вблизи бровки шельфа (гл.74 м) и в верхней части континентального склона (гл.106 м) представлен на рис.10.1.

В осадках доминирует фракция мелкого алеврита, а медианный диаметр составляет 0,03 мм.

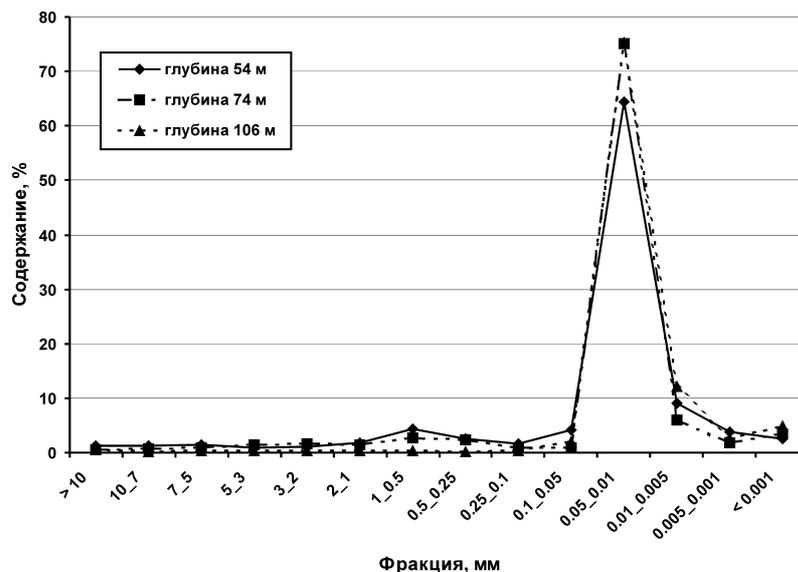


Рис.10.1. Грансостав донных осадков на створе измерения течений.

Изменение скорости и направления течения за 110 суточный период времени, а также рассчитанные значения донного напряжения трения, приведены на рис.10.2. Высокие значения скорости течения, как правило, приурочены к моментам смены его направления с восточного на западное, которое, вероятнее всего связано с прохождением анциклонических вихрей через точку измерений.

Поскольку измерения проводились на горизонте 5 м от дна, то для расчета напряжения донного трения использовалась формула, позволяющая оценивать его по значению скорости на горизонте 1 м от дна:

$$\tau_b = \rho \cdot c_f \cdot U_{100}^2, \quad (10.7)$$

где  $\rho$  – плотность морской воды,  $c_f = 0,003$  коэффициент донного трения для гидравлически шероховатого дна,  $U_{100}$  – скорость течения на горизонте 1 м от дна.

Скорость течения на горизонте 1 м от дна ( $U_{100}$ ) рассчитывалась в предположении, что профиль скорости подчиняется степенному закону “1/7” для шероховатого дна:

$$U(z_1) = U(z_2) \cdot \left( \frac{z_1}{z_2} \right)^{\frac{1}{7}} \quad (10.8)$$

$$z_1 = 1 \text{ м}, \quad z_2 = 5 \text{ м}$$

Пунктирными линиями на этом рисунке показаны критические значения напряжения трения 0,1, 0,2 и 0,5 Па для начала эрозии донных осадков.

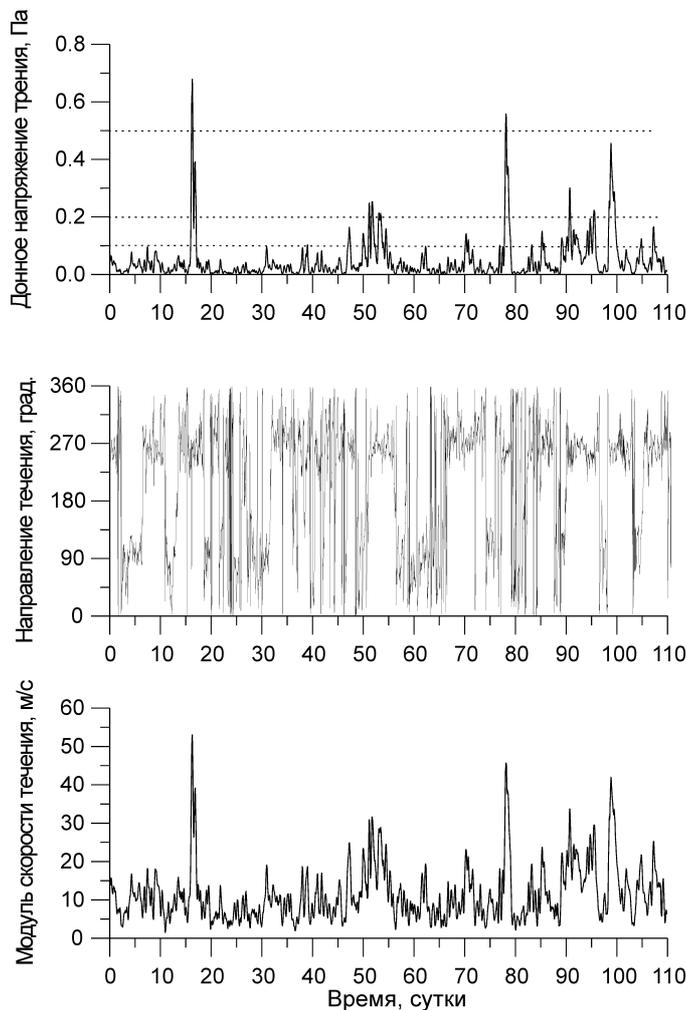


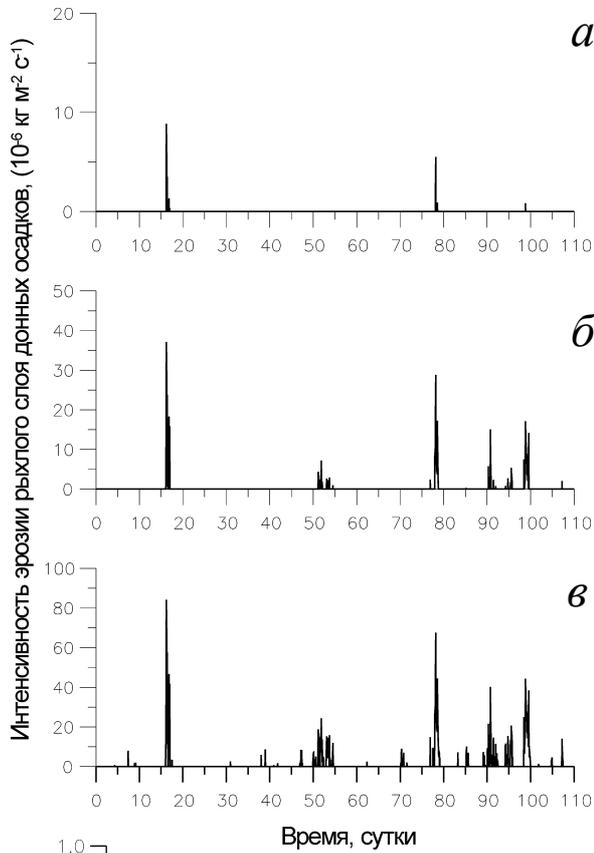
Рис.10.2. Изменение скорости и направления течений, донного напряжения трения во времени

Рассчитанные значения интенсивности эрозии донных осадков для трех критических значений донного напряжения трения показаны на рис. 10.3. При наблюдавшихся скоростях течения возможна эрозия только рыхлого поверхностного слоя осадков, для которого значения критического напряжения составляют 0,1-0,2 Па. Такие условия создаются в моменты времени когда скорость течения превышает 20 см/с. Эрозия осадков с  $\tau_{cr} = 0,5$  Па будет иметь место только эпизодически при скоростях течения более 40 см/с.

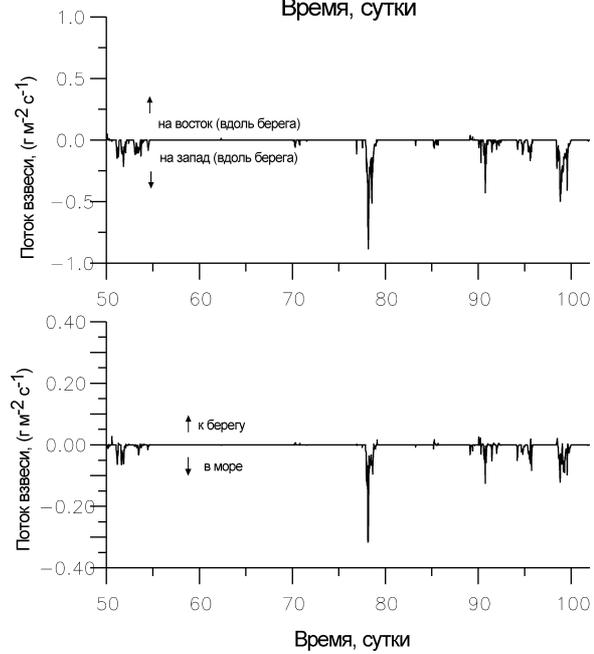
Для оценки расхода и направления переноса эродируемых осадков были рассчитаны компоненты потока взвешенного вещества вдоль берега и по нормали к нему, средние для придонного слоя высотой в 1 м. Концентрация взвеси определялась по диффузионной модели для случая стационарного течения в предположении линейного изменения коэффициента

турбулентной диффузии для частиц. Вблизи дна она определялась по полученной выше интенсивности эрозии осадков со дна. Изменение потока взвеси в течение второй половины срока измерения течений для направлений вдоль берега и по нормали к нему для случая  $\tau_{cr} = 0,1$  Па показано на рис.10.4.

Преобладает перенос осадков вдоль шельфа на запад по направлению результирующего течения и от берега к его бровке, которая располагается примерно на глубине 75 м в районе измерений. Такой характер направлений переноса взвеси, вероятнее всего, определяется прохождением анциклонических вихрей, поскольку эрозия и взвешивание осадков происходят при высоких скоростях течения, которые, как отмечалось выше, приурочены по времени к моментам смены его направления с восточного на западное.

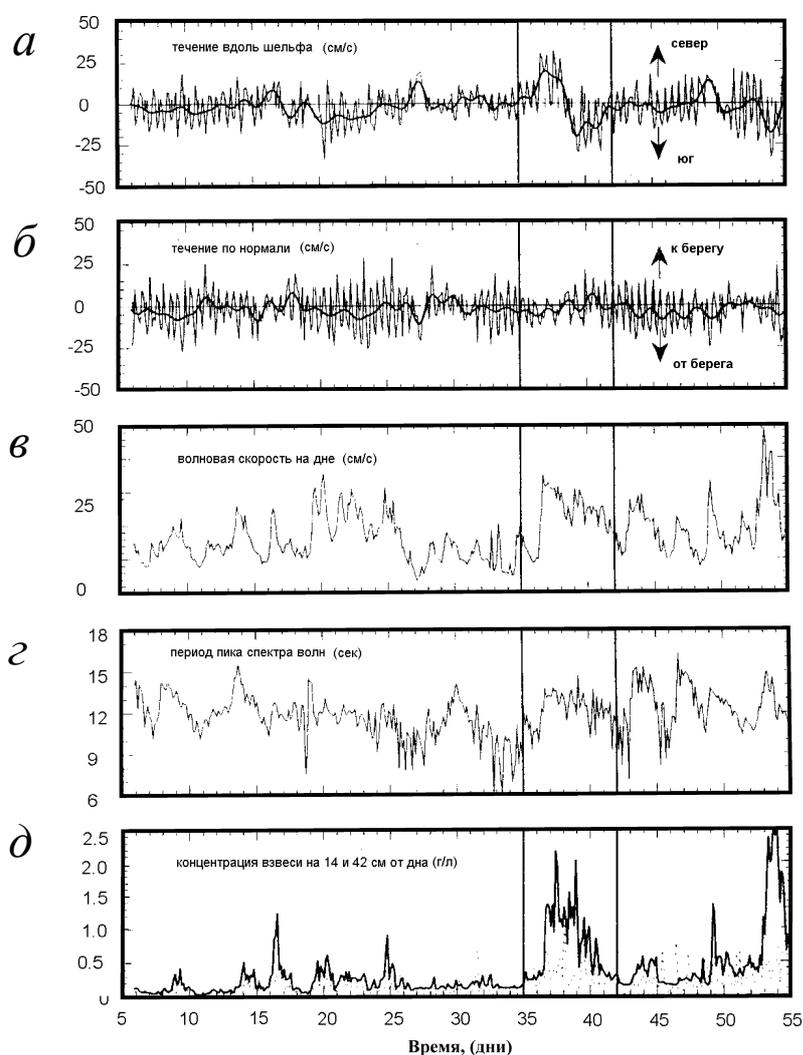


**Рис.10.3.** Интенсивность эрозии донных осадков течением для разных критических значений донного напряжения трения. а) – 0.1 Па; б) – 0.2 Па; в) – 0.5 Па

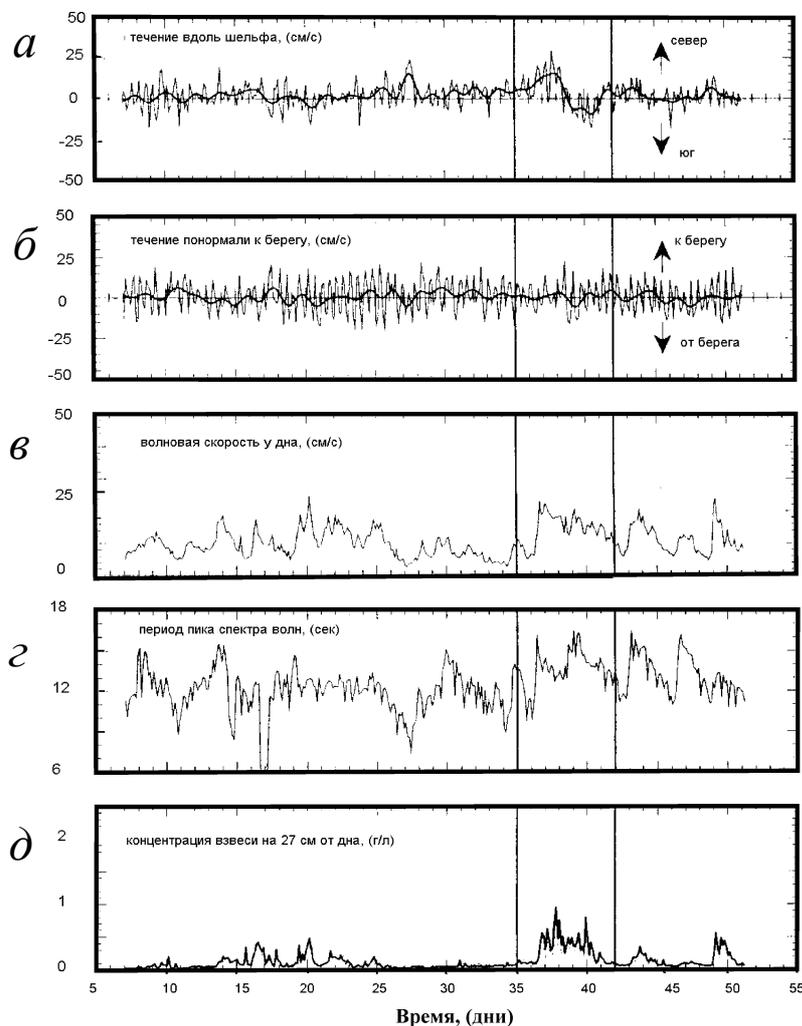


**Рис.10.4.** Изменение во времени потока взвеси вдоль берега и по нормали к нему для случая  $\tau_{cr} = 0.1$  Па

Кроме течений важным фактором взвешивания илистых осадков со дна являются сильные штормовые волнения. Это подтверждается детальными натурными измерениями на калифорнийском шельфе во время эксперимента STRATAFORM (Ogston, Sternberg, 1999; Walsh, Nittrouer, 1999; Wright, Kim, Friedrichs, 1999). Измерения течений и концентрации взвеси проводились в придонном слое на глубинах 60 и 70 м. Состав донных осадков был сходен с приведенным на рис.10.1. Результаты синхронных измерений концентрации взвешенных осадков и скоростей воды в придонном слое в течение нескольких месяцев показали, что взвешивание наносов происходит преимущественно в штормовые периоды (рис.10.5-10.6). В эти периоды времени концентрация взвеси вблизи дна достигала 2 г/л на глубине 60 м и 1 г/л на глубине 70 м. Перенос взвеси с шельфа на континентальный склон осуществлялся



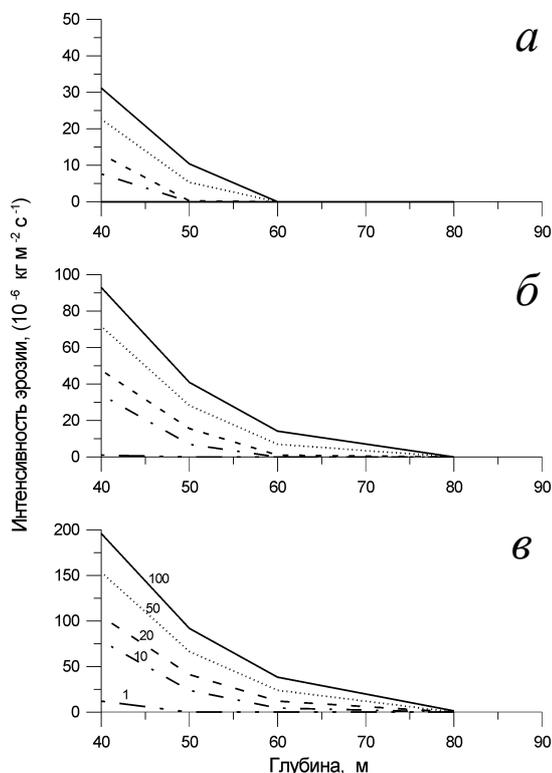
**Рис.10.5.** Временные серии придонных течений, волновых орбитальных скоростей, периода волн и концентрации взвешенных наносов. Шельф северной Калифорнии, глубина 60 м. Толстые сплошные линии на а) и б) - низкочастотные флуктуации скорости течения. (Wright et al., 1999)



**Рис.10.6.** Временные серии придонных течений, волновых орбитальных скоростей, периода волн и концентрации взвешенных наносов. Шельф северной Калифорнии, глубина 70 м. Толстые сплошные линии на а) и б) - низкочастотные флуктуации скорости течения. (Wright et al., 1999)

поперечной изобатам компонентой придонного течения, которая на записях скорости присутствовала лишь в отдельные периоды времени. Вынос наносов с шельфа на континентальный склон подтверждается данными измерений с помощью седиментационной ловушки, которая была установлена на континентальном склоне в районе измерений.

