

*На правах рукописи*

**Сорокина Вера Владимировна**

**ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИГЕННОГО ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В  
АЗОВСКОМ МОРЕ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX ВЕКА**

Специальность 25.00.28 – «Океанология»

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук**

Ростов-на-Дону

2006

Работа выполнена на кафедре океанологии  
Ростовского государственного университета

Научный руководитель кандидат географических наук, доцент  
Ивлиева Ольга Васильевна

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук  
Тарасов Геннадий Антипович

кандидат геолого-минералогических наук  
Ковалев Владимир Владимирович

Ведущая организация: Северо-Кавказское межрегиональное  
территориальное управление по  
гидрометеорологии и мониторингу  
окружающей среды (г. Ростов-на-Дону)

Защита состоится 7 сентября 2006 г. в 14 часов 00 мин. на заседании  
диссертационного совета Д 002.140.01 при Мурманском морском  
биологическом институте Кольского научного центра Российской академии  
наук по адресу: 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Чехова, 41

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ММБИ КНЦ РАН

Автореферат разослан 4 августа 2006 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат географических наук



Е.Э. Кириллова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

Азовское море – шельфовый водоем на юге Европейской части России. В связи с мелководностью и малыми размерами море обладает интенсивной формой взаимодействия всех сфер (атмо-, гидро-, лито- и био-), чутко реагирует на изменение физико-географической обстановки. Уникальный комплекс природных условий определяет своеобразие процесса современного осадконакопления: чрезвычайную динамичность и большую пространственную изменчивость.

Большой цикл работ, выявляющих механизм осадконакопления в Азовском море, выполнен под руководством М.В. Кленовой, Н.М. Страхова, Д.Г. Панова, Ю.П. Хрусталева в XX веке. В период становления литодинамических исследований в Азовском море Д.Г. Пановым была сформулирована задача оценки изменения скорости современного осадконакопления по районам моря, сезонам и годам (Панов, Спичак, 1961). Применение динамического подхода (Хрусталева, 1986), предусматривающего неоднократное изучение объектов в течение года или нескольких лет, в 1970-1980-х годах позволило выявить основные закономерности седиментогенеза в водоеме.

В настоящее время, в связи с резко выраженными изменениями климата и гидролитодинамической активности, антропогенным воздействием, произошло изменение структуры баланса терригенного материала, изменились скорости осадконакопления. Это определяет актуальность данной работы, а именно, исследования пространственно-временной изменчивости параметров осадконакопления и связи районов современной седиментации с гидрологическими условиями.

Современное терригенное осадконакопление, как одну из океанологических проблем Азовского моря, необходимо рассматривать на основе комплексного подхода, включающего анализ временных рядов (за 50-100 лет) и выявление связей между параметрами разных сред, участвующих в этом процессе. Актуальной проблемой является развитие современных методических подходов в этом направлении, в том числе и балансовых расчетов на основе пространственно-детализированных математических моделей.

### Цель и задачи работы

Цель - выявить пространственно-временные особенности терригенного осадконакопления в Азовском море в период интенсивной антропогенной деятельности и климатических изменений во второй половине XX века.

В связи с этим, были поставлены следующие задачи:

- провести анализ природно-климатических условий осадконакопления в период с 1940 по 2000 гг.;

- изучить динамику и сделать оценку влияния речного стока, абразии и золowych выпадений на поставку осадочного материала в Азовское море в условиях климатических изменений и антропогенной деятельности на водосборе;

- с использованием методов математического моделирования изучить пространственно-временные закономерности и выявить особенности скоростей осадконакопления терригенного материала в море в результате влияния природных и антропогенных факторов;

- выполнить расчет баланса терригенного материала разных районов моря по годам.

### **Методы исследования**

Для решения поставленных задач в работе использованы как стандартные, так и оригинальные подходы:

- метод натурных наблюдений скоростей абразии в период экспедиций Ростовского государственного университета (РГУ), Азовского филиала Мурманского морского биологического института (АФ ММБИ КНЦ РАН) и Южного научного центра РАН (ЮНЦ РАН) по побережью Азовского моря 2002-2005гг.;

- методы статистической обработки информации, в том числе с применением элементов географических информационных систем;

- комплекс апробированных математических моделей для количественного описания процессов формирования пространственно-временной изменчивости абиотических характеристик экосистемы Азовского моря при вариациях климатических факторов и антропогенной нагрузки;

- разработанный при участии автора для условий Азовского моря оригинальный метод расчета переноса и седиментации взвешенного вещества.

### **Научная новизна**

Приведены и проанализированы данные об основных источниках терригенного седиментационного вещества в Азовском море (твердом стоке рек, абразии и эоловых потоках) за последние 60 лет (1940-2000 гг.).

Предложен и апробирован пространственно-детализированный балансовый метод для изучения переноса и седиментации взвешенного вещества в Азовском море, учитывающий новейшую батиметрическую карту и подтверждающий реальную картину распределения терригенной составляющей в донных осадках.

Впервые расчетным методом выявлены региональные особенности и динамика скоростей седиментации терригенного материала, обусловленные изменением факторов осадконакопления во второй половине XX века.

Впервые рассчитан баланс терригенного материала для разных районов моря по годам за 60 лет.

### **Практическая ценность**

Выявлены основные тенденции современного терригенного осадконакопления в Азовском море. По результатам расчетов определены площади и объемы возможного размыва донных отложений, скорости седиментации в разных районах моря.

Результаты работы использованы для оценок загрязнения экосистемы Азовского моря твердыми техногенными примесями и радионуклидами.

Полученные в работе выводы могут быть использованы при планировании экспедиционных исследований в бассейне Азовского моря, при составлении карт типов донных отложений, при проведении инженерно-экологических изысканий, в задачах управления береговой зоной.