К сожалению подобных измерений на шельфе Черного моря не проводилось. Оценка возможности эрозии илистых осадков по данным длительных наблюдений параметров волн с буя в районе Геленджика показала, что она возможна в зоне глубин < 50 м в моменты времени, когда высота волн 30% обеспеченности превышала 3 м, а их период был около 10 с. Для Краснодарского побережья такие параметры волн могут иметь место для штормов, период повторяемости которых от одного до нескольких десятков лет (Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 4. Черное море, 1991).



**Рис.10.7.** Расчетные значения интенсивности эрозии илистых осадков с  $\tau_{cr} = 0.1$  Па (а), 0.2 Па (б) и 0.5 Па (в) штормами редкой повторяемости на разных глубинах российского шельфа Черного моря. Период повторяемости показан на нижнем рисунке цифрами

нах от 30-40 до 80 м. Поскольку бровка шельфа на кавказском побережье Черного моря обычно располагается на глубинах от 70 до 100 м, то вынос тонкодисперсных осадков при отсутствии течений штормовыми волнениями с шельфа на континентальный склон возможен только для участков, на которых бровка шельфа располагается на глубинах менее 80 м. Однако, повторяемость таких условий чрезвычайно мала. Если же во время таких редких штормов у дна будет иметь место течение западного направления (КЦТ), то взвешиваемые осадки будут переноситься в сторону бровки шельфа за счет отклонения влево вектора скорости в донном экмановском пограничном слое.

Приведенные оценки и данные натурных измерений позволяют предполагать, что ресуспензия поверхностных осадков на шельфе возможна только во время сильных штормов и течений с высокими скоростями. Наиболее вероятными механизмами транспорта тонкодисперсных осадков и связанными с ними загрязнениями с шельфа на континентальный склон могут быть антициклонические вихри и перенос в донном экмановском пограничном слое. Однако повторяемость таких условий очень мала.

На рисунке 10.7. приведены рассчитанные значения интенсивности эрозии илистых осадков на шельфе для штормовых волнений с периодом повторяемости от 1 раза в год до 1 раза в 100 лет. На глубинах более 80 м даже экстремальные шторма с периодом повторяемости в 100 лет не способны взвешивать тонкодисперсные осадки со дна. В предположении, что волны подходят по нормали к берегу и отсутствии течений, перенос взвешенных осадков в поперечном к берегу направлении будет определяться соотношением между стоковым переносом в сторону берега и вынужденными длиннопериодными волнами в сторону бровки шельфа.

Оценки показали, что результирующий перенос взвеси на глубинах 40-80 м будет направлен от берега в сторону моря со скоростью порядка 1 см/с. На глубинах более 80 м скорости стокова переноса и длиннопериодных волн вблизи дна близки к нулю и перенос осадков только под действием штормовых волн при отсутствии течений невозможен. С помощью такого механизма наиболее вероятен перенос эродируемых осадков в сторону моря на глуби-

## ***Глава 11. ПЕРЕНОС И РАССЕЙВАНИЕ З АГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В БУХТАХ (НА ПРИМЕРЕ ГЕЛЕНДЖИКСКОЙ БУХТЫ)***

---

---

В предыдущей главе были рассмотрены основные механизмы переноса загрязняющих веществ на шельфе для открытых участков берега. В отличие от них, для бухт характерно отсутствие стационарных течений и существенно более высокий уровень загрязнения, определяемый антропогенным влиянием крупных городов и ограниченностью водной акватории. Основными факторами, определяющими циркуляцию воды в бухтах, являются: локальные течения ветрового генезиса; кратковременные вторжения вод со стороны моря в моменты прохождения антициклонических вихрей в прибрежной зоне; геометрия берега. Для крупных бухт российского побережья Черного моря (Анапской, Новороссийской, Геленджикской, Туапсинской) эти условия существенно различаются. В этой главе рассмотрены основные особенности переноса загрязняющих веществ на примере Геленджикской бухты, наиболее изученной в настоящее время.

### **11.1. Источники поступления ЗВ и краткая характеристика экологической ситуации**

Экологическая ситуация в Геленджикской бухте определяется действием двух основных факторов: интенсивностью сброса в бухту загрязняющих веществ и скоростью их вывода в открытое море (Yesin, Komarov, Karnaukhova, 1993; Kos'yan, Yesin, 1993; Yesin, Kos'yan, 1993; Yesin, Kos'yan, Karnaukhova, 1994; Yesin, Kos'yan, 1999; Якушев и др., 2000). Основной объем ЗВ сбрасывается в Геленджикскую бухту в ее северо-западной и юго-восточной частях. В северо-западной части находится цех по переработке рыбы, а в юго-восточной основной объем ЗВ выносит в бухту река Су-Аран, проходящая по промышленной части города.

Интенсивное загрязнение бухты происходит во время ливневых дождей вследствие выноса загрязняющих веществ с территории города, а так же с виноградников и других сельхозугодий. Далее ситуация может развиваться по двум сценариям. Если после дождя наступает штиль, то уровень загрязнения морской воды в течение длительного времени будет превышать фоновые значения в несколько раз. Особенно это касается приурезовой зоны. Если же после дождей дует ветер северных или южных румбов, то происходит вентиляция бухты, за счет выноса загрязненных вод из нее и поступления более чистой воды из прибрежной зоны моря.

В сухое время года бухта загрязняется незначительно. Практически на всей акватории концентрация поллютантов в воде меньше значений ПДК. Исключение составляет лишь район устья реки Су-Аран, где концентрация загрязняющих веществ почти всегда превышает значения ПДК.

В таблице 11.1 представлен диапазон изменения содержания различных загрязняющих веществ в реке Су-Аран. Поскольку расход воды в реке при отсутствии дождя незначительный (несколько десятков м<sup>3</sup> в час), то “пятно” грязной воды в устье небольшое и составляет десятые доли гектара.

**Таблица 11.1.**  
**Содержание загрязняющих веществ в воде реки Су-Аран.**

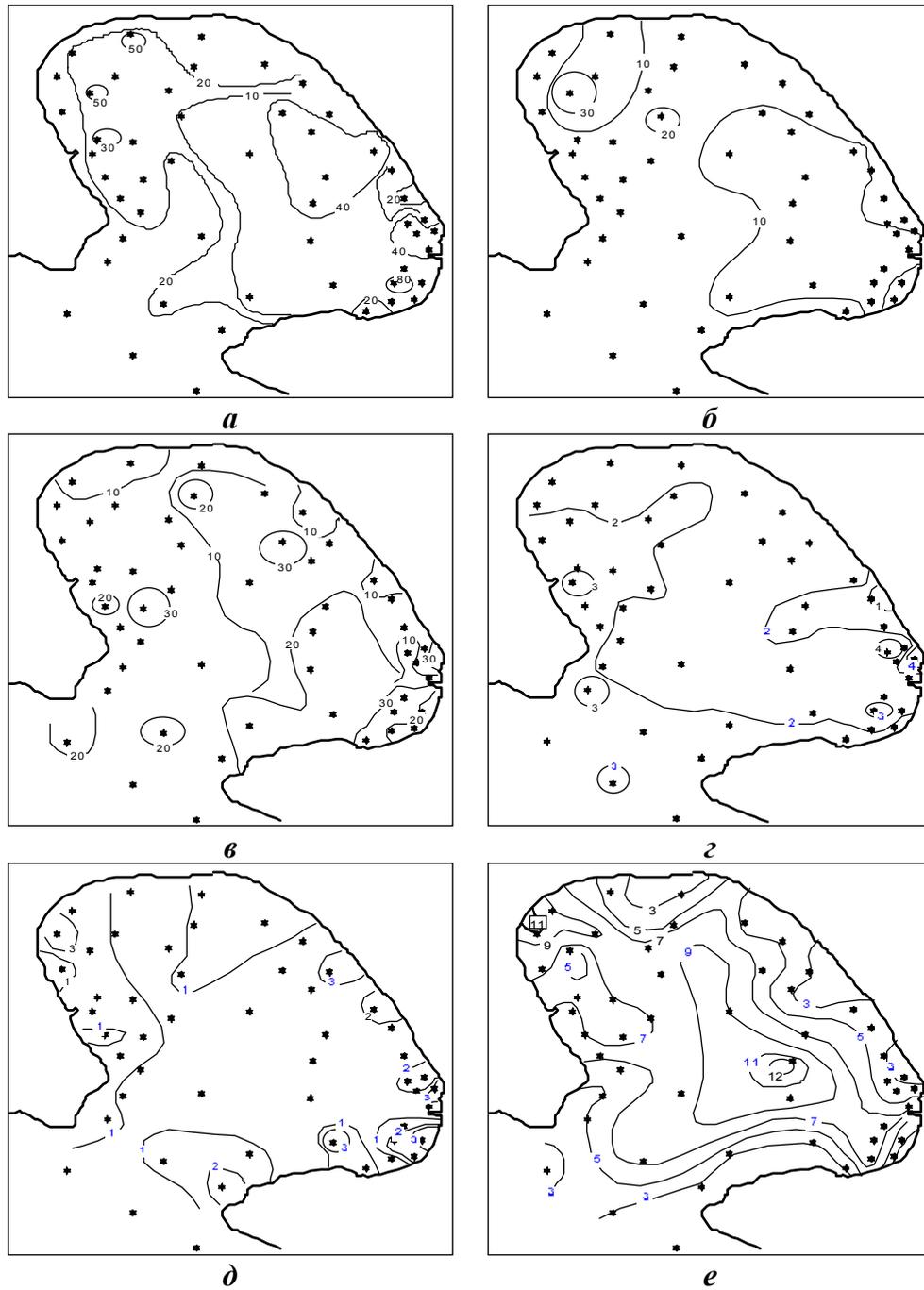
Вещество	Диапазон изменения, мг/л
БПК5	80,7-113,4
Взвешенные вещества	111,2-150,2
Азот аммонийный	13,8-24,5
Азот нитритный	0,032-0,047
Азот нитратный	5,0-7,0
Хлориды	25,0-57,2
Сульфаты	35,4-79,1
СПАВ	5,4-6,7
Фосфаты	2,81-17,47
Железо общее	0,9-3,8
ХПК	127,4-164,8
Растворенный кислород	3,2-4,0
Фенолы	1,5-1,97
ПАУ	7,3-13,4
Нефтепродукты	43,8-69,4
Марганец	2,114-3,152
Свинец	1,118-4,486
Цинк	7,14-8,51

Содержание ряда загрязняющих веществ в морской воде в весенний период представлено на рисунке 11.1. Эти исследования были выполнены в 1995 году во время неустойчивого ветра, меняющего свое направление.

С точки зрения индикации загрязнения показателем стагнации (загнивания) бухты важнейшими являются восстановленные формы азота (ионы аммония NH<sub>4</sub> и нитритов NO<sub>2</sub>). Поэтому эти два иона были суммированы и построены карты как общего содержания азота, так и его редуцированных форм (см. рис. 11.1а и рис. 11.1б). На этих картах видно, что наиболее неблагоприятной является восточная часть бухты, примыкающая к пассажирскому порту, устью реки Су-Аран, пляжам старой курортной зоны и городского пляжа. Об этом свидетельствует также карта распределения фосфатов.

В меньшей степени загрязнен биогенными веществами северо-западный сектор бухты, который, с точки зрения гидрологии, является относительно застойной акваторией, но тут нет источников ЗВ. Западная же часть бухты является наиболее чистой и характеризуется, как правило, наименьшими концентрациями азотных соединений и фосфатов (10 мг/м<sup>3</sup>).

Повышенные концентрации тяжелых металлов (цинка, меди, свинца) тяготеют к приурезовой зоне, а их максимальные содержания приурочены к устью р.Су-Аран, выходам ливневых стоков из густо населенной части города и зоне водосборной площади виноградников в окрестностях города. Как правило, содержание тяжелых металлов не превышает их ПДК для морской воды.



**Рис. 11.1.** Распределение в поверхностном слое морской воды: *a*) общего биогенного азота ( $\text{mg/m}^3$ ); *б*) восстановленных форм азота ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^-$ ) ( $\text{mg/m}^3$ ); *в*) цинка ( $\mu\text{g/l}$ ); *г*) меди ( $\mu\text{g/l}$ ); *д*) свинца ( $\mu\text{g/l}$ ); *е*) нефтепродуктов ( $n \times 10^{-3} \text{ mg/l}$ )

Содержание нефтепродуктов в воде колеблется от 0,03 до 0,12 мг/л при среднем значении 0,05 мг/л. Предельно допустимой концентрацией нефтяных компонентов в водах является величина 0,05 мг/л.

На рисунке 11.1е показано распределение нефтепродуктов в поверхностном слое воды. Наиболее сильно вода загрязнена нефтепродуктами в центре бухты, хотя источников загрязнения там нет. Объясняется такое распределение нефтепродуктов особенностями циркуляции воды. До проведения исследований максимальная концентрация нефтепродуктов в воде была в районе устья реки Су-Аран – пассажирский причал. При северо-восточном ветре поверхностная вода стала перемещаться в бухту, а чистая донная вода открытого моря достигла берега. Поэтому концентрация нефтепродуктов у берега такая же, как в открытом море – 0,03-0,04 мг/л; а в центре бухты – примерно в 3 раза выше.

Газообразные углеводороды представлены преимущественно метаном с содержанием от  $0,37 \cdot 10^{-4}$  до  $14,54 \cdot 10^{-4}$  мл/л при среднем значении  $1,45 \cdot 10^{-4}$  мл/л. Суммарное содержание гомологов метана колеблется от 0,01 до  $33,36 \cdot 10^{-6}$  мл/л при среднем значении  $1,21 \cdot 10^{-6}$  мл/л. Такие содержания углеводородных газов обычны для морской воды Черного моря.

### 11.2. Моделирование циркуляции воды и переноса ЗВ в Геленджикской бухте

Основные схемы циркуляции воды в Геленджикской бухте получены на базе инструментальных измерений течений и представлениях о характере влияния ветра на перенос воды (Кривошея и др., 1995). Недостатком этих схем является то, что наблюдения не охватывали всю акваторию бухты и, по этой причине, некоторые особенности течений оставались нераскрытыми. Для более детальной характеристики циркуляции вод в бухте под действием ветров с берега и оценки процессов выноса загрязняющих веществ из бухты выполнены расчеты по известной математической модели, включающей в себя трехмерные полные уравнения геофизической гидродинамики.