Материалы работы используются в лекционных курсах и на практических занятиях в рамках учебных дисциплин по специальностям «океанология», «физическая география».

### **Основные положения и результаты, выносимые на защиту**

1. Во второй половине XX века в структуре баланса терригенного осадконакопления произошли значительные изменения: уменьшилась роль золотого фактора и увеличилась абразия берегов восточной части Азовского моря на фоне низкого твердого стока рек. В соответствии с этим выделено четыре характерных периода осадконакопления.

2. Общий объем поступления терригенного материала в Азовское море за период с 1940 г. по 2000 г. сократился в 2-2,5 раза и составляет в современный период около 10 млн. т.

3. Полученные расчетным методом региональные особенности скоростей седиментации терригенного материала для характерных периодов осадконакопления. Для современного периода (1987-2000 гг.) на площади более 57% скорости седиментации не превышают  $500 \text{ г/м}^2/\text{год}$ , при общем снижении интенсивности размыва осадков увеличилась площадь абразии дна (до 28% площади моря); средняя скорость накопления терригенного вещества не превышает 0,25 мм в год.

### **Апробация работы**

Результаты исследования являются составной частью отчетов по грантам РФФИ №. 00-05-65379 «Твердые примеси антропогенного происхождения в морских водоемах: поступление, перенос, захоронение и оценка воздействия на экосистему»; № 03-05-65322 «Гидрохимический режим в устьевых областях и на шельфе северных и южных морей России: сравнительный анализ и математическое моделирование».

Основные результаты исследования докладывались и обсуждались на XIV Международной школе морской геологии (г. Москва, 2001), на Международной конференции «Проблемы радиоэкологии морей Европейской части России (г. Ростов-на-Дону, 24-26 июня 2001 г.), на ежегодных школах-семинарах «Математическое моделирование в проблемах рационального природопользования» (г. Новороссийск 1998, 2000, 2001), на Всероссийских школах по компьютерным технологиям и обучающим программам в геологии (г. Сочи, 2000, 2001, 2002), на Международной конференции «Современные проблемы океанологии шельфовых морей России» (г. Ростов-на-Дону, 13-15 июня 2002 г.), на Международной научно-практической конференции «Проблемы литодинамики и экосистем Азовского моря (г. Ростов-на-Дону, 8-9 июня 2004 г.), Международном семинаре «Современные технологии мониторинга и освоения природных ресурсов южных морей России» (г. Ростов-на-Дону, 15-17 июня 2005 г.), научных семинарах АФ ММБИ и ЮНЦ РАН.

По теме диссертации опубликовано 17 печатных работ, в том числе 1 работа в издании, рекомендованном ВАК РФ.

### **Структура и объём работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и содержит 198 страницы, включая 65 рисунков, 23 таблицы, в том числе приложения, в списке литературы 126 наименований.

Автор выражает глубокую признательность и искренне благодарит за существенную помощь в работе, ценные советы и рекомендации научных руководителей - д.г.-м.н., профессора Ю.П. Хрусталева, к.г.н. О.В. Ивлиеву, зав. каф. океанологии, чл.-корр. РАН Д.Г. Матишова, д.г.н. С.В. Бердникова, всесторонняя поддержка которых позволила завершить данное исследование, а так же доцента кафедры океанологии, к.г.н. Л.А. Беспалову и д.г.н. Ю.М. Гаргопу, на разных этапах принимавших участие в обсуждении работы и сделавших ряд полезных замечаний и предложений.

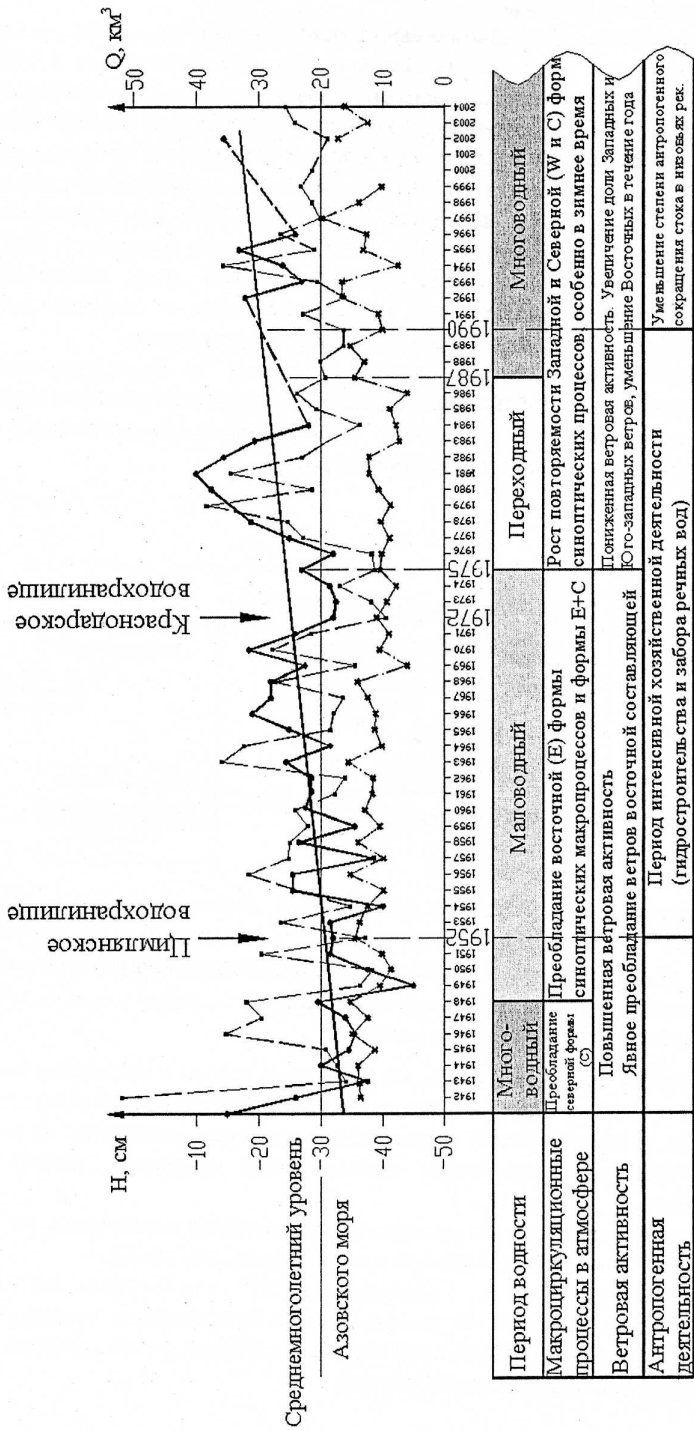
### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность выбранной темы, определены цель и задачи диссертации, дана оценка новизны и практической значимости полученных результатов и сведения об их апробации, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

#### **Глава 1. Природные условия и основные закономерности терригенного осадконакопления в Азовском море**

В данной главе рассматриваются геолого-геоморфологические, гидродинамические процессы и литодинамические условия формирования структуры донных отложений, закономерности распределения содержания взвеси в воде. Проанализирована ветровая ситуация в шести пунктах сети Росгидромета на восточном побережье Азовского моря и Таганрогского залива за последние тридцать лет. На основе анализа антропогенного воздействия и природных факторов, контролирующих процессы седиментогенеза (рис. 1), определены характерные периоды осадконакопления.

Первый - с 1940 по 1952 г.- период условно естественного стока рек, преобладания северной, затем восточной форм макропроцессов в атмосфере. Второй – с 1953 по 1972 г., определяется зарегулированием стока реки Дон (постройка Цимлянского водохранилища в 1952 г.). Этот период так же характеризуется преобладанием восточной формы циркуляционных процессов и высокой ветровой активностью. Третий период с 1973 по 1986 г. определяется сменой циркуляционных эпох в атмосфере в середине 1970-х годов, некоторым уменьшением ветровой активности в конце периода и окончательным зарегулированием стока рек (строительство Краснодарского водохранилища на р. Кубань в 1972 г., ряда низконапорных плотин на р. Дон: Николаевской - в 1975 г., Константиновской в – 1981 г.) на фоне общей их низкой водности. Четвертый период с 1987 по 2000 г., характеризуется ростом повторяемости западной и северной форм синоптических процессов, снижением ветровой активности, увеличением стока рек, уменьшением изъятий стока на хозяйственные нужды. Показано, что вышеперечисленные факторы привели к существенной деформации притока вещества в водоем.



—●— Уровень Азовского моря —■— Жидкий сток р. Дон (ст. Раздорская)  
 — Линия тренда уровня —\*— Жидкий сток р. Кубань (вершина дельты, х. Тиховской)

Рис. 1. Динамика гидрометеорологических характеристик и антропогенной деятельности в бассейне Азовского моря (составлено по материалам Магишова и др., 2001, 2003; Гаргопа, 2000, 2002; Беспалова и др., 2005; Симов, 1989; Гидрометеорологические..., 1986; Гидрометеорологический..., 1962).

## Глава 2. Материал и методы

В работе использованы опубликованные первичные данные, обобщающие сводки и картографический материал из 126 литературных источников с 1869 по 2006 г. Данные наблюдений за динамикой геоморфологических процессов береговой зоны в 2002–2005 гг. получены в экспедициях РГУ, АФ МММБ КНЦ РАН и ЮНЦ РАН по побережью Азовского моря, в которых автор принимал непосредственное участие. Статистическая обработка числовой информации выполнялись с помощью программ Excel и STATISTICA 6.0. Обработка картографического материала проводилась с использованием элементов ГИС. Сформированная информационная база по исследуемой теме послужила основой для построения математической модели переноса и седиментации взвешенного вещества, проведения вычислительных экспериментов.

Основным расчетным методом является подход к параметризации процессов оседания взвеси и взмучивания донных отложений в Азовском море, развитый при участии автора в работах (Бердников и др., 2001а,б) и существенно модифицированный в диссертации (рис. 2).

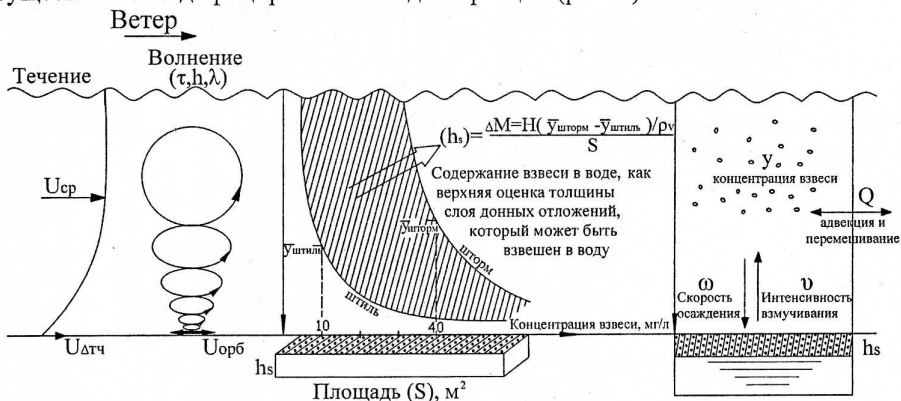


Рис. 2 Модельная схема оседания взвешенного вещества и взмучивания донных отложений в мелководном водоеме (где  $u_{ср}$  - средняя по глубине скорость течений,  $u_{дтч}$  - стоковая и дрейфовая составляющие скорости течения у дна,  $u_{дрб}$  - горизонтальная составляющая орбитальной скорости у дна,  $h$ ,  $\tau$ ,  $\lambda$  - соответственно, высота, период и длина волн.)