На рисунке 11.2 показана циркуляция воды в бухте при умеренных ветрах с берега на разных горизонтах от поверхности воды. В поверхностных слоях вода выходит из бухты в море. При этом происходит интенсификация течения у берегов. На глубине примерно 5 метров течение очень слабое. Ниже течение направлено в сторону бухты. Таким образом, во время действия ветров указанных направлений происходит очищение бухты от загрязняющих веществ. Загрязненные воды бухты в поверхностном слое уходят в открытое море, а чистая морская вода заполняет бухту. Полная замена воды происходит, в зависимости от скорости ветра, за 10 и более часов.

Для оценки распределения и выноса из бухты ЗВ при северо-восточных ветрах 4 августа 2000 г. была проведена гидрохимическая съемка поверхностных слоев воды Геленджикской бухты. Съемке предшествовала следующая гидрометеорологическая ситуация: 2-го августа после продолжительного (около 2-х месяцев) отсутствия осадков на фоне полного штиля прошли сильные ливни. В связи с отсутствием ветра загрязненная вода оставалась в зоне уреза воды вблизи источников загрязнения до 4-го августа, когда начал дуть ветер северо-восточного направления (от берега). Под действием ветра поверхностный слой воды (содержащий основную массу поступивших накануне с ливневым стоком загрязнений), оторвался от берега и начал дрейфовать к выходу из бухты. В придонном слое наоборот, начался приток чистой морской воды из открытого моря. В прибрежной

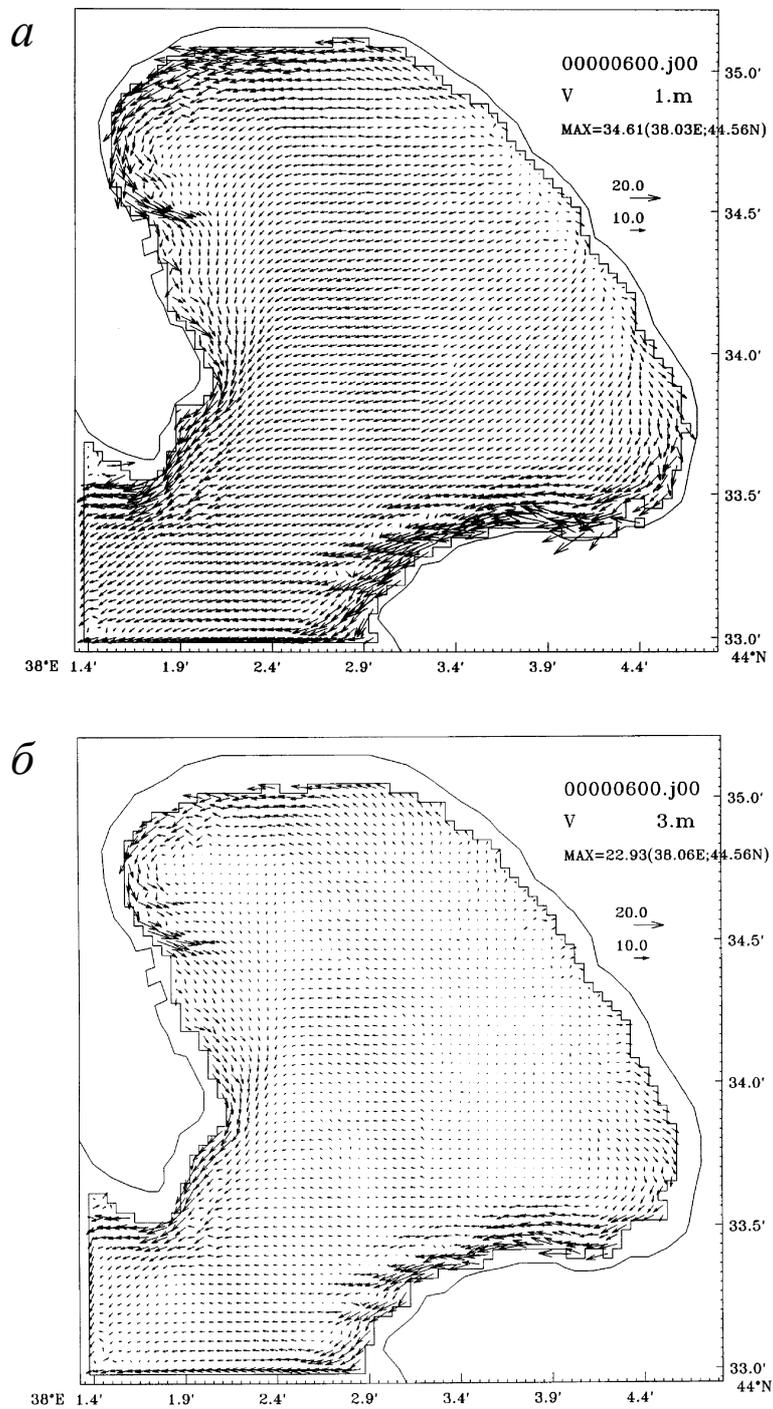


Рис. 11.2. Циркуляция воды в бухте во время ветра СВ скоростью 8-10 м/сек на глубине:  
а) - 1 м; б) - 3 м.

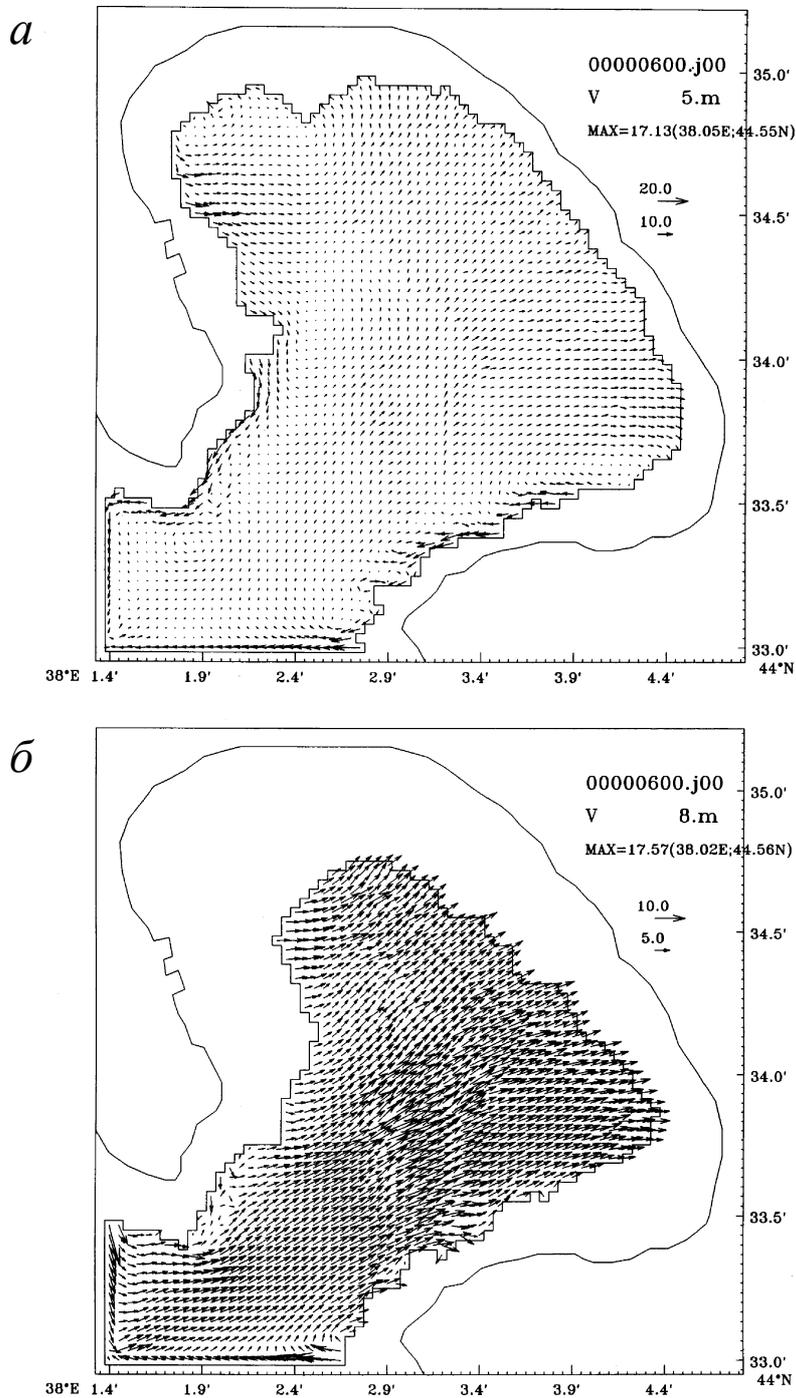


Рис. 11.2 (продолжение). Циркуляция воды в бухте во время ветра СВ скоростью 8-10 м/сек на глубине: а) - 5м; б) - 8 м.

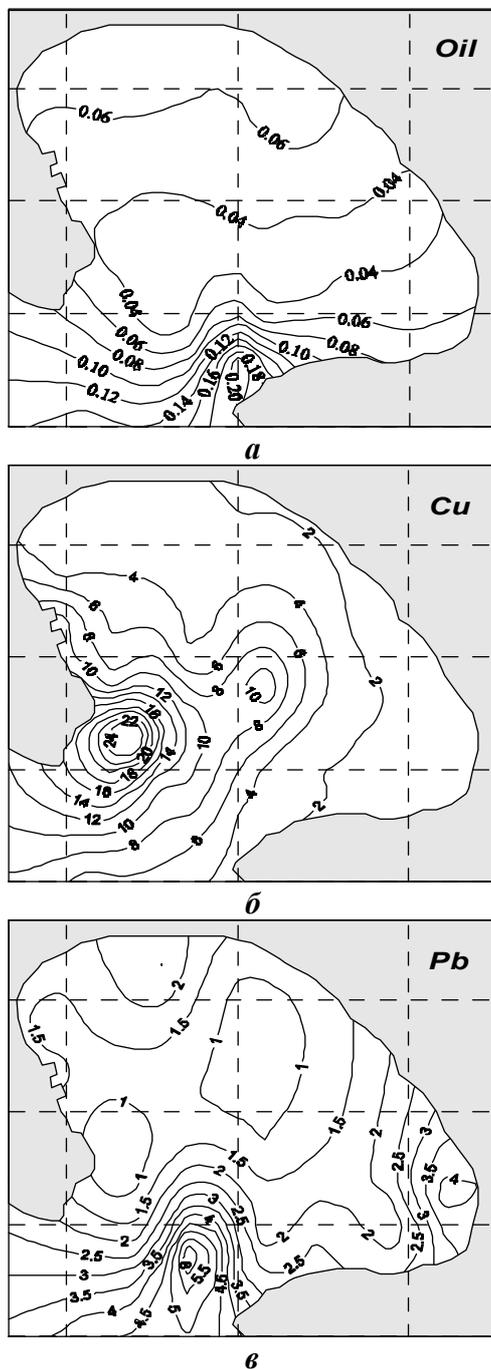


Рис. 11.3. Распределение в поверхностном слое морской воды: а) нефтепродуктов (мг/л\*10); б) меди (мкг/л); в) свинца (мкг/л)

зоне эта вода начала выходить на поверхность. Это было зафиксировано проведенной гидрохимической съемкой бухты.

Наблюдения проведены на 22 станциях, сетка которых охватывает всю акваторию бухты, ее горло и взморье напротив выхода из бухты. Представленные материалы наблюдений получены спустя 7 часов после начала действия северо-восточного ветра.

По материалам наблюдений построены характерные схемы распределения концентрации различных ЗВ в поверхностном слое воды, раскрывающие особенности механизма накопления и вывода из бухты ЗВ.

На рисунке 11.3а представлено распределение нефтепродуктов. Как видно, линза загрязненных вод находится вблизи южного (Толстого) мыса. Это положение пятна соответствует схеме течений воды в бухте при северо-восточном ветре (см. рис. 11.2). По предыдущим съемкам известно, что нефтепродукты накапливаются в юго-восточной части бухты. Затем, во время северо-восточного ветра они вдоль берега выходят в открытое море.

Рисунок 11.3в дает представление о выходе из бухты пятна воды с высоким содержанием солей свинца. Это пятно формируется на значительной части акватории бухты в результате функционирования автотранспорта и при норд-осте самым коротким путем выходит в море.

Медь поступает в бухту с расположенных у северо-западных берегов виноградников. Она является составной частью ядохимикатов, которыми регулярно опрыскивают виноград. Во время дождя медь смывается с листьев, с почвы и поступает в бухту. Во время северо-восточного ветра пятно загрязненной воды выходит в море, двигаясь вдоль северного (Тонкого) мыса с потоком воды (см. рис. 11.3б). А в это время в бухту в

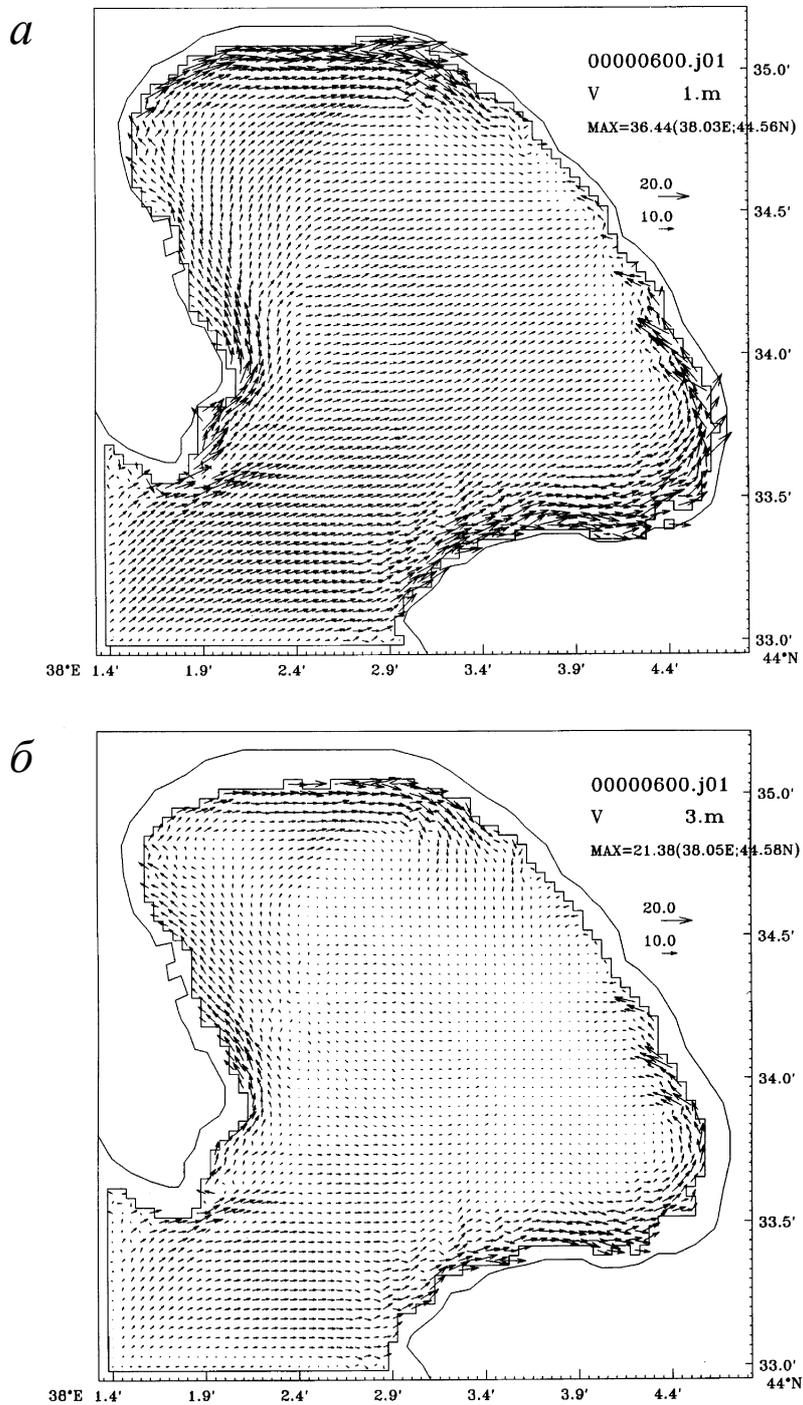


Рис. 11.4. Циркуляция воды в бухте во время ветра ЮЗ скоростью 8-10 м/сек на глубине: а) – 1 м; б) – 3 м.