Для учета влияния циркуляции вод на динамику взвеси в Азовском море использована компартментальная балансовая модель Азовского моря (Матишов и др., 2006), взвесь и поступающий терригенный материал разделены на пять размерных фракций для отражения особенностей оседания частиц в турбулентном потоке.

Основные усовершенствования расчетного метода были направлены на:

- учет детальной батиметрии Азовского моря (Матишов, 2006);
- применение методики Н.А. Ржаницына (1952) для расчета влияния параметров волнения и течений на распределение взвешенного вещества в водной толще в зависимости от крупности частиц и глубины района, оценки на этой основе толщины слоя взмучивания осадка;



- детальный учет волнения (высота и период), формируемых характерными ветрами со скоростью более 11 м/с (Гидрометеорологический справочник..., 1962);

- использование в качестве начального распределения гранулометрических типов осадков оцифрованной карты грунтов Азовского моря (Гидрометеорологический справочник..., 1937).

Используемая математическая модель позволяет связать внешние источники поступления обломочного материала с суши и его поток на дно, взмучивание и размыв донных осадков в различных районах Азовского моря, а так же описать вклад основных источников терригенного вещества.

### **Глава 3. Динамика поступления терригенного материала**

Поступление терригенного материала в Азовское море с речным стоком, при абразии и в результате золowych выпадений отличается чрезвычайной динамичностью, что непосредственно отражается на процессе осадконакопления на различных участках моря. В данной главе проведен всесторонний анализ источников осадочного вещества, основные выводы состоят в следующем:

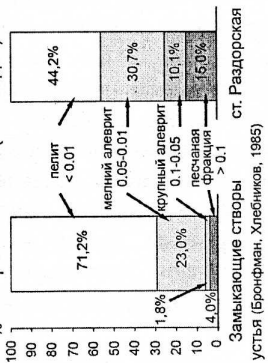
Сток рек. Главным образом зарегулирование рек сказалось на объемах твердого стока (рис. 3 а, б). В условно естественный период величина стока наносов в море составляла: р. Дон (ст. Раздорская) – 4,4 млн. т/год, р. Кубань (хут. Тиховский) – 8,2 млн. т/год, после постройки водохранилищ сократившись до 2,7 млн. т/год (1953-1972 гг.) и 0,86 млн. т/год (1973-1986 г.), соответственно. В современный период (1973 – 2004 гг.) сток р. Дон уменьшился еще больше – до 0,63 млн. т/год, а р. Кубани (1987 – 1999 гг.) увеличился до 2, 2 млн. т/год, это связано с увеличением общей водности реки, климатическими процессами и уменьшением водохозяйственной нагрузки. Регулирование стока рек повлияло не только на величину его годового объема, но и на внутригодовое распределение. Сток в течение года стал более равномерным.

Общее сокращение объема твердого стока в четыре раза (по сравнению с незарегулированным периодом) стало основной причиной дефицита наносов и эрозии русел в верхних частях устьевых участков рек, а так же размыва морского края дельт, которому отчасти способствовало распространение подпора со стороны моря, в результате эвстатического поднятия уровня, увеличения повторяемости нагонов и просадки рыхлых дельтовых отложений.

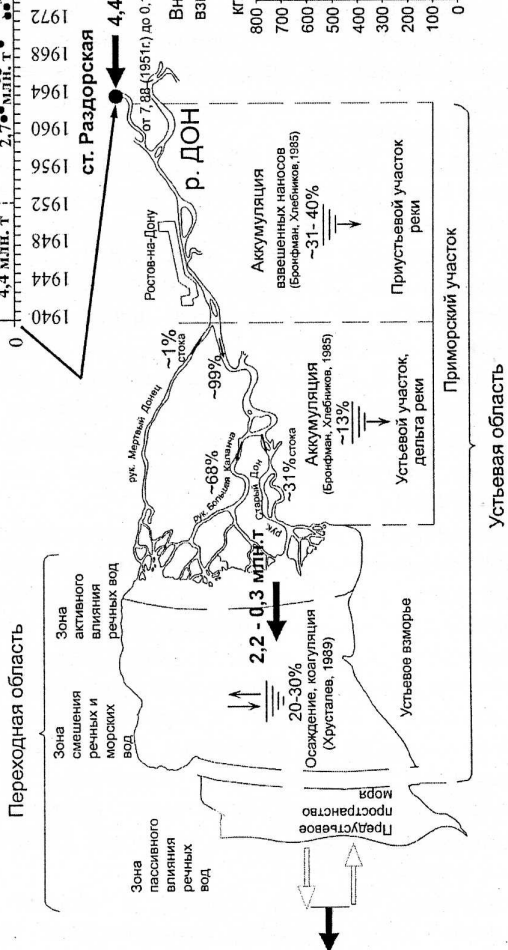
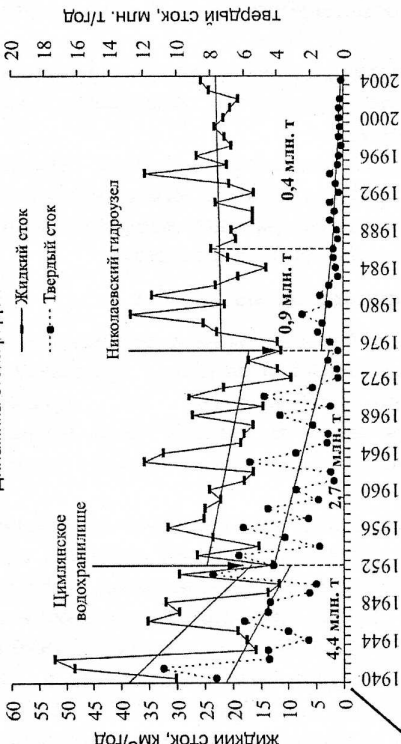
Начиная с 1960-х гг. в структуре гранулометрического состава стока наносов произошли изменения: увеличение крупнозернистых частиц и уменьшение тонкозернистого материала. От вершины дельт к устьям соотношение основных размерных фракций меняется незначительно: в меженный период происходит некоторое увеличение тонкозернистых частиц в речной взвеси.