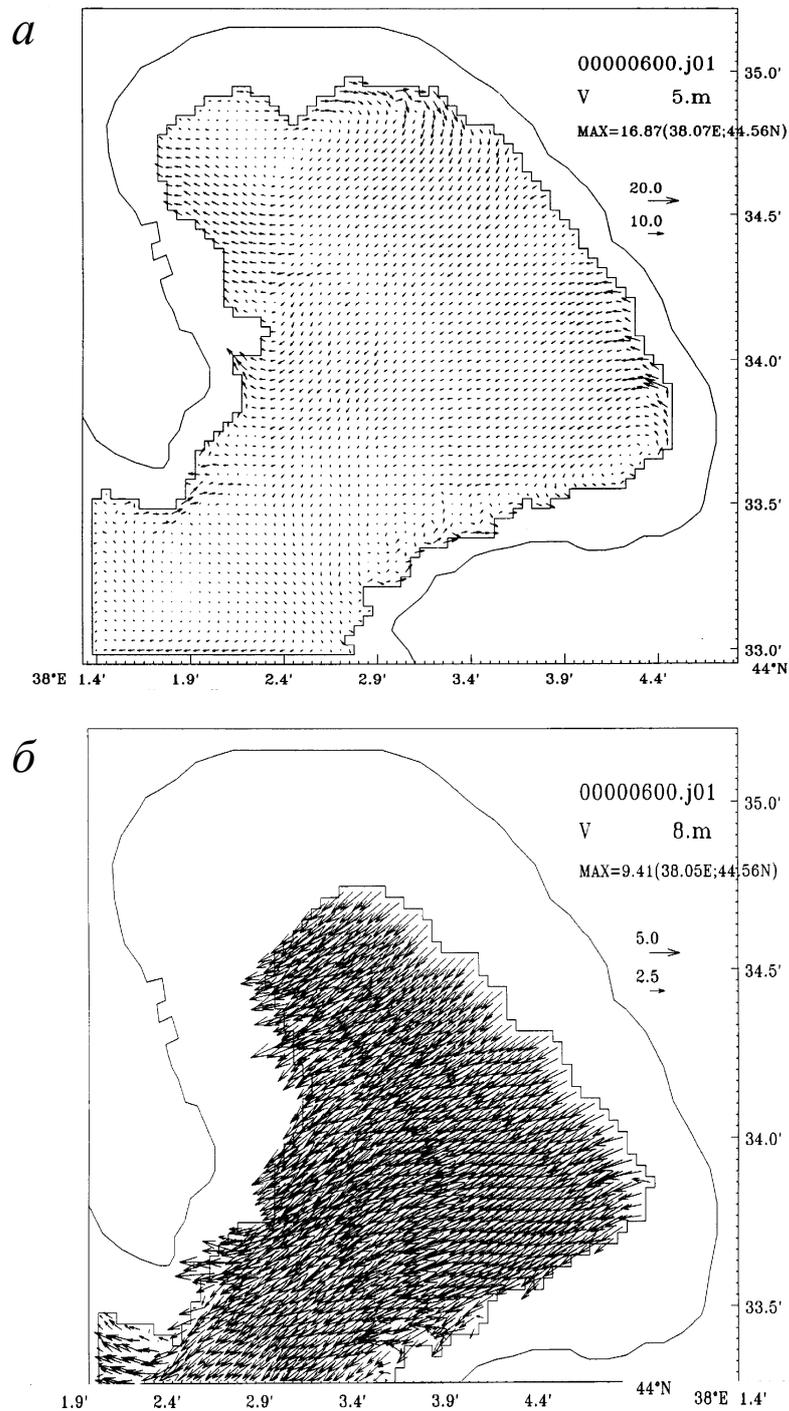


Рис. 11.4 (продолжение). Циркуляция воды в бухте во время ветра ЮЗ скоростью 8-10 м/сек на глубине: в) – 5м; г) – 8 м.

придонном слое поступает морская вода с фоновой концентрацией воды открытого моря, равной 2 мкг/л.

Транспорт ЗВ из бухты при северо-восточных ветрах соответствует рассчитанным схемам циркуляции воды в бухте.

Самоочищение бухты происходит достаточно быстро. Уже через 7 часов после начала ветра большая часть бухты была очищена от ЗВ.

Во время ветров, дующих с моря, картина движения воды в бухте обратная. В поверхностном слое вода втекает в бухту (рис. 11.4). Скорости течения у берегов больше, чем в глубокой части бухты. При этом в береговой зоне происходит погружение загрязненных вод на глубину, и в придонном слое они выходят в открытое море.

Поверхность раздела потоков воды, втекающих в бухту и вытекающих из нее, находится на глубине примерно 5 метров.

Из представленных схем течения видно, что во время северо-восточных и юго-западных ветров загрязненная вода будет уходить в море возле мысов.

---

## ***ЗАКЛЮЧЕНИЕ***

---

---

Объектом исследований, результаты которых изложены в этой монографии, являются гидродинамические процессы в прибрежно-шельфовой зоне и их взаимосвязь с процессами транспорта наносов и переноса загрязняющих веществ.

Дана подробная характеристика аппаратуры и методов, которые использовались в натуральных экспериментах, а также описание полигонов и условий измерений, выполненных авторами в 1993-2000 гг. на Черном, Северном и Средиземных морях. Приведены результаты моделирования гидродинамических и литодинамических процессов и рассматривается их применимость для решения экологических проблем прибрежно-шельфовой зоны моря.

Статистический анализ длительных рядов измерений ветрового волнения со стационарного буя в районе Геленджика показал, что маргинальные распределения высот волн на этапе квазиоднородности на глубокой воде подчинены закону Вейбулла с параметром формы близким к 2. Распределение периодов волн также достаточно хорошо аппроксимируется законом Вейбулла с параметром формы 3.5. Условные распределения высот волн при фиксированном периоде и неизменной высоте принадлежат к классу распределений Вейбулла с полученными параметрами формы для  $h|t$  – от 1,80 до 3,74, для  $t|h$  – от 3,24 до 5,79. Параметры формы практически не зависят от степени развития волнения и типа волновых систем. Шторма и “окна погоды” на синоптическом интервале изменчивости можно описать как превышение или, соответственно, не превышение заданного порогового уровня. Проведена типизация штормов и “окон погоды” по их форме на базе методов многомерной статистики и построены матрицы вероятностей перехода для штормов и “окон погоды”.

Изменения фактора групповитости и среднего числа волн в группе подобны для рельефа дна и при приближении волн к берегу фактор групповитости уменьшается, периодичность следования групп волн сохраняется, а среднее число волн в группе локально возрастает за счет увеличения средней частоты спектра ветровых волн. Ввиду сложности картины трансформации спектра волн пока не представляется возможным установить однозначное соответствие между изменениями фактора групповитости, числом волн в группах и особенностями спектральной структуры волн. Можно лишь с определенностью сказать, что диссипация энергии при обрушении волн не оказывает видимого воздействия на эти параметры, а нелинейные процессы являются основной причиной их изменений. Уменьшение фактора групповитости по мере приближения волн к берегу

происходит как за счет нелинейной перестройки спектра волн в области частот первых гармоник, так и за счет заполнения промежутков между группами первых гармоник группами высших гармоник.

Главной особенностью течений на российском шельфе Черного моря является их бимодальный характер – перенос вод вдоль берега в двух диаметрально противоположных направлениях: северо-западном (западном) и юго-восточном (восточном). При этом, северо-западное направление преобладает над юго-восточным как по повторяемости направлений, так и по величине скорости. Средний вектор течения за продолжительные (более 6 месяцев) периоды на большей части шельфа всегда направлен на северо-запад и в конкретном районе его направление согласуется с направлением береговой линии. Бимодальный режим течений формируется в результате возникновения на прибрежной периферии Кольцевого циклонического течения (КЦТ) прибрежных антициклонических вихрей (ПАВ) различного масштаба.

В зоне от берега до глубин 10-15 м повторяемость течений двух противоположных направлений близка к равновероятной. При удалении от берега повторяемость течений северо-западного направления увеличивается и на внешней части шельфа (глубина 50-100 м) повторяемость северо-западного направления превышает повторяемость юго-восточных течений в несколько раз. На удалении 10-15 км от берега (глубина 500-600 м) режим течений становится мономодальным – в подавляющем большинстве случаев течения направлены вдоль берега на северо-запад.

Бимодальный режим течений на российском шельфе в пределах 100-метровой изобаты можно считать квазистационарным. Поэтому статистические характеристики, полученные по длительному ряду измерений (не менее года) в какой-либо точке шельфа, расположенной в районе от Анапы до Адлера (ширина шельфа – от 5 до 10 км), будут представительными для всех точек района, расположенных на той же глубине. Что же касается широкого шельфа от Керченского пролива до Анапы, то, к сожалению, экспериментальных данных о течениях в этом районе очень мало. Сделать какие-либо выводы о режиме течений в этой части акватории невозможно. Можно только заметить, что здесь в формировании режима течений возрастает роль ветра.

В монографии дан подробный анализ и обобщение современных результатов натурных исследований и математического моделирования прибрежных течений штормового происхождения (вдольбереговых, компенсационных и разрывных). Подробно рассмотрены результаты измерений в натуральных условиях, а также основные подходы к моделированию вдольбереговых, компенсационных и разрывных течений для случаев монохроматических и нерегулярных волн. На базе сравнения результатов численного моделирования и данных натурных наблюдений обсуждаются возможные пути совершенствования моделей.

Анализ натуральных данных позволил выявить основные черты пространственно-временной изменчивости концентрации наносов во время штормов в береговой зоне бесприливных морей. На временных масштабах с осреднением порядка длительности шторма, концентрация возрастает монотонно с уменьшением глубины вплоть до линии обрушения волн. Мористее прибойной зоны вертикальный профиль средней по времени концентрации и среднего диаметра взвешенных частиц характеризуются большими градиентами в придонном слое 20-50 см толщиной, и их незначительным изменением выше этого слоя. Выявлены основные различия характера распределения концентрации взвешенных частиц при прямом и косом подходах волн к берегу, обусловленные разной интенсивностью вдольберегового водообмена.

Анализ полей взвеси на временных масштабах, когда осреднение равно длительности части шторма, позволил сформулировать представления об изменчивости в ходе шторма основных показателей, характеризующих распределения концентрации наносов, взвешенных на разных участках береговой зоны. По характеру профиля концентрации взвешенных наносов можно выделить зоны, соответствующие слабой и сильной трансформации волн, а также участкам их обрушения. При этом вид вертикального профиля концентрации взвешенных наносов зависит и от типа обрушения волн. Мористее границы начала разрушения наиболее крупных волн основная масса твердого материала поднимается во взвесь в стадию развитого волнения. Ближе к берегу картина значительно сложнее, и на каждом участке масса поднятого во взвесь материала зависит от соотношения количества проходящих и разрушающихся здесь волн, а также от типа разрушения.

По результатам анализа натурных и лабораторных данных предложены методы определения условий существования активных песчаных рифелей и их стирания при усилении волнового режима. Разработан метод прогноза параметров волновых рифелей.

Предложена модель распределения средних значений концентрации и статистических характеристик состава наносов, взвешенных приливным потоком с осреднением за время равное одному или нескольким промежуткам между состояниями “кроткой воды”. Модель основана на диффузионной теории взвешивания наносов и подтверждена данными натурных измерений.

Рассмотрены основные физические механизмы, которые контролируют, амплитудные и фазовые соотношения флуктуаций концентрации и расхода взвешенных наносов в береговой зоне моря на временных масштабах меньших, чем период пика спектра ветровых волн. Мористее зоны обрушения, в зоне слабodeформированных волн и рифельного дна, основным механизмом взвешивания песчаных наносов со дна являются вихри, формируемые за гребнями рифелей. Взвешивание наносов со дна происходит только при прохождении групп высоких волн. Пики концентрации приурочены к моментам смены знака скорости в фазы торможения и ускорения потока. При этом наибольшие значения концентрации наблюдаются в фазу торможения потока.

Статистически значимые значения когерентности между флуктуациями концентрации и нормальной к берегу компонентой придонной скорости имеют место на частоте максимума спектра волн, а между концентрацией и огибающей скорости – на частотах  $< 0,08$  Гц. Флуктуации концентрации отстают по фазе на  $\pi/2$  относительно нормальной к берегу компоненты скорости воды на частоте максимума спектра волн, и относительно ее огибающей на величину от  $\pi/4$  до 0 при частотах  $< 0,08$  Гц.

Выброс песка вихрями, формируемыми вследствие сдвиговой неустойчивости донного пограничного слоя, является наиболее вероятным механизмом взвешивания песчаных наносов в зоне сильнодеформированных волн перед их обрушением, где вследствие больших волновых скоростей происходит стирание рифелей и дно оказывается приблизительно плоским. Взвешивание наносов происходит в фазу торможения потока после прохождения гребней волн. Статистически это подтверждается значимыми значениями когерентности между флуктуациями концентрации и придонной скорости воды на частоте максимума спектра волн, а также наличием сдвига фаз между этими параметрами на этой частоте, равным  $-\pi/4$ . На низких частотах корреляция между флуктуациями концентрации, скорости воды и ее огибающей не выявлена.

Макротурбулентные вихри, формируемые под обрушающимися волнами, являются доминирующим механизмом взвешивания песчаных наносов в зоне разрушения волн.

Наиболее интенсивные пики концентрации наблюдаются при обрушении гребня волн (plunging) и во времени приурочены к их переднему фронту. Поскольку в районе крутого переднего фронта волны вертикальная компонента волновой скорости направлена от дна, то поток взвешенных наносов также направлен от дна в толщу воды. Это подтверждается статистически значимыми показателями когерентности между флуктуациями концентрации вертикальной компонентой скорости воды, наблюдаемыми как на частоте максимума спектра волн, так и на низких частотах.

Во внутренней части зоны разрушения волн, где преобладает процесс рассыпания их гребня, значимые величины когерентности наблюдаются только между флуктуациями концентрации и турбулентной кинетической энергией. Поскольку турбулентность определяет взвешивание наносов и отсутствует зависимость между значениями турбулентной энергии и скоростью воды в зоне разрушения волн, то не удивительно, что когерентность между флуктуациями концентрации и скоростью воды очень низкая, как это было продемонстрировано выше.

Наиболее высокие значения концентрации взвеси возникают во время прохождения через точку измерений крупных вихрей, когда интенсивность пульсаций скорости в несколько раз превышает их среднеквадратичное значение. Этот вывод качественно согласуется с данными лабораторных исследований турбулентности под разрушающимися волнами (Ting, Kirby, 1995, 1996; Cox, Kobayashi, 1999).

Результаты натурных исследований потока взвешенных наносов и их сравнение с энергетическими моделями показывают, что последние удовлетворительно предсказывают поток взвеси только для условий, когда скорости среднего течения превышают 0,15 м/с. Вклад осцилляционных движений воды такого типа моделями описывается неудовлетворительно. Это связано с тем, что в зоне разрушения волн концентрация взвеси определяется макромасштабной турбулентностью при обрушении волн, определяемой типом разрушения волн и прямо не зависит от скорости воды, а в зоне неразрушенных волн между концентрацией взвешенных наносов и скоростью воды существует сдвиг по фазе, который не учитывается в энергетических моделях.

Подробно рассмотрены модели для прогноза морфодинамических изменений подводного склона и береговой линии под действием нерегулярных штормовых волн и течений. Представлены модели для расчета деформаций профиля подводного склона и его профиля равновесия. Обсуждаются локальный и интегральный подходы к долгосрочному моделированию прибрежной морфодинамики, имеющие важное практическое значение. На конкретных примерах показано, что каждый из них обладает своими достоинствами и недостатками. Наиболее рациональным, по-видимому, является совместное применение обоих подходов, обеспечивающее взаимный контроль и повышающее достоверность долгосрочного морфодинамического прогноза.

Рассмотрены возможные механизмы переноса загрязняющих веществ и тонкодисперсных осадков из береговой зоны на шельф и континентальный склон. Выполненные оценки и данные натурных измерений позволяют предполагать, что ресуспензия поверхностных осадков на шельфе возможна только во время сильных штормов и течений с высокими скоростями. Наиболее вероятными механизмами транспорта тонкодисперсных осадков и связанных с ними загрязнений с шельфа на континентальный склон могут быть антициклонические вихри и перенос в донном экмановском пограничном слое. Основным механизмом самоочищения полузакрытых бухт является циркуляция вод, формируемая господствующими ветровыми условиями.

Представленные в монографии материалы натурных исследований и моделирования позволили достичь определенного прогресса в понимании динамических процессов береговой зоны моря. Полученные результаты могут найти применение на практике и, прежде всего, при реализации проектов в прибрежно-шельфовой зоне Черного моря. Представления о волновом режиме, динамике водных масс, транспорте осадков и морфодинамике, представленные в монографии, будут полезны при решении проблем, связанных с оценками антропогенного воздействия на морскую среду и выработкой мероприятий по минимизации такого воздействия.