Абразия. Скорость абразии и объемы материала, поступающего в береговую зону, в целом соответствуют активности гидродинамических факторов. Однако есть большие отклонения этих показателей от года к году и по регионам.

Гранулометрический состав взвешенных наносов Нижнего Дона при зарегулированном режиме стока (половодье)



Динамика стока р. Дон



Внутригодовое изменение расходов взвешенных наносов в ст. Раздорской

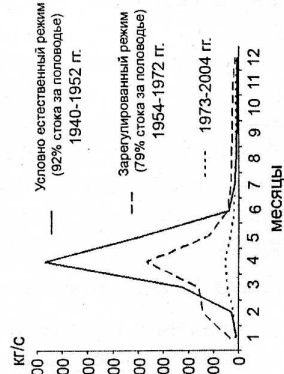
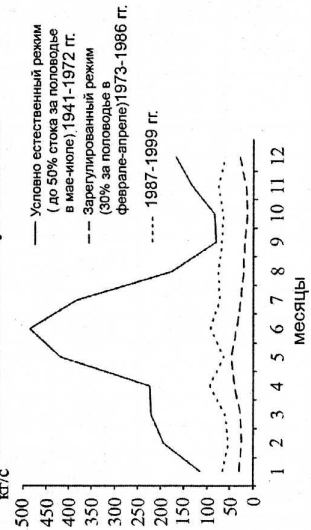
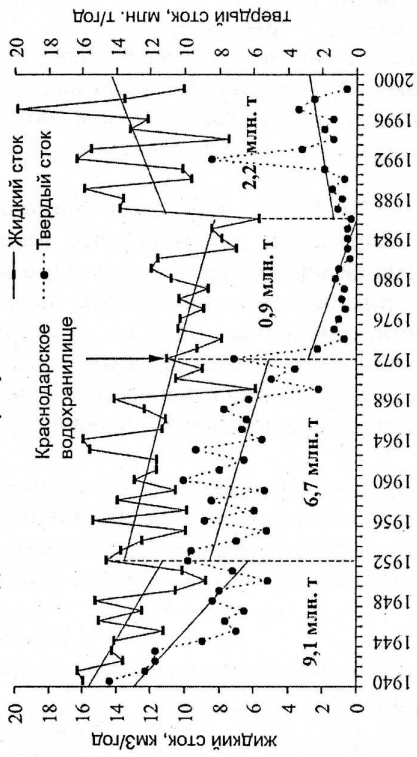


Рис. 3 а. Современное изменение стока взвешенных наносов в устьевой области р. Дон.

Внутригодовое изменение расходов взвешенных наносов в хут. Тиховском



Динамика стока р. Кубань



Гранулометрический состав взвешенных наносов Нижней Кубани  
 Маловодный период 1980-1986 гг.  
 Многоводный период 1987-1989 гг.

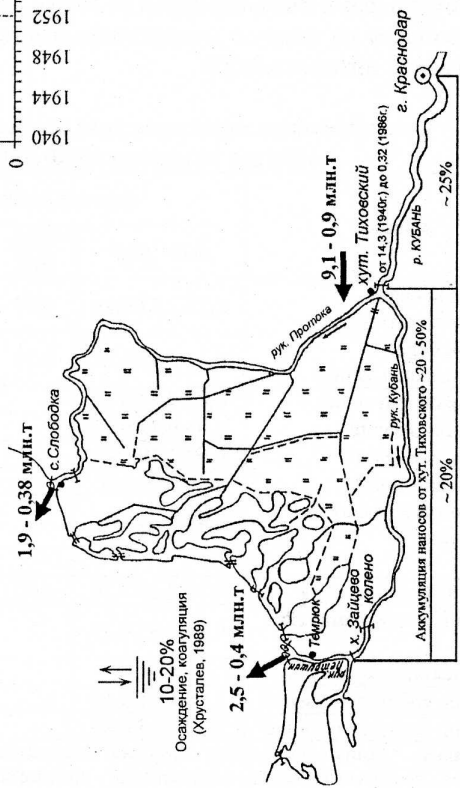
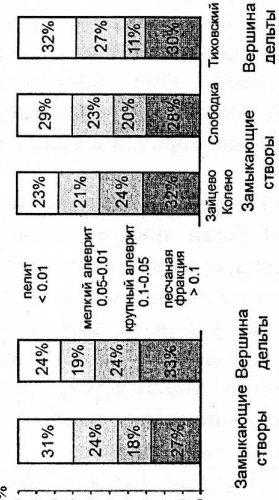


Рис 3 б. Современное изменение стока взвешенных наносов в устьевой области р. Кубань.

Последние двадцать пять лет отличаются изменением метеорологических параметров: увеличением западных ветров и нагонов, на фоне повышения среднемноголетнего положения уровенной поверхности моря. Это обстоятельство повлияло на интенсивность геоморфологических процессов в береговой зоне восточного Приазовья. В результате экспедиционных исследований установлено, что на данном побережье величина объемов материала абразии в целом возросла примерно в 1,5 раза в сравнение с 1970-ми гг.