---

## ***СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ***

---

---

- Айбулатов Н.А. Исследование вдольберегового перемещения песчаных наносов в море. М.: Наука. 1966. 159 с.
- Айбулатов Н.А. Динамика твердого вещества в шельфовой зоне. Л.: Гидрометеиздат. 1990. 271 с.
- Айбулатов Н.А., Косьян Р.Д., Орвику К.К. Результаты литодинамических исследований из обитаемой лаборатории “Черномор”. Изв. АН ЭССР. Химия, геология. 1974. Т. 23. № 4. С. 344-351.
- Анцыферов С.М. Измерение перемещения взвешенных наносов в устьях и эстуариях. Гидротехническое строительство. 1998. № 4. С. 16-19.
- Анцыферов С.М. Некоторые задачи исследования движения наносов в береговой зоне моря. Человечество и береговая зона Мирового океана в XXI веке. М.: ГЕОС. 2001. С. 54-64.
- Анцыферов С.М., Дебольский В.К. Распределения концентрации взвесей в стационарном потоке над размываемым дном. Водные ресурсы. 1997. Т. 24. № 3. С. 270-276.
- Анцыферов С.М., Ефремов А.С. Прогноз условий существования и параметров песчаных рифелей, образованных волнением. Геоморфология. 1996. № 4. С.87-97.
- Анцыферов С.М., Кантаржи И.Г. Придонное граничное условие для расчета концентрации наносов, взвешенных волнами и течениями. Океанология. 2000. Т. 40. № 4. С.606-613.
- Анцыферов С.М., Косьян Р.Д. Дифференциация обломочного материала во взвесенесущем потоке. Процессы механической дифференциации обломочного материала в морских условиях. М.: Наука. 1981. С. 58-81.
- Анцыферов С.М., Косьян Р.Д. Взвешенные наносы в верхней части шельфа. М.: Наука. 1986. 224 с.
- Анцыферов С.М., Акивис Т.М. Распределение концентрации наносов, взвешенных приливным течением. Океанология. 1998. Т. 38. №. 5. С. 766-772.
- Асауленко Ш.А., Витошкин Ю.К., Карасик В.М., Криль С.И., Очерedyкo В.Ф. Теория и прикладные аспекты гидротранспортирования твердых материалов. Киев: Наукова думка. 1981. 364 с.
- Векслер А.Б. К вопросу о гидравлической крупности и коэффициенте сопротивления наносов. Изд. ВНИИТ. 1971. Т. 96. С. 74-89.
- Владимиров А.Т. Атлас динамики и морфологии советских берегов Черного моря. Москва. ИО АН СССР, Лаборатория рельефа дна и берегов морей. 1954. 71 с.

- Войцехович О.В. Натурные исследования штормовых течений и вдольберегового перемещения наносов на северо-западном побережье Черного моря. Дисс. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. М.: Ин-т океанологии им. П.П.Ширшова РАН. 1986. 203 с.
- Гаранин А.В. Применение дискриминантных функций для геохимической классификации геологически сходных объектов. Математические методы в геологии. М.: Наука. 1968. С. 43-48.
- Георгиев В.Т., Герасимов С.А., Попов Ю.И. Гидродинамическое состояние открытых вод северной половины Черного моря в 1992-1993 гг. Исследование экосистемы Черного моря. Одесса: УНЦЭМ. 1994. Вып.1. С.18-24.
- Геоэкология шельфа и берегов морей России. М: "Ноосфера". 2001. 427 С.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Черное море. Ред. А.И.Симонов, Э.Н.Альтман. СПб.: Гидрометеоиздат. 1991. Том 4. Вып.1. 429 с.
- Гижевски Е., Мельчарски А., Николов Х., Роневич П., Рудовски С., Семрау И. Строение и кратковременная изменчивость подводного берегового склона. Береговые процессы бесприливного моря (Любятово-76). Польская академия наук. Институт водного строительства. Гданьск. 1978. С.337-350.
- Гранат Н.Л. Движение твердого тела в пульсирующем потоке вязкой жидкости. Изд. АН СССР. ОТН, механика и машиностроение. 1968. № 1. С. 70-78.
- Давидан Л.И., Лопатухин Л.И., Рожков В.А. Ветровое волнение как вероятностный гидродинамический процесс. Л.: Гидрометеоиздат. 1978. 287 с.
- Давидан Л.И., Лопатухин Л.И., Рожков В.А. Ветровое волнение в Мировом океане. Л.: Гидрометеоиздат. 1985. 255 с.
- Дебольский В.К., Анцыферов С.М., Акивис Т.М. Задачи прогноза распределения взвешенных наносов в русловых и приливных потоках. Водные проблемы на рубеже веков. М.: Наука. 1999. С. 107-124.
- Дебольский В.К., Зайдлер Р., Массель С. (Редакторы). Динамика русловых потоков и литодинамика прибрежной зоны моря. М.: Наука. 1994. 303 с.
- Драган Я.П., Рожков, В.А., Яворский И.Н. Методы вероятностного анализа ритмики океанологических процессов. Л.: Гидрометеоиздат. 1987. 319 с.
- Дэвис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии (в 2 т.). М.: Недра. 1990. 748 с.
- Ежегодник качества морских вод по гидрохимическим показателям за 1994г. Обнинск. ВНИИГМИ-МЦД. 1995.
- Ежегодник качества морских вод по гидрохимическим показателям за 1995г. Обнинск. ВНИИГМИ-МЦД. 1996.
- Заславский М.М., Красицкий В.П. О волновых флуктуациях параметров спектра ветровых волн. Океанология. 1993. Т. 33. № 1. С. 44-52.
- Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. М.: изд-во АН СССР. 1962. 710 с.
- Знаменская Н.С. Гидравлическое моделирование русловых процессов. С-Пб.: Гидрометеоиздат. 1992. 240 с.
- Каждан А.Б., Гуськов О.И. Математические методы в геологии. М.: Недра. 1990. 248 с.
- Кендал М. Дж., Стюарт А. Статистические выводы и связи. М.: Наука. 1973. 447 с.
- Ким Дж. Факторный дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика. 1989. 216 с.
- Косьян Р. Д. Распределение концентрации и состава взвешенных наносов в прибойной зоне. София. Океанология. 1985а. № 14. С. 75-83.

- Косьян Р. Д., В. Ж. Дачев, Н. В. Пыхов. Особенности формирования поля концентрации взвешенных наносов в береговой зоне. В кн.: Взаимодействие атмосферы, гидросферы и литосферы в береговой зоне (Камчия -77). Изд-во БАН, София. 1980. С. 266-276.
- Косьян Р. Д., Кузнецов С. Ю., Подымов И. С., Пушкарев О. В., Пыхов Н. В. Морской турбидиметр. Патент на изобретение № 2112232. Заявка № 96121594. Приоритет 5 ноября 1996 г. Зарегистрирована в Государственном реестре изобретений 27 мая 1998г. Бюл. № 15.Опубл. 27.05.98.
- Косьян Р. Д., Кузнецов С. Ю., Подымов И. С., Пыхов Н. В., Пушкарев О. В., Гришин Н. Н., Харизоменов Д. А. Оптический прибор для измерения концентрации взвешенных наносов во время шторма в береговой зоне моря. Океанология. 1995. Том 35. № 3. С. 463-469.
- Косьян Р. Д., Подымов И. С. Измерение концентрации взвешенных наносов в береговой зоне моря методом турбидиметрии. Труды международного совещания “Динамика берегов морей и внутренних водоемов”. Новосибирск: Наука. 1998а. С.226-236.
- Косьян Р. Д., Подымов И. С. Оптический измеритель концентрации взвешенных наносов в береговой зоне моря. Тезисы доклада международной конференции МСОИ-98. 1998б. С. 82.
- Косьян Р. Д., Подымов И. С., Дунец А. В. Электромагнитный датчик для измерения скорости водного потока в придонной зоне. Тезисы доклада международной конференции МСОИ-98. 1998. С. 68.
- Косьян Р.Д., Пыхов Н.В. Методы измерения гидро- и литодинамических процессов, протекающих в береговой зоне моря. М., ВИЭМС. 1990. 46с.
- Косьян Р. Д., Пыхов Н.В. Гидрогенное перемещение осадков в береговой зоне моря. М.: Наука. 1991. 280 с.
- Косьян Р.Д. Теоретические модели взвесенесущих потоков. М., Деп. в ВИНТИ. 1983. № 1025-83. 48 с.
- Косьян Р.Д. Распределение концентрации и состава взвешенных наносов в зоне опрокидывания гребня и в прибойном потоке. Океанология (София). 1985б.№ 14. С. 83-89.
- Косьян Р.Д. Об образовании и существовании рифелей при волнении в береговой зоне водоемов. Водные ресурсы. 1987. № 1. С.52-60.
- Косьян Р.Д., Подымов И.С. Датчик донных форм. Патент РФ на изобретение № 2072539. 1997.
- Кочетов Н.И. Речные наносы и пляжеобразование на северо-востоке черноморского побережья Кавказа. Океанология, 31(2). 1991. С. 296-300.
- Кривошея В.Г., Овчинников И.М., Титов В.Б., Удодов А.И., Лаптев С.Ю. Динамика вод и изменчивость температуры воды вблизи северо-кавказского побережья Черного моря. Океанология 36(3). 1996. С.355-363.
- Кривошея В.Г., Овчинников И.М., Титов В.Б., Прокопов О.И., Удодов А.И., Савин М.Т. Гидрологическая структура и динамика вод. В монографии “Техногенное загрязнение и естественное самоочищение Прикавказской зоны Черного моря”, М., Недра. 1996а.С. 133-202.
- Кривошея В.Г., Москаленко Л.В., Овчинников И.М., Якубенко В.Г. Особенности динамики вод и гидрологической структуры северо-восточной части Черного моря осенью 1993 г. Океанология. 1997. Т.37. №3. С.352-358.
- Кривошея В.Г., Овчинников И.М., Титов В.Б. и др. Меандрирование Основного Черноморского течения и формирование вихрей в северо-восточной части Черного моря летом 1994 г. Океанология. 1998. Т.38. №4. С.546-553.

- Кривошея В.Г., Овчинников И.М., Титов В.Б. Динамика течений в прибрежной зоне. Комплексные исследования техногенного загрязнения в прибрежной зоне Кавказско-го шельфа Черного моря. М.: Недра. 1994. С.36-46.
- Кривошея В.Г., Овчинников И.М., Титов В.Б. Динамика течений в прибрежной зоне. Комплексные исследования техногенного загрязнения в прибрежной зоне Кавказского шельфа Черного моря. М.: Недра. 1996б. С.36-46.
- Кривошея В.Г., Овчинников И.М., Титов В.Б., Якубенко В.Г., Пушкин В.В. Гидрологические структуры и динамика вод прибрежной зоны Северо-Кавказского побережья Черного моря в мае-июне 1990 г. Деп.ВИНИТИ. 1991. №3526-В91. 65 с.
- Кривошея В.Г., Прокопов О.И. Исследования северо-восточной части Черного моря по международным проектам. Океанология. 1997. Т.37. №2. С.315-316.
- Кривошея В.Г., Титов В.Б. Гидрологические условия и их изменчивость в прибрежной зоне черноморского курорта Геленджик в приложении к проблеме экологии. Деп.ВИНИТИ. 1990. №2084-В90. 89 с.
- Кришнапан Б. Распространение грунта, удаляемого в виде компактной массы в глубокую воду. Технология гидромеханизированных земляных работ. М.: Транспорт. 1980. С. 251-269.
- Кузнецов С.Ю. Достоинства и недостатки энергетического подхода к прогнозу транспорта наносов. В монографии "Берега морей и внутренних водоемов. Актуальные проблемы геологии, геоморфологии и динамики". Новосибирск, Изд-во СО РАН. 1999. С. 183-190.
- Лавренев И.В. Влияние квазициклических колебаний спектра ветрового волнения на низкочастотную нелинейную его эволюцию. ФАО. 1999. Т. 35. № 3. С.399-405.
- Латун В.С. Энергоснабжение глубоководных антициклонических вихрей Черного моря. Комплексные океанографические исследования Черного моря. Севастополь: МГИ АН УССР. 1990. С.10-21.
- Леонтьев И.О. О компенсации волнового нагона в береговой зоне моря. Океанология. 1974. Т.14. № 4. С.630-635.
- Леонтьев И.О. Динамика прибойной зоны. М.: ин-т океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР. 1989. 184 с.
- Леонтьев И.О. Профиль динамического равновесия: проверка теории. Океанология. 1992. Т.32. № 2. С.355-361.
- Леонтьев И.О. О динамических изменениях профиля пляжа во время шторма. Океанология. 1997. Т.37. № 1. С.136-144.
- Леонтьев И.О. Компенсационное противотечение в прибрежной зоне моря. Океанология. 1999. Т.39. № 1. С.57-63.
- Леонтьев И.О. Моделирование морфодинамических изменений, вызванных прибрежными сооружениями. Океанология. 2000. Т.40. № 1. С.125-136.
- Леонтьев И.О., Сперанский Н.С. Исследование компенсационного противотечения в береговой зоне. Водные ресурсы. 1980. № 3. С.122-131.
- Лонге-Хиггинс М.С. Статистический анализ случайно движущейся поверхности. Ветровые волны, Москва: изд-во иностр. Лит. 1962. С. 125-218.
- Лонгинов В.В. Динамика береговой зоны бесприливных морей. М.: изд-во АН СССР. 1963. 379 с.
- Лопатухин Л.И. Анализ распределений элементов волн. Тр. ВНИИГМИ-МЦД. 1974. Вып. 1. С. 31-39.

- Лопатухин Л.И., Микулинская С.М. Аппроксимация распределений направлений распространения волн. В кн.: "Вероятностный анализ и моделирование океанологических процессов." Л.: Гидрометеоздат. 1984. С. 57-66.
- Лопатухин Л.И., Рожков В.А., Румянцева С.А. Основные принципы определения меры сходства или различия между режимными распределениями волн и их использование для решения некоторых задач мореплавания. В кн.: "Проблемы исследования и математического моделирования ветрового волнения". С.-П.: Гидрометеоздат. 1995. С.407-423.
- Марчук Г.И., Каган Б.А. Динамика океанских приливов. Л.: Гидрометеоздат. 1991. 472 с.
- Овчинников И.М., Титов В.Б. Антициклоническая завихренность течений в прибрежной зоне Черного моря. Докл.АН СССР. 1990. Т.314. №5. С.1236-1239.
- Овчинников И.М., Титов В.Б., Кривошея В.Г., Прокопов О.И., Удодов А.И., Савин М.Т. Прибрежные течения. Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения Прикавказской зоны Черного моря. М.: Недра. 1996. С.168-188.
- Онищенко Э. Л., Косьян Р. Д. О применении оптического метода определения концентрации взвешенных наносов в природных водоемах. М.: Водные ресурсы. 1989. Вып. 3. С. 94-101.
- Павлидис Ю.А., Леонтьев И.О. Прогноз развития береговой зоны Восточно-Сибирского моря при повышении уровня и потеплении климата. Вестник РФФИ. 2000. № 1(19). С.31-39.
- Пейре Р., Тейлор Т.Д. Вычислительные методы в задачах механики жидкости. Л.: Гидрометеоздат. 1986. 352 с.
- Пыхов Н.В., Дачев В.Ж., Косьян Р.Д., Николов Н.И. Исследование поля средних концентраций взвешенного материала и его состава в береговой зоне. В кн.: "Взаимодействие атмосферы, гидросферы и литосферы в береговой зоне (Камчия -77)." Изд-во БАН, София. 1980. С. 238-251.
- Пыхов Н.В., Косьян Р.Д., Кузнецов С.Ю. Натурные исследования временных масштабов и механизмов взвешивания песчаных осадков нерегулярными волнами. Океанология. 1997. Т. 37. № 2. 202 с.
- Рабинович А.Б. Длинные гравитационные волны в океане. С.-Пб.: Гидрометеоздат. 1993. 325 с.
- Родионов Д.А., Коган Р.И., Голубева В.А., Смирнов Б.И., Сиротинская С.В. Справочник по математическим методам в геологии. М.: Недра. 1987. 335 с.
- Соловьев В.П. Моделирование спектральных характеристик огибающей ветровых волн. Морской гидрофизический журнал. 1989. № 2. С.27-34.
- Сошникова Л.А., Тамашевич В.Н., Уебе Г., Шефер М. Многомерный статистический анализ в экономике. М.: "Издательство Юнити-Дана". 1999. 598 с.
- Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения прикавказской зоны Черного моря. М.: "Недра". 1996. 502 С.
- Титов В.Б. Характеристика режима прибрежных течений у Северо-Кавказского побережья Черного моря. Деп.ВИНИТИ. 1989. №5320-В89. 99 с.
- Титов В.Б. О роли вихрей в формировании режима течений на шельфе Черного моря и в экологии прибрежной зоны. Океанология. 1992. Т.32. №1. С.39-48.
- Титов В.Б., Савин М.Т. Изменчивость придонных течений на северо-восточном шельфе Черного моря. Океанология. 1997. Т.37. №1. С.50-55.
- Ткаченко Ю.Ю., Верхунов А.В., Суслов А.В. Гидрологическая структура и циркуляция вод прибрежной зоны Черного моря. Экология прибрежной зоны Черного моря. М. ВНИРО. 1992. С.17-40.

- Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложение. М.: Мир. 1967. Т. 1. 498 с.
- Фидман Б.А. Турбулентность водных потоков. Л.: Гидрометеиздат. 1991. 240 с.
- Филлипс О.М. Динамика верхнего слоя океана. Л.: Гидрометеиздат. 1980. 319 с.
- Хабидов А.Ш. Динамика береговой зоны крупных водохранилищ. Новосибирск: Изд-во СО РАН, Научно-издательский центр ОИГГМ СО РАН. 1999. 104 с.
- Шадрин И.Ф. Течения береговой зоны бесприливного моря. М.: Наука. 1972. 128 с.
- Шепард Ф., Инман Д. Прибрежная циркуляция, обусловленная топографией дна и рефракцией волн. Основы предсказания ветровых волн, зыби и прибою. М.: Иностранная Литература. 1951. С.450-472.
- Шифрин К.С. Рассеяние света в мутной среде. Л.: Гостехиздат. 1951. 357с.
- Шрайбер А.А. О диффузии тяжелой частицы в турбулентном потоке Теплофизика и теплотехника (Респ. межвед. сб.). Киев. 1973. Т. 25. С. 110-113.
- Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике. М.: Наука. 1990. 942 с.
- Якушев Е.В., Есин Н.В., Лукашев Ю.Ф., Часовников В.К., Крыленко В.В. Влияние антропогенных факторов на гидрохимическую структуру прибрежных вод в районе Геленджикской и Голубой Бухт. Краснодар: Наука Кубани. №4. 2000. С.38-44.
- Amos C.L., Daborn G.R., Christian H.A., Atkinson A., Robertson A. In situ erosion measurements on fine-grained sediments from the Bay of Fundy. *Marine Geology* 108. 1992. P. 175–196.
- Antsyferov S.M., Kos'yan R.D. Study of suspended sediment in the coastal zone. *Coastal Eng.*, 1990. V. 14. P. 147-172.
- Antsyferov S.M., Pykhov N.V., Dachev V.Zh. Dynamics of suspended sediments. Dynamical processes in coastal regions. Sofia: Publ. o the Bulgarian Academy of Sciences. 1990. P.127-177.
- Ariathurai R, Arulanandan K Erosion rate of cohesive solids. *J/ of Hydr. Div., ASCE*. 1978. V.104, HY2. P. 279-283.
- Badiei P., Kamphuis J.W. Physical and numerical study of wave induced currents in wave basins of various sizes. *Int. Conf. "Coastal dynamics'95"*. Gdansk. 1995. P. 377-388.
- Badiei P., Kamphuis J.W., Hamilton D.G. Physical experiments on the effects of groins on shore morphology. *24<sup>th</sup> Int. Conf. on Coastal Eng. Kobe, Japan*. 1994. P. 1782-1796.
- Bagnold R.A. *Mechanics of marine sedimentation. The Sea*. 1963. V.3. N.Y.: J. Wiley. P.507-528.
- Bailard J.A. An energetic total load sediment transport model for a plane sloping beach. *J. Geophys. Research*, 86(C11). 1981. P. 10938-10954.
- Bakker W.T. Sand concentration in an oscillatory Flow. *Proc. 14<sup>th</sup> Int. Conf. on Coastal Engineering, Copenhagen, ASCE*. 1974. 1129 p.
- Baldock T.E., Huntley D.A., Burd P.A.D., O'Hare T., Bullock G.N. Breakpoint generated surf beat induced by bichromatic wave groups. *Coastal Engineering*, 39. 2000. P. 213-242.
- Battjes A.J. Modelling of turbulence in the surf zone. *Symp. on Model. Tech. ASCE. San Francisco*. 1975. P.1050-1061.
- Battjes J.A., Janssen J.P.F.M. Energy loss and set-up due to breaking of random waves, *Proc.Coastal. Eng. Conf. 16<sup>th</sup>*. 1978. P.569-587.
- Beach R.A., Sternberg R.W. Suspended sediment transport in the surf zone: response to the incident wave and longshore current interaction. *Mar. Geol.* 1992. V. 108. P. 275-294.
- Beach R.A., Sternberg R.W. Suspended-sediment transport in the surf zone: response to breaking waves. *Continental Shelf Reseach*. 1996. V. 16. P. 1989-2003.
- Becq-Girard F., Forget P., Benoit M. Non-linear propagation of unidirectional wave fields over varying topography. *Coastal Eng.*, 1999. V. 38. P. 91–113.

- Beji S., Battjes J.A. Experimental investigation of wave propagation over a bar. *Coastal Eng.*, 1993. V. 19. P. 151-162.
- Beloshapkova S.G., Beloshapkov A.V., Leont'yev I.O. Sediment transport and morphological changes caused by underwater pipeline in the Kara Sea. 6<sup>th</sup> Int. Offshore and Polar Eng. Conf. ISOPE. Los Angeles. 1996. V.II. P.105-110.
- Bijker E.W. Some considerations about scales for coastal models with movable bed. Dissertation. Delft Univ. of Tech. 1967.
- Bitner-Gregersen E., Gran S. Local properties of sea waves derived from a wave record. *App. Ocean Res.* 1983. V.5. № 4.
- Block M.E., Davies A.G., Villaret C. Suspension of sand in oscillatory flow above ripples: discrete vortex model and laboratory measurements. In: *Sediment transport mechanisms in coastal environments and rivers*, Euromech 310, Hong-Kong, New Jersey, London, Singapore, World Scientific. 1994. 37 p.
- Boczar-Karakiewicz B., Davidson-Arnott R.G.D. Nearshore bar formation by non-linear wave process - a comparison of model results and field data. *Marine Geol.* 1987. V.77. P.287-304.
- Bogárdi J. Sediment transport in alluvial streams. Budapest: Akad. Kiadó. 1974. 826 p.
- Boukhanovsky A.V., Divinsky B.V., Kos'yan R.D., Lopatoukhin L.I. Some results of wave measurement from the buoy near Gelendzhik. The Eighth Workshop of NATO TU-WAVES/ Black Sea, METU, Ankara, Turkey. 1998. P. 7-8.
- Boukhanovsky A.V., Divinsky B.V., Kos'yan R.D., Lopatoukhin L.I. Short-term wave statistics by the measurements of the buoy near the Russian coast of the Black Sea. *Proc. of the MEDCOAST Conference on Wind and Wave Climate of Mediterranean and Black Sea*, Antalya, Turkey. 1999. P.231-239.
- Bowen A.J. Simple models of nearshore sedimentation; beach profiles and longshore bars. *Coastline of Canada. Geol. Surv. Can. Halifax.* 1980. P.1-11.
- Bowen A.J., Holman R.A. Shear instabilities of mean longshore current. 1. Theory. *J. of Geophys. Res.* 1989. V.94. № C12. P.18023-18030.
- Bowen A.J., Huntley D.A. Waves, long waves and nearshore topography. *Marine Geol.* 1984. V.60. P.1-13.
- Bowen A.J., Inman D.L. Rip currents. Part 2. Laboratory and field observations. *J. of Geophys. Res.* 1969. V.74. № 23. P.5479-5490.
- Bowen A.J., Inman D.L. Edge waves and crescentic bars. *J. of Geophys. Res.* 1971. V.76, № 30. P.8662-8671.
- Bowen A.J., Inman D.L. Nearshore mixing due to waves and wave-induced currents. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer.* 1974. V.167. P. 6-12.
- Broker H.I., Roelvink J.A., Southgate H., Pechon P., Nicholson J., Hamm L. Intercomparison of coastal profile models. 23<sup>rd</sup> Int. Conf. On Coastal Eng. Venice. 1992. P.2108-2121.
- Broker I. Coastal area modelling. MAST 68-M Final Workshop. Gdansk. 1995. P.2-86 - 2-90.
- Broker I., Deigaard R., Fredsoe J. Onshore/offshore sediment transport and morphological modelling of coastal profiles. *Int. Conf. "Coastal Sediments'91"*. Seattle. 1991. P. 643-657.
- Bruun P. Coast erosion and the development of beach profiles. TM-44. US Army Corps of Eng. Beach Erosion Board. Washington. 1954.
- Bruun P. The Bruun rule of erosion by sea-level rise: a discussion on large-scale two- and three-dimensional usages. *J. of Coastal Res.* 1988. V.4. № 4. P. 627-648.
- Cantwell B.J. Organized motion in the turbulent flow. *Ann. Rev. Fluid Mech.*, 13, 1981. P. 457-515.

- Chapalain G., Cointe R., Temperville A. Observed and modeled resonantly interacting progressive water-waves. *Coastal Eng.* 1992. 16. P. 267-300.
- Chen Y., Guza R.T. Resonant scattering of edge waves by longshore periodic topography: finite beach slope. *J. of Fluid Mech.*, 387. 1998. P. 255-269.
- Chesher T., Anquetin P., Peltier E., Jacobsen J. Intercomparison of cohesive sediment transport models for the case of a transverse trench. *Coastal Morphodynamics. MAST – GM 8. Final Overall Meeting. Gdansk. Poland.* 1995. P. 2.65-2.69.
- Clarke T.L., Lesht B.M., Yong R.A. et al. Sediment Resuspension by Surface-Wave Action: an Examination of Possible Mechanisms. *Mar. Geol.* 1982. № 49. P. 43-59.
- Conley D.C., Inman D.L. Field observation of the fluid granular boundary layer under near breaking waves. *J. of Geophysical Research*, 97 (C6). 1992. P. 9631-9643.
- Cowell P.J., Roy P.S., Jones R.A. Simulation of large-scale coastal change using a morphological behaviour model. *Marine Geol.* 1995. V.126. P.45-61.
- Cox D.T., Kobayashi N. Coherent motion in the bottom boundary layer under shoaling and breaking waves. *Proc. 26<sup>th</sup> Int. Conf. on Coastal Engineering, ASCE, 457-470, Copenhagen.* 1999. P. 457-470.
- Creed G.C., Dalrymple R.A., Kriebel D.L., Kaihatu J.M. Equilibrium beach profiles with random seas. *23<sup>rd</sup> Int. Conf. on Coastal Eng. Venice.* 1992. P.1973-1986.
- Dally W.R., Dean R.G., Dalrymple R.A. Wave height variation across beaches of arbitrary profile. *J. of Geophys. Res.* 1985. V.90. N C6. P.11917-11927.
- Dally W.R., Osiecki D.A. The role of rollers in surf zone currents. *24<sup>th</sup> Int. Conf. on Coastal Eng. Kobe, Japan.* 1994. P. 1895-1905.
- Dalrymple R.A. A mechanism for rip current generation on an open coast. *J. of Geophys. Res.* 1975. V.80. № 24. P.3475-3487.
- Davies A.G. Modeling the vertical distribution of suspended sediment in combined wave-current flow. In: *Dynamics and Exchanges in Estuaries and the Coastal zone, Coastal and Estuarine Studies.* 1992. V. 40, Ed. D. Prandle, AGU, Washington. P. 441-466.
- Davies A.G., Li Z. Modelling sediment transport beneath regular symmetrical and asymmetrical waves above a plane bed. *Continental Shelf Research*, 17 (5). 1997. 555 p.
- De Vriend H.J. Prediction of aggregated-scale coastal evolution. *Int. Conf. "Coastal Dynamics'97"*. Plymouth. 1997. P.644-653.
- De Vriend H.J., Capobianco M., Chesher T., de Swart H.E., Latteux B., Stive M.J.F. Approaches to long-term modelling of coastal morphology: a review. *Coastal Eng.* 1993a. V.21. P.225-269.
- De Vriend H.J., Stive M.J.F. Quasi 3-D modelling of nearshore currents. *Coastal Eng.* 1987. V.11. P.565-601.
- De Vriend H.J., Zyserman J., Nicholson J., Roelvink J.A., Pechon P., Southgate H.N. Medium-term 2DH coastal area modelling. *Coastal Engineering.* 1993. V.21. P.193-224.
- Dean R.G. Equilibrium beach profiles. Characteristics and applications. *J. of Coastal Res.* 1991. V.7. № 1. P.53-84.
- Deigaard R., Christensen E.D., Damgaard J.S., Fredsoe J. Numerical simulation of finite amplitude shear waves and sediment transport. *24<sup>th</sup> Int. Conf. on Coastal Eng. Kobe, Japan.* 1994. P.1919-1934.
- Deigaard R., Fredsoe J. The exchange of momentum in the surf zone due to organized water motion. *Progr. Rep. 66. Inst. Hydrodyn. and Hydraulic Eng. Tech. Univ. Denmark.* 1988. P.39-45.

- Dickey T.D., Van Leer J.C. Observation and simulation of a bottom Ekman layer on a continental shelf. *Journ. Of Geophysical Research*. 1983. V.89, P. 1983-1988.
- Ebersole B.A., Dalrymple R.A. Numerical modelling of nearshore circulation. 17<sup>th</sup> Intern. Conf. on Coastal Eng. Sydney. 1981. P.2710-2725.
- Eldeberky Y., Battjes J.A. Spectral modeling of wave breaking: application to Boussinesq equations. *J. Geoph. Res.* 1996. V. 101 (C1). P. 1253-1264.
- Eldeberky Y., Madsen P.A. Deterministic and stochastic evolution equations for fully dispersive and weakly nonlinear waves. *Coastal Eng.*, 38. 1999. P. 1-24.
- Elgar S., Guza R.T., Seymour R.J. Groups of waves in shallow water. *J. of Geoph. Res.* 1984. V.89. n.C3. P. 3623-3634.
- Elgar S., Herbers T.H.C., Guza R.T. Reflection of ocean surface gravity waves from natural beach. *J. of Phys. Oceanogr.*, 24. 1994. P. 1503-1511.
- Foote Y.L.M., Huntley D.H., O'Hare T. Sand transport on macrotidal beaches. *Proceedings of Euromech 310 colloquium, Le Havre*. 1995. P. 360-374.
- Foster D.L., Holman R.A., Beach R.A. Sediment suspension events and shear instabilities in the bottom boundary layer. *Proceedings of the International Conference on Coastal Research in Terms of Large Scale Experiments, "Coastal Dynamics' 94"*, ASCE, Barcelona. 1994. P. 712-716.
- Fredsoe J., Andersen O.H., Silberg S. Distribution of suspended sediment in large waves. *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, 111. 1985. P.1041-1059.
- Fredsoe J., Andersen K.H., Sumer B.M. Wave plus current over a ripple-covered bed. *Coastal Engineering*. 38. 1999. P. 177-221.
- Friedrich H.J., Stanev E.V. Parameterization of vertical diffusion in numerical model of the Black sea. In: *Small-scale turbulence and mixing in the ocean, Elsevier Oceanography Series*. V.46. 1988. P.151-167.
- Galvin C.J., Eagleson P.S. Experimental study of longshore currents on a plane beach. *TM-10. US Army Coastal Eng. Res. Center*. 1965.
- Gesher T., Anquetin P.-G., Peltier E., Jakobsen F. Intercomparison of cohesive sediment transport numerical models for the case of a transverse trench in tidal estuary. In "G8 M Coastal Morphodynamics, Final Overall Meeting, Gdansk, Poland, 4-8 September 1995". 1995. P. 2-65 - 2-2-69
- Goda Y. An overview of coastal engineering with emphasis on random waves approach. *Coastal Engineering Journal*. 1998. V. 40. №1. P. 1-21.
- Gonzalez M., Medina R., Losada M.A. Equilibrium beach profiles: effects of refraction. *Int. Conf. "Coastal dynamics'97"*. Plymouth. 1997. P.933-941.
- Grant W.D., Madsen O.S. Moveable bed roughness in unsteady oscillatory flow. *J. Geophys. Res.* 1982. V. 87. N C1. P. 469-481.
- Greenwood B., Sherman D.J. Longshore current profiles and lateral mixing across the surf zone of a barred nearshore. *Coastal Eng.* 1986. V.10. P.149-168.
- Guza R.T., Thornton E.B. Velocity moments in nearshore. *J. Waterw., Port, Coastal and Ocean Eng.* 1985. V.111, №.2. P. 235-256.
- Guza R.T., Clifton M.C., Rezvani F. Field Intercomparisons of Electromagnetic Current Meters. *J. Geophys. Res.* 1988. V. 93. № 8. P. 9302-9314.
- Hagatun K., Eidsvik K.J. Oscillating turbulent boundary layer with suspended sediment. *J. Geophys. Research*, 91(C11). 1988. P.13045-13055.
- Haller M.C., Dalrymple R.A., Svendsen I.A. Rip channels and nearshore circulation. *Int Conf. "Coastal Dynamics'97"*. Plymouth. 1997. P.594-603.

- Hamm L. et al. Data analysis for cohesive sediment modeling. Coastal Morphodynamics. MAST - GM 8. Final Overall Meeting. Gdansk. Poland. 1995. P. 2.58-2.64.
- Hanes D.M. Suspension of sand due to wave groups. *J. of Geoph. Res.*, 96 (C5). 1991. P. 8911-8915.
- Hanes D.M., Huntley D.A. Continuous measurements of suspended sand concentration in a wave dominated nearshore environment. *Continent. Shelf Res.* 1986. V.6. № 4. P. 585-596.
- Hansen E.A., Fredsoe J., Deigaard R. Distribution of suspended sediment over wave-generated ripples. *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE*, 120. 1994. P.37.
- Hanson, H. GENESIS: a generalized shoreline change numerical model. *J. of Coastal Res.* 1989. V.5. № 1. P.1-27.
- Harris T.W.F., Jordan J.M., McMurrey W.R., Verwey C.J., Anderson F.P. Mixing in the surf zone. *Int. J. of Air and Water Pollut.* 1963. V.7. P.649-667.
- Herbers T.H.C., Elgar S., Guza R.T., O'Reilly W.C. Infragravity-frequency (0,005 – 0,05 Hz) motions on the shelf. Part 2: free waves. *J. of Phys. Oceanogr.*, 25. 1994a. P. 1063-1079.
- Herbers T.H.C., Elgar S., Guza R.T. Infragravity-frequency (0,005 – 0,05 Hz) motions on the shelf. Part 1: forced waves. *J. of Phys. Oceanogr.*, 24. 1994b. P. 917-927.
- Herbers T.H.C., Elgar S., Guza R.T., O'Reilly W.C. Infragravity-frequency (0.005 – 0.05 Hz) motions on the shelf. Part 2: free waves. *J. of Phys. Oceanogr.*, 25. 1995. P. 1063-1079.
- Hino M. Theory on formation of rip current and cuspidal coast. 14<sup>th</sup> Int. Conf. on Coastal Eng. Copenhagen. 1974. P.901-919.
- Hino M., Kashiwayanagi M., Nakayama A., Hara T. Experiments on the turbulence statistics and the structure of reciprocating oscillatory flow. *J. Fluid Mech.* 1983. V. 131. P. 363-400.
- Holman R., Howd P., Oltman-Shay J., Komar P. Observations of the swash expression of far infragravity wave motions. *Proceed. of XXII Int. Coastal Eng. Conf.* 1990. P. 1242-1253.
- Holman R.A., Bowen A.J. Bars, bumps and holes: models for the generation of complex beach topography. *J. of Geophys. Res.* 1982. V.87. № C1. P.457-468.
- Homma M., Horikawa K. A laboratory study on suspended sediment due to wave action. *Proc. X Congr. IAHR. London.* 1962. V. 1. P. 213-221.
- Homma M., Horikawa K. Suspended sediment due to wave action *Proc. 8<sup>th</sup> Coastal Eng. Conf. Mexico.* 1962.
- Howd P. J., Oltman-Shay J., Holman R.A. Wave variance partitioning in the trough of a barred beach. *J. Geophys. Res.*, 96(C). 1991. P. 12781-12795.
- Horikawa K. *Nearshore dynamics and coastal processes.* Tokio. 1988. 515 p.
- Inman D.L., Tait R.J., Nordstrom C.E. Mixing un the surf zone. *J. of Geophys. Res.* 1971. V.76. № 15. P.3493-3514.
- Jaffe B.E., Sternberg R.W., Sallenger A.H. The role of suspended sediment in shore-normal beach profile changes. *Proc. 19<sup>th</sup> Int. Conf. on Coastal Engineering, ASCE.* 1984. P. 457-470.
- Johnsson I.G. Wave boundary layers and friction factors. 1966. *Proc. X Conf. Coast. Eng. ASCE.* P. 75-123.
- Kana T.W. Surf zone measurements of suspended sediment. *Proc. 16<sup>th</sup> coast. Enng. conf. Hamburg.* 1978. № 69. P. 1725-1743.
- Kaneko A. Oscillation sand ripples in viscous fluids. *Proc. Jap. Soc. Civ. Eng.*, 307. 1981. P. 113-124.
- Karambas Th.V., Prinos P., Kriezis E.E. Modelling of hydrodynamic and morphological effects of submerged breakwaters on the nearshore region. *Int. Conf. "Coastal Dynamics'97". Plymouth.* 1997. P. 764-773.

- Kirby J., Kaihatu J. Structure of frequency domain models for random wave breaking, Proceed. of XXV Int. Coastal Engineering Conf. 1996. P.1144-1155.
- Komar P.D. Nearshore currents. Nearshore sediment dynamics. N.Y.: J.Wiley. 1975. P.17-45.
- Kos'yan R.D. Vertical distribution of suspended sediment concentration sea-ward of the breaking zone. Coastal Eng. 1985. V. 9. P. 171-187.
- Kos'yan R.D. Study of sand microforms in the nearshore zone. Marine Geology. 1988. V.83. P. 63-78.
- Kos'yan R.D., Yesin N.V. About ecological degradation of the closed bay. Proc. Of the first Intern. Conf. of the Mediterranean coastal environment "Medcoast 93", Antalya, Turkey. 1993. P.787-796.
- Kos'yan R.D., Kuznetsov S.Yu., Pykhov N.V. Low-frequency fluctuation of suspended sand and wave groups in the surf zone. Proc. of the Second Int. Symp. "Ocean Wave Measurements and Analysis", ed. by O.T.Magoon and J.M.Hemsley. Publ. by ASCE. New York. 1994. P.352-363.
- Kos'yan R.D., Kunz H., Podymov I. Measurement of beach slope deformation on Norderney island by electronic sand level gauges. Abstracts of the International Conference "COASTAL DYNAMICS-95. Gdansk. Poland. 1995. P.99-100.
- Kos'yan R.D., Kunz H., Kuznetsov S.Yu., Pykhov N.V. Suspended sediment transport in the surf zone of the Norderney Island. Hydrodynamics, Theory and Applications. Proc. 2-nd Internal Conference on Hydrodynamics, Rotterdam, A.A. Balkema Publ. 1996a. P.1119 – 1123.
- Kos'yan R., Kunz H., Podymov I. Employment of electronic sand level gauges for measurement of beach slope deformation on Norderney island. Proceedings of the International Conference on Coastal Research in Terms of Large Scale Experiments, "Coastal Dynamics' 95", ASCE. New York. 1996b. P. 651-663.
- Kos'yan R.D., Kunz H., Kuznetsov S.Yu., Pykhov N.V. Net suspended sediment transport in the surf zone. Proc. 2-nd Indian National Conference on Harbor and Ocean Engineering, "Inchoe' 97". 1997a. P. 1073-1085.
- Kos'yan R.D., Kunz H., Kuznetsov S.Yu., Pykhov N.V., Krylenko M.V. Sand Suspension and Intermittence of Turbulence in the Surf Zone. Proc. of the 25<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering, "COASTAL ENGINEERING" 96". American Society of Civil Engineering. New York. 1997b. P. 4111-4119
- Kos'yan R. D., Divinsky B.V., Pushkarev O.V. Measurements of Parameters of Wave Processes in the Open Sea near Gelendzhik. The Eight Workshop of NATO TU-Waves/Black Sea. April 17-18. METU, Ankara, Turkey. 1998.
- Kos'yan R.D., Podymov I.S., Kuznetsov S.Yu. Turbidimetric measuring of the suspended sediment concentration in the coastal zone. Proc. of the 26<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering, "COASTAL ENGINEERING" 98". American Society of Civil Engineering. Virginia. 1999. V.2. P. 2303-2316.
- Kriebel D.L., Dean R.G. Numerical simulation of time-dependent beach and dune erosion. Coastal Eng. 1985. V.9. P.221-245.
- Kriebel D.L., Kraus N.C., Larson M. Engineering methods for predicting beach profile response. Int Conf. "Coastal Sediments'91". Seattle. 1991. P. 557-571.
- Krivosheya V., Nyffeler F., Yakubenko V., Ovchinnikov I., Kos'yan R., Kontar E. Experimental Studies of Eddy Structures within the Rim Current Zone in the North – Eastern Part of the Black Sea. In "Ecosystem Modeling as a Management Tool for the Black Sea. Kluwer Academic Publishers. Netherland. 1998. V.2. P. 131-144.

- Kundu P.K. On the importance of friction in two typical continental waters: off Oregon and Spanish Sahara. Bottom Turbulence. Ed. By J.C.J Nihoul. Amsterdam, Elsevier. 1977. P. 187-208.
- Kuriyama Y. Numerical model for longshore current distribution on a bar-trough beach. 24<sup>th</sup> Int. Conf. on Coastal Eng. Kobe, Japan. 1994. P.2237-2251.
- Kuznetsov S.Yu., Speranskii N.S. Anomalous dispersion paradox in shallow water gravity waves shoaling over sloping bottom. Proc. of 2-nd Int. Symp. "Ocean Wave Measurements and Analysis" (Waves-93), ed. by O.T. Magoon and J.M. Hemsley. Pub. by ASCE, N.Y. 1994. P.364-373.
- Kuznetsov S.Yu., Pykhov N.V. Spectral test of energetic approach for suspended sand transport in the surf zone. Proceedings of International Conference "Coastal Dynamics'97", ASCE. 1998. P.227-234.
- Larson M., Kraus N.C. SBEACH: numerical model for simulating storm-induced beach change. Tech. Rep. CERC-89-9. US Army Eng. Waterw. Exp. Station. Coastal Eng. Res. Center. 1989.
- Larson M. Prediction of beach profile change at mesoscale under random waves. 24<sup>th</sup> Int. Conf. on Coastal Eng. Kobe, Japan. 1994. P.2252-2266.
- Le Blond P.H., Tang C.L. On energy coupling between waves and rip currents. J. of Geophys. Res. 1974. V.79. № 6. P.811-816.
- Leont'yev I.O. Sediment transport and beach equilibrium profile. Coastal Eng. 1985. V.9. P.277-291.
- Leont'yev I.O. Numerical modelling of beach erosion during storm event. Coastal Eng. 1996. V.29. P.187-200.
- Leont'yev I.O. Short-term shoreline changes due to cross-shore structures: a one-line numerical model. Coastal Eng. 1997. V.31. P.59-75.
- Leont'yev I.O. Modelling of morphological changes due to coastal structures. Coastal Eng. 1999. V.38. P.143-166.
- Lippmann T.C., Thornton E.B., Reniers A.J.H.M. Wave stress and longshore current on barred profiles. Int. Conf. "Coastal Dynamics'95". Gdansk. 1995. P.401-411.
- List G.H. Wave groupiness variations in the nearshore. Coastal Eng. 1991. V. 15. P. 457-496.
- Liu P., Dalrymple R.A. Bottom frictional stresses and longshore currents due to waves with large angles of incidence. J. of Marine Res. 1978. V.36. № 2. P.357-375.
- Longuet-Higgins M.S. Mass transport in water waves. Phil. Trans. Royal Soc. London. Ser.A. 1953. V.245. № 903. P.535-581.
- Longuet-Higgins M.S., Stewart R.W. Radiation stress and mass transport in gravity waves, with an application to surf beats. J. Fluid Mech., 13. 1962. P. 481-504.
- Longuet-Higgins M.S., Stewart R.W. Radiation stress in water waves: A physical discussion with applications, Deep-Sea Res., 11. 1964. P. 529-562.
- Longuet-Higgins M.S. Longshore currents generated by obliquely incident waves. Parts 1 and 2. J. of Geophys. Res. 1970. V.75. № 33. P.6778-6801.
- Lungren H. Turbulent currents in the presence of waves. Coastal Eng. Conf. Vancouver, Canada. 1973. P. 623-634.
- Maa J.P.-Y. An efficient horizontal two-dimensional hydrodynamic model. Coastal Eng. 1990. V.14. P.1-18.
- Maa J. P.-Y., Wright L.D., Lee C.H., Shannon T.W. VIMS Sea Carousel: a field instrument for studying sediment transport. Marine Geology, 115. 1993. P. 271-287

- Madsen P.A., Banijamali B., Schaffer H.A. and Sorensen O.R. Boussinesq type equation with high accuracy in dispersion and nonlinearity. *Coastal Engineering*. 1996. P.95-108.
- Madsen P.A., Sorensen O.R. A new form of the Boussinesq equations with improved linear dispersion characteristics. Part 2: a slowly-varying bathymetry. *Coastal Eng.* 1992. V. 18. P. 183-205.
- Madsen P.A., Sorensen O.R. Bound wave and triad interactions in shallow water. *J. Ocean Eng.* 1993. V. 20(4). P. 359-388.
- Madsen P.A., Sorensen O.R., Schaffer H.A. Surf zone dynamics simulated by a Boussinesq type model: Part 2. Surf beat and swash oscillations for wave groups and irregular waves. *Coastal Engineering*, 32. 1997. P. 289–319.
- Madsen P.A., Agnon Y., Schäffer H.A. A Boussinesq type model with high accuracy of dispersion and nonlinearity. *ICHD'98, 3rd Int.Conf.on Hydrodynamics*. Seoul, Korea. 1998. P.12-15.
- Marpl S.L. *Digital spectral analysis*. Prentice-Hall, Inc. 1987. 584 p.
- Mase H., Iwagaki Y. Wave group analysis of natural wind waves based on modulational instability theory. *Coastal Eng.* 1986. V.10. №4. P. 341-354.
- Mase H. Groupiness factor and wave height distribution. *Journal of Waterway, Port, Coastal and ocean Engineering*. 1989. V. 115. №1. P. 105-121.
- Mase H., Kirby J. Hybrid frequency-domain KdV equation for random wave transformation. *Proc.23d Int.Conf.Coast.Engng., Venice*. 1992. P. 474-487.
- Masselink G. Group bound long waves as a source of infragravity energy in the surf zone. *Continental Shelf Research*, 15 (3). 1995. P. 1525-1547.
- Mei C.C. *The applied dynamics of ocean surface waves*. N.Y.: J.Wiley. 1983. 740 p.
- Meza E., Zang R.J. Seymour. Free-wave energy dissipation in experimental breaking waves. *J. of Physical Oceanography*. 2000. V.30. P.2404-2418.
- Miles, J., Munk W.F. Harbour paradox. *J. Waterways and Harbors Div., WW3*. 1961. P. 111-130.
- Miller C.D., Barcelon A. Hydrodynamic instability in the surf zone as a mechanism for the formation of horizontal gyres. *J. of Geophys. Res.* 1978. V.83. № C8. P. 4107-4116.
- Murray P.B., Davies A.G., Soulsby R.L. Sediment pick-up in wave and current flows. *Proc. of EUROMECH 262 Colloquium on sand transport in rivers, Estuaries and the sea* (Ed. by R.L.Soulsby and R.Bettes), Rotterdam, A.A.Balkema Publ. 1991. 37 p.
- Nadaoka K., Kondoh T. Turbulent flow field structure of breaking waves in the surf zone. *J.Fluid Mech.*, 204. 1989. P.359- 387.
- Newe J., Dette H. Simulation of dune and nourished berm erosion during storm surges. *Int. Conf. "Coastal Dynamics'95"*, Gdansk. 1995. P.850-861.
- Nielsen P. Some basic concepts of wave sediment transport. *Lyngby, Inst.Hydrodyn.Hydraul.Eng, Tech. Univ Denmark, Ser Papers 20*. 1979. 160 p.
- Nielsen P. *Coastal bottom boundary layers and sediment transport*. Word Scientific Publ., Hong-Kong, New Jersey, London, Singapore. 1992. 324 p.
- Nihei Y., Nadaoka K., Yagi H., Nomoto K. Turbulence structure of asymmetric oscillatory flow. *27 th International Conference on Coastal Engineering, Sydney, Australia. 2000*. Book of Abstracts, Volume 2, Poster № 35.
- Ogston A.S., Sternberg R.W. Sediment transport events on the northern California shelf. *Marine Geology*, 154. 1999. P. 69-82
- Oguz T., Aubrey D.G., Latun V.S. et al. Mesoscale circulation and thermohaline structure of the Black Sea observed during HydroBlack'91. *Deep-Sea Res.* 1994. V.41. №4. P.603-628.