На основе данных наблюдений за 1970-1976 гг. (Артюхин, Мамыкина, 1978) были построены эмпирические зависимости для отдельных районов побережья между суммарной за год величиной абразии берегов Азовского моря и штормовыми ветрами. С помощью этих зависимостей сделана попытка реконструировать картину интенсивности абразии за годы, не охваченные наблюдениями (табл. 1, рис. 4). В целом можно сказать, что результаты расчетов удовлетворяют имеющимся представлениям об изменчивости объемов абразийного материала от 2 до 17 млн. т. в год при среднем значении 6 - 7 млн. т (Мамыкина, Хрусталева, 1980).

Оловоые потоки. Рассмотрена динамика атмосферных выпадений на акваторию моря на основе данных метеорологических ежемесячников о количестве часов с пыльной бурей за 1960 – 1999 гг. Проведена оценка объемов поступающего на водную поверхность аэрозольного материала при пыльных бурях разной интенсивности.

Таблица 1

Сравнительная характеристика расчетных и наблюдаемых величин абразии за период 1970-2005 гг., млн.т/год

Участок	Данные наблюдений				Расчет по моделям	
	1970-1976*	1980-2002	2002-2004	2004-2005	1970-1976	1980-2000
Северный берег Таганрогского залива	0,18-2,77/0,84	0,77	0,41	0,34	0,9	0,6
Южный берег Таганрогского залива	0,16-3,52/1,21	3,34	1,72	3,53	1,27	0,84
Белосарайский залив	0,07-0,43/0,16				0,17	0,13
Бердянский залив	0,06-0,32/0,15				0,15	0,11
Обиточный залив	0,08-1,49/0,69				0,86	0,1
Утлюкский залив	0,07-0,8/0,37				0,40	0,14
Всего по северному побережью	0,42-2,64/1,37				1,58	0,48
Восточный берег моря	0,25-2,63/1,26	1,17	0,96	2,39	1,29	1,1
Дельта Кубани-Таманская зона	0,74-0,82/0,77				0,77	0,37
Керченский полуостров	0,54				0,52	0,34
Всего по собственно морю	1,98-6,05/3,94					
Всего по Азовскому морю	2,32-12,34/6,0				5,98	3,73/5,8**

Примечания: \*Данные из работы Артюхин, Мамыкина, 1978, Хрусталева, Мамыкина, 1980, в числителе - пределы изменений, в знаменателе – среднее значение; \*\*Экспертная оценка за указанный период на основе данных натуральных наблюдений, полученных в 2002-2005 гг.

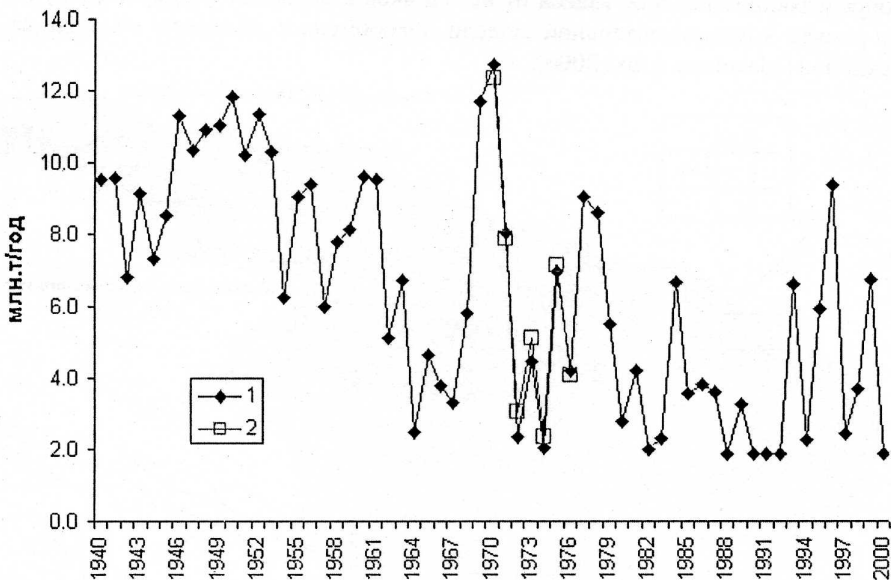


Рис. 4. Динамика поступления терригенного материала в Азовское море при абразии, млн. т/год. 1 – рассчитано по построенным моделям, 2 – данные наблюдений (Артюхин, Мамыкина, 1978).

Объем выносимых на акваторию моря твердых частиц в период сильных пыльных бурь составляет 40 – 50 млн. т., средних – 11 – 16 млн. т., слабых – 0,2 – 2,0 млн. т. При штилевой обстановке и слабых ветрах количество поступающего эолового материала составляет - 2,56 млн. т/год, с осадками на водную поверхность выпадает 0,92 млн. т аэрозоля в год (Хрусталеv, Ивлиева, 1999).

В последние двадцать лет из-за ослабления ветровой активности и снижения повторяемости пыльных бурь произошло снижение роли эолового фактора в осадконакоплении. В течение этого времени наблюдалась одна средняя по интенсивности пыльная буря в 1984 г., с объемом поступившего на поверхность моря материала - 11,1 млн. т (Хрусталеv и др., 1988), и несколько слабых (от 2 до 4 млн. т). С конца восьмидесятых годов XX века ежегодное поступление эолового вещества на акваторию Азовского моря не превышает 4 млн. т.

#### Глава 4. Оценка современной терригенной седиментации

В четвертой главе на основе предложенной модели динамики взвеси в Азовском море выполнены расчеты скоростей осадконакопления терригенного материала.