- Oguz T., La Violette P.E., Unluata U. The upper layer circulation of the Black Sea; its variability as inferred from hydrographic and satellite observations // J. of Geophysical Research. 1992. V.97.№8. P. 12569-12584.
- O'Hare T.J., Huntley D.A. Bar formation due to wave groups and associated long waves. Marine Geology, 116. 1994. P. 313-325.
- Ohnaka S., Watanabe A. Modelling of wave-current interaction and beach change. 22<sup>nd</sup> Int. Conf. on Coastal Eng. Delft. 1990. P.2443-2456.
- Okayasu A., Katayama H. Distribution of undertow and long-wave component velocity due to random waves. 23<sup>rd</sup> Int. Conf. on Coastal Eng. Venice. 1992. P.883-893.
- Oltman-Shay J., Howd P.A., Birkemeier W.A. Shear instabilities of the mean longshore current. 2. Field observations. J. of Geophys. Res. 1989. V.94. № C12. P. 18031-18042.
- Osborne P.D., Greenwood B. Frequency dependent cross-shore suspended sediment transport. 1. A non-barred shoreface. Marine Geology, 106. 1992. P. 1-24.
- Osborne P.D., Greenwood B. Sediment suspension under waves and currents time scales and vertical structure. Sedimentology. 1993. V.40. 599 p.
- Osiecki D.A., Dally W.R. The influence of rollers on longshore currents. 25<sup>th</sup> Int. Conf. on Coastal Eng. Orlando, USA. 1996. P. 3419-3430.
- Parchure T.M., Mehta A.J., 1985. Erosion of soft cohesive sediment deposits. Jurnal of Hydraulic Engineering. V. 111. N 10. P. 1308-1326.
- Pearson J.M., Guymer I., Coates L.E., West J.R. Mixing processes due to breaking wave activity in the coastal zone. Int. Conf. "Coastal Dynamics'97". Plymouth. 1997. P.197-206.
- Pechon Ph., Teisson Ch. Numerical modelling of three-dimensional wave-driven currents in the surf-zone. 24<sup>th</sup> Int. Conf. on Coastal Eng. Kobe, Japan. 1994. P.2503-2512.
- Pelnard-Considere R. Essai de theorie de l'evolution des formes de rivage en plages de sable et de galets. Quatr. J. hydraulique. Paris. Question 3. 1956. Rapp. № 1.
- Price D.M., Chesher T.J., Southgate H.N. PISCES. A morphological coastal area model. HR Wallingford. Report SR 411. 1995.
- Putrevu U., Svendsen I.A. Dispersive mixing in the nearshore. Int. Conf. "Coastal Dynamics'97". Plymouth. 1997. P.207-216.
- Pykhov N.V., Kos'yan R.D., Kuznetsov S.Yu. Time scales of sand suspending by irregular waves. Proc. of the Second International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, "MEDCOAST" 95". Tarragona, Spain. 1995. P.1073-1091.
- Rachev N.H., Roussenov V.M., Stanev E.V. The Black sea Climatological Wind Stress, Bulgarian J. of Meteor. & Hydr., 2(3-4). 1991. P.72-79.
- Raichland F., Kennedy J.F. The growth of sediment bed forms from initially flattened bed. Proc. XI Congr. IAHR. Leningrad. 1965. V. 3. P. 1-8.
- Rakha K.A., Kamphuis J.W. A morphology model to predict erosion near a seawall. Int. Conf. "Coastal Dynamics'95". Gdansk. 1995. P.879-890.
- Reniers A.J.H.M., Thornton E.B., Lippmann T.C. Longshore currents over barred beaches. Int. Conf. "Coastal Dynamics'95". Gdansk. 1995. P.413-420.
- Ribberink J.S., Abdullah A. Al-Salem: Sheet flow and suspension of sand in oscillatory boundary layers. Coastal engineering, 25. 1995. 205 p.
- Rivero F.G., Sanchez-Arcilla A. On the vertical distribution of  $\langle uw \rangle$ . MAST 68-M Final Workshop. Gdansk. 1995. P.4-62 - 4-65.
- Rodriguez A., Bahia E., Diez M., Sanchez-Arcilla A., Redondo J.M., Mestres M. Experimental study of mixing processes using images. Int. Conf. "Coastal Dynamics'97". Plymouth. 1997. P.395-404.

- Rodriguez A., Sanchez-Arcilla A., Collado F.R., Gracia V., Coussirat M.G., Prieto J. Waves and currents at the Ebro delta surf zone: measurements and modelling. 24<sup>th</sup> Int. Conf. on Coastal Eng. Kobe, Japan. 1994. P.2542-2556.
- Roelvink J.A., Stive M.J.F. Bar-generating cross-shore flow mechanisms on a beach. J. of Geophys. Res. 1989. V.94. № C4. P.4785-4800.
- Roelvink J.A., Broker I. Cross-shore profile models. Coastal Eng. 1993. V.95. P.163-191.
- Roelvink J.A., Reniers A.J.H.M., Walstra D.J.R. Medium-term morphodynamic modelling. MAST 68-M Final Workshop. Gdansk. 1995. P.7-3 - 7-6.
- Russell P., Foote Y., Huntley D. An energetics approach to sand transport on beaches. Proceedings of the International Conference on Coastal Research in Terms of Large Scale Experiments. Coastal Dynamics' 95. ASCE, New York. 1996. P. 829-840.
- Sanchez-Arcilla A., Roelvink J.A., O'Connor B.A., Himenez J.A. The Delta Flume'93 experiment. Int. Conf. "Coastal Dynamics'93". Barcelona. 1993. P.488-502.
- Schaffer H.A. Infragravity waves induced by short wave groups. J. of Fluid Mech., 247. 1993. P. 551-588.
- Sherman D.J., Greenwood B. Boundary roughness and bedforms in the surf zone. Marine Geol. 1984. V.60. P.199-218.
- Skafel M.C., Krishnappan B.G. Suspended sediment distribution in wave field. J. Waterways, Port, Coast. and Ocean Eng. 1984. V.110. P. 215-230.
- Sleath J.F.A. Sea bed mechanics. New York, Willey. 1984. 355 p.
- Sleath J.F.A. Turbulent oscillatory flow over rough beds. J. Fluid. Mech. 1987. V. 182. P.369-409.
- Sonu Ch.J. Field observations of nearshore circulation and meandering current. J. of Geophys. Res. 1972. V.77. № 18. P.3232-3247.
- Soo S.L., Tien C.L. Effect of the wall on two-phase turbulent motion. Trans. ASCE, ser. E. 1960. V. 27, N 1.
- Sorensen O.R., Schaffer H.A., Madsen P.A., Deigaard R. Wave breaking and induced nearshore circulations. 24<sup>th</sup> Int. Conf. on Coastal Eng. Kobe, Japan. 1994. P.2583-2593.
- Soulsby R.L. The "Bailard" sediment transport formula: comparisons with data and models. MAST 68-M Final Workshop. Gdansk. 1995. P.2-46 - 2-51.
- Stanev E.V. On the Mechanisms of the Black sea Circulation. Earth-Science Rev., 28. 1990. P.285-319.
- Stive M.J.F., Wind H.G. A study of radiation stress and set-up in the nearshore region. Coastal Eng. 1982. V.6. P.1-25.
- Stive M.J.F., De Vriend H.J. Shear stresses and mean flow in shoaling and breaking waves. 24<sup>th</sup> Int. Conf. on Coastal Eng. Kobe, Japan. 1984. P.594-608.
- Stive M.J.F. Wind H.G. Cross-shore mean flow in the surf-zone. Coastal Eng. 1986. V.10. P.325-340.
- Stive M.J.F., De Vriend H.J. Quasi-3D nearshore modelling: wave-induced secondary currents. Special Conf. on Coastal Hydrodynamics. ASCE. New York. 1987. P.356-370.
- Stive M.J.F., De Vriend H.J. Modelling shoreface profile evolution. Marine Geol. 1995. V.126. P.235-248.
- Svendsen I.A., Schaffer H.A., Buhr Hansen J. The interaction between the undertow and the boundary layer flow on a beach. J. of Geophys. Res. 1987. V.92. № C 11. P.11845-11856.
- Svendsen I.A., Putrevu U. Surf-zone modeling. Int. Conf. "Coastal Dynamics'95". Gdansk. 1995. P.11-32.

- Svendsen I.A., Haas K. Interaction of undertow and rip currents. 5<sup>th</sup> Int. Conf. on Coastal and Port Eng. in Developing Countries (COPEDEC V). Cape Town. 1999. P.218-229.
- Swart H. Predictive equations regarding coastal transport. Computation of longshore transport. Delft Hydroul. Coastal Eng. Conf. Honolulu. Hawaii. Lab. Rep. Invest. R-968. pt 1.1976. 112 p.
- Symonds G., Huntley D.A., Bowen A.J. Two dimensional surf beat: long wave generation by a time-varying breakpoint. *J. of Geoph. Res.*, 87(C). 1982. P.492-498.
- Thornton E.B. Variation of longshore currents across the surf zone. 12<sup>th</sup> Int. Conf. on Coastal Eng. Washington. 1970. P.291-308.
- Thornton E.B., Guza R.T. Swash oscillations on a natural beach. *J. Geophys. Res.*, 87(C1). 1982. P. 483-491.
- Thornton E.B., Guza R.T. Transformation of wave height distribution. *J. of Geophys. Res.* 1983. V.88. № C10. P.5925-5938.
- Thornton E.B., Guza R.T. Surf zone longshore currents and random waves: field data and models. *J. of Phys. Oceanogr.* 1986. V.16. № 7. P.1165-1178.
- Thornton E.B., Soares C.M.C.V., Stanton T.P. Vertical profiles of longshore currents and bed shear stress. Int. Conf. "Coastal Dynamics'95". Gdansk. 1995. P.449-459.
- Ting F.C.K., Kirby J.T. Observation of undertow and turbulence in a laboratory surf zone. *Coastal Eng.*, 24. 1994. P. 51-80.
- Ting F.C.K., Kirby J.T. Dynamics of surf zone turbulence in a strong plunging breaker. *Coastal Eng.*, 24. 1995. P.177-204.
- Ting F.C.K., Kirby J.T. Dynamics of surf zone turbulence in spilling breaker. *Coastal Eng.*, 27. 1996. P. 131-160.
- Torfs H., Williamson H., Huysentruyt H. Setting and erosion characteristics of mud/sand mixtures. Proc. Coastal Dynamics'95. ASCE. N.Y. 1995. P. 749-758.
- Torrence C., Compo G.P. A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of American Meteorological Society.* 1998. V. 79. №. 1. P. 61-78.
- Tulin M.P., Waseda T. Laboratory observations of wave group evolution, including breaking effects. *J. of Fluid Mech.* 1999. V.378. P.197-232.
- Tunstall E.B., Inman D.J. Vortex Generation by Oscillatory flow over rippled surfaces. *J. of Geoph. Res.* 1975. V. 80. № 24. P. 3475-3484.
- Uliczka K. Wave run-up on dunes with and without foreshore at a prototype scale. *Leichtweiss-Inst. Wasserbau Tech. Univ. Braunschweig Mitt.* 1987. V.98. P.67-88.
- Van Dongeren A.R., Sancho F.E., Svendsen I.A., Putrevu U. SHORECIRC: a quasi-3D nearshore model. 24<sup>th</sup> Int. Conf. on Coastal Eng. Kobe, Japan. 1994. P.2741-2754.
- Van Dongeren A.R., Svendsen I.A. Nonlinear and 3D effects in leaky infragravity waves. *Coastal Engineering*, 41. 2000. P. 467-496.
- Van Leeuwen P.J., Battjes J.A. A model for surf beat. *Proceed. of XXII Int. Coastal Eng. Conf.* 1990. P.32-40.
- Van Rijn L.C., Niewjaar M.W.C., Van derKaay T., Nap E., Van Kampen A. Transport of sand by currents and waves. *Journal of Waterway, Port, Coastal and ocean Engineering.* 1993. V.119. № 2.123 p.
- Van Rijn Leo C. Principles of sediment transport in rivers, estuarine and coastal seas. Aqua Publication. Netherlands. 1993. 860 p.
- Villaret C, Perrier G. Transport of fine sand by combined waves and currents: an experimental study, Electricite de France Report № HE-42/92.68. 1992. 81 p.

- Walsh J.P., Nittrouer C.A. Observations of sediment flux on the Eel continental slope, northern California. *Marine Geology*, 154. 1999. P.55-68
- Wang H., Miao G., Lin L.-H. A time-dependent nearshore morphological response model. 23<sup>rd</sup> Int. Conf. on Coastal Eng. Venice. 1992. P.2513-2527.
- Weatherly G.L. A study of the bottom boundary layer of Florida current. *Journ.of Physical Oceanography*. 1972. V.2. P.54-72
- Weatherly G.L., Van Leer J.C. On the importance of stable stratification to structure of the bottom boundary layer on the Western Florida shelf. *Bottom Turbulence*. Ed. By J.C.J Nihoul. Amsterdam, Elsevier. 1977. P. 103-122.
- Wright L.D., Xu J.P., Madsen O.S. Across-shelf benthic transport on the inner shelf of the Middle Atlantic Bight during the "Halloween storm" of 1991. *Marine Geology*, 118. 1994. P. 61-77.
- Wright L.D., Kim S.C., Friedrichs C.T. Across shelf variations in bed roughness, bed stress and sediment suspension on the northern California shelf. *Marine Geology*, 154. 1999. P. 99-115.
- Wu Y., Dette H., Wabg H. Cross-shore profile modelling under random waves. 24<sup>th</sup> Int. Conf. on Coastal Eng. Kobe, Japan. 1994. P.2843-2855.
- Yesin N.V., Komarov A.V., Karnaukhova L.A. Pollutant transport in the Black Sea coastal zone. *Proceeding of the first Mediterranean coastal environment conf. Antalya, Turkey*. 1993. P. 683-694.
- Yesin N.V. Kos'yan R.D. Ecology of Gelendzhik Bay. *Coastlines of the Black Sea*. Publ. by ASCE, New York. 1993. P.156-172.
- Yesin N.V., Kos'yan R.D., Karnaukhova L.A. Ecological situation of the Black sea coastal zone. In *FAO Fisheries Report №495, Rome Proc. Of the Black Sea SIMPOSIUM, Istanbul*. 1994.
- Yesin N.V. Kos'yan R.D. Nature-Oriented Program of the Sea Port of Gelendzhik. *Fifth International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries (COPEDEC) Cope Town*. 1999. P.1950-1957. P. 73-85.
- Yu G., Fang D. Threshold velocity of sand mixtures. *Proc. XXVI-th Congr. of IAHR*. V. 1c, 18. Thomas Telford, London. 1995.
- Zaharov V.E. Weakly nonlinear waves on the surface of an ideal finite depth fluid. *Amer. Math. Soc. Trans.* 1998. V. 182. P.167-197.
- Zhang D.P., Sunamura T. Multiple bar formation by breaker-induced vortices: a laboratory approach. 24<sup>th</sup> Int. Conf. on Coastal Eng. Kobe, Japan. 1994. P.2856-2870.
- Zhang D.P., Sunamura T., Tanaka S., Yamamoto K. Laboratory experiment of longshore bars produced by breaker-induced vortex action. *Proceedings of the International Conference on Coastal Research in Terms of Large Scale Experiments, "Coastal Dynamics 94", ASCE, Barcelona, Spain*. 1994. P. 29-43.
-

*Научное издание*

## **Динамические процессы береговой зоны моря**

Под редакцией

доктора географических наук Р.Д. Косьяна (ЮО ИО РАН),  
кандидата технических наук И.С. Подымова (ЮО ИО РАН),  
кандидата физ.-мат. наук Н.В. Пыхова (ИО РАН)

«Научный мир»

Лицензия ИД № 03221 от 10.11.2000.

Подписано к печати 05.03.2003.

Формат 70×100/16

Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 26.49

Тираж 500 экз. Заказ 37

Издание отпечатано в типографии

ООО «Галлея-Принт»

Москва, 5-я Кабельная, 2б