Особенности рельефа дна моря, влияющие на взмучивание донных отложений при волновом воздействии, заданы по равномерной сетке с размерами ячеек 5x5 км (рис. 5). Характерные черты циркуляции вод,

определяющие перенос взвеси от источников к областям аккумуляции, учтены в рамках компартментальной модели водообмена с делением водоема на 30 районов (Матишов и др., 2006).

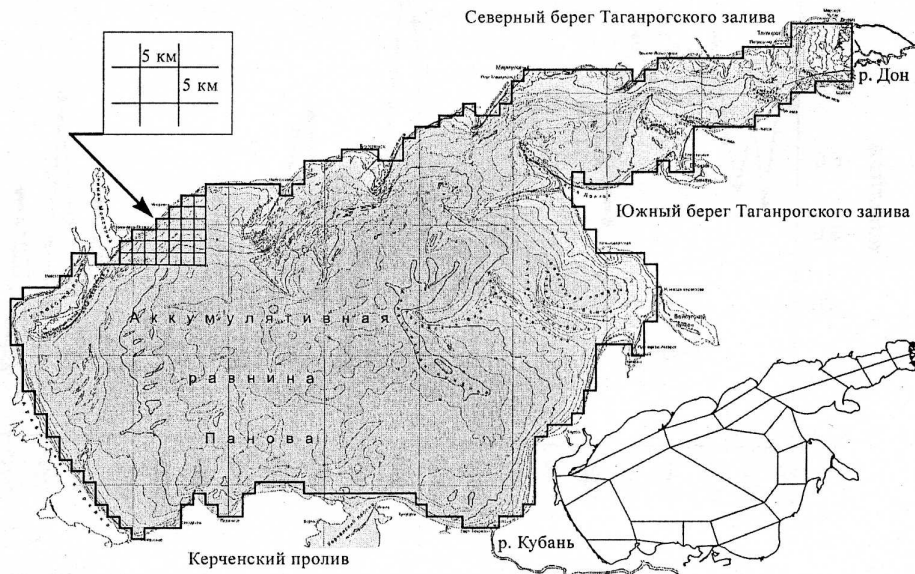


Рис. 5. Схема объединения сеточного подхода с компартментальной моделью водообмена.

Для всех лет из рассматриваемого периода с 1940 по 2000 гг. на основе анализа источников седиментационного вещества составлены схемы поступления терригенного материала по районам моря, они являлись входными данными для последующих модельных расчетов.

Проведен расчет переноса и седиментации взвеси по двум сценариям:

- а) без учета взмучивания донных отложений – сценарий механической дифференциации материала;
- б) с учетом влияния течений и волнения на взмучивание донных отложений.

Для типовых полей волнения сделаны оценки максимальной толщины слоя донных отложений, частицы которого, в зависимости от крупности, могут быть взвешены в воду. Показано, что взмучивание уменьшается с ростом размеров частиц и глубины, но даже в глубоководных районах Азовского моря при сильном волнении в водную толщу могут быть подняты частицы всех рассматриваемых в модели размеров (до 0,3 мм).

Результатами модельных расчетов являются: концентрация взвеси в районах моря по месяцам для всех лет из рассматриваемого периода, гранулометрическая структура донных отложений с выделением доли пелитовой фракции (менее 0,01 мм) как отражающей процесс терригенной седиментации, скорости осадконакопления (абразии дна) для всех районов моря, по выделенным периодам и за отдельные характерные годы; баланс терригенного материала по районам и морю в целом.

Калибровка математической модели осуществлялась путем сопоставления расчетного и наблюдаемого содержания минеральной взвеси в Азовском море (Хрусталеv и др., 1982).

При проверке адекватности модели проводилось сравнение доли пелитовой фракции в верхнем слое осадков по результатам расчетов и опубликованным схемам за аналогичные временные интервалы (Горшкова, 1961, Хрусталеv, 1989, Шнюков и др., 1974, Ивлиева, 2005).

### Динамика и структура поступления терригенного вещества

Установлено, что произошло общее сокращение объемов поступления терригенного материала в Азовское море в 2,5 раза (рис. 6), а ведущая роль в питании водоема в последнее время принадлежит абразии. В результате для современного осадконакопления характерны тенденции спада седиментационных процессов и активизации процессов размыва донных отложений.

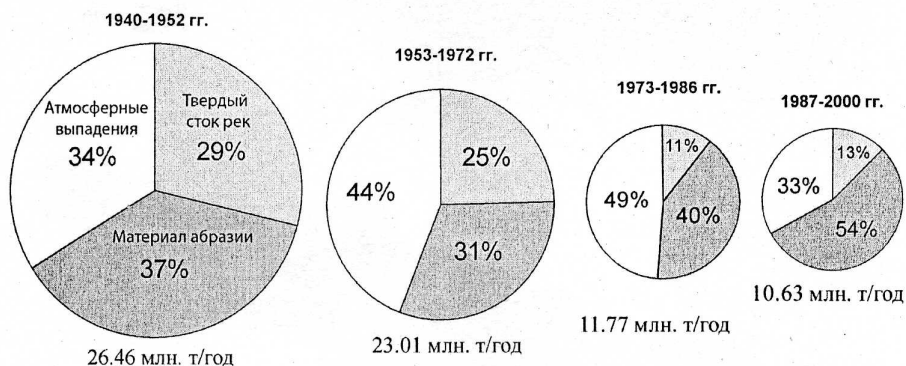


Рис. 6. Соотношение основных долей приходной части баланса седиментационного вещества в Азовском море.

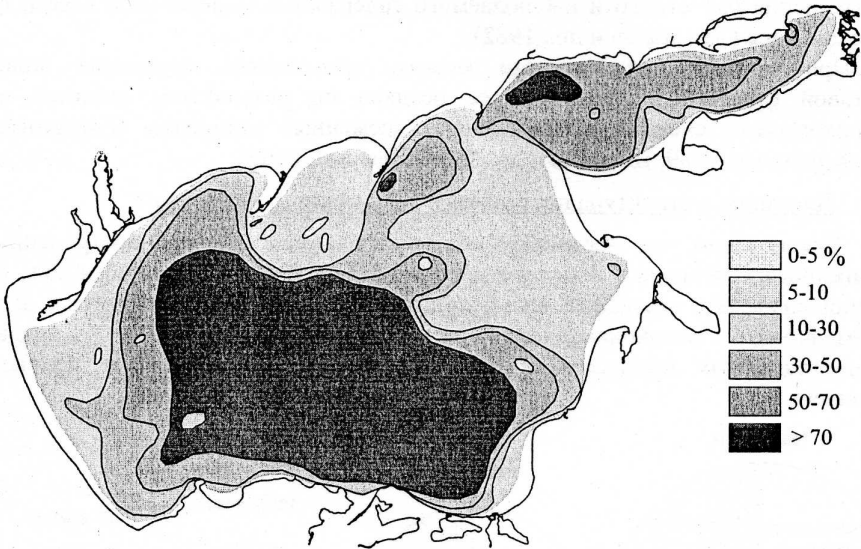
### Пелитовая составляющая донных осадков

Расчетные схемы распределения пелитовой составляющей в донных осадках адекватно отражают основные закономерности распределения терригенного материала, циркумконтинентальную зональность площади глинистой фракции, в некоторых случаях нарушаемую особенностями морфологии дна (рис. 7).

Проведенный анализ межгодовой изменчивости пелитовой составляющей донных осадков за последние 60 лет выявил следующие общие тенденции по сравнению с 1930-ми годами:

а) сокращение площади осадков с содержанием пелитовой фракции более 70%, прежде всего в Таганрогском заливе, что обусловлено «вымыванием» тонких частиц и их аккумуляцией в центральной, наиболее глубоководной части моря;

А



Б

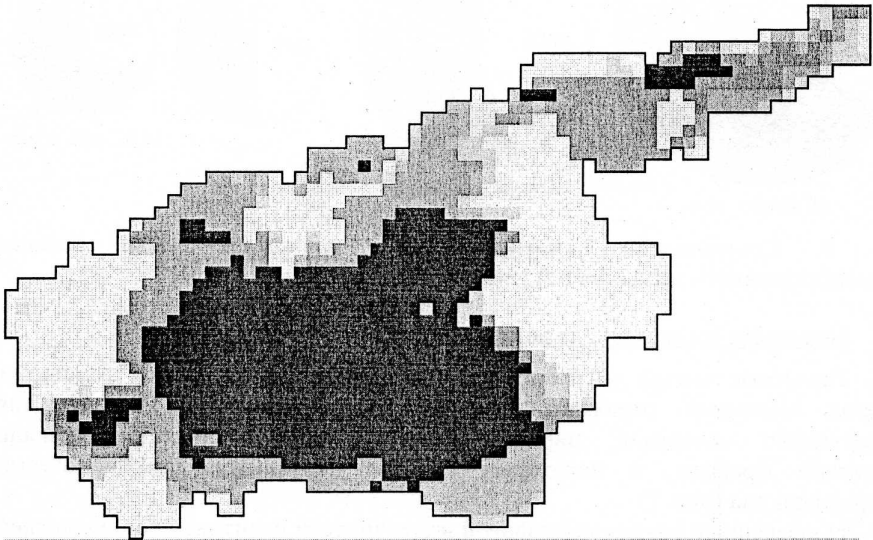


Рис. 7. Схемы содержания пелитовой фракции в нерастворимой части осадка. А- 2001 г. (Ивлиева, 2005); Б- результаты расчетов 2000 г.

б) расширение областей с содержанием пелитовой фракции от 0 до 30% в осадках, особенно в восточной части собственно моря, районе Бердянского залива, косы Долгой и Арабатской стрелки. Западнее Сазальницкой косы наблюдается зона, где происходит, в течение рассматриваемого периода (1940-2000 гг.), постепенное уменьшение пелитовой составляющей осадка, что согласуется с наблюдаемой картиной. Именно в этом месте, в соответствии с



батиметрической картой (рис. 5), находится мелководье, где сосредоточены гряды Сазальницкая и Песчаные острова.

Основными причинами этих тенденций является: а) значительное сокращением объема поступающего терригенного материала в Азовское море, изменение вклада отдельных источников; б) механическая дифференциация материала на подводном склоне в условиях волнового воздействия.

Результаты расчетов содержания пелитовой фракции в донных осадках в 1960 году, когда во время пыльной бури на акваторию моря поступило 41 млн. т эолового материала (Панов и др., 1961), показали, что структура донных отложений под влиянием гидролитодинамических факторов может полностью восстановиться уже к началу следующего года.

Результаты калибровочных расчетов позволили выявить необходимое соотношение между процессами переноса, седиментации и взмучивания, адекватные наблюдаемой картине распределения терригенной составляющей общего процесса седиментогенеза. Это позволило получить оценки скоростей осадконакопления.

#### Динамика скорости осадконакопления.

С помощью математической модели выполнена оценка интенсивности осадконакопления материала на акватории моря в период с 1940 по 2000 год. Были рассчитаны:

- объем оседающего в Азовском море терригенного материала (рис. 8);
- скорости размыва дна и площади, на которых наблюдается эрозия (рис. 9);
- скорости осадконакопления ( $\text{г}/\text{м}^2/\text{год}$ ) (рис. 10).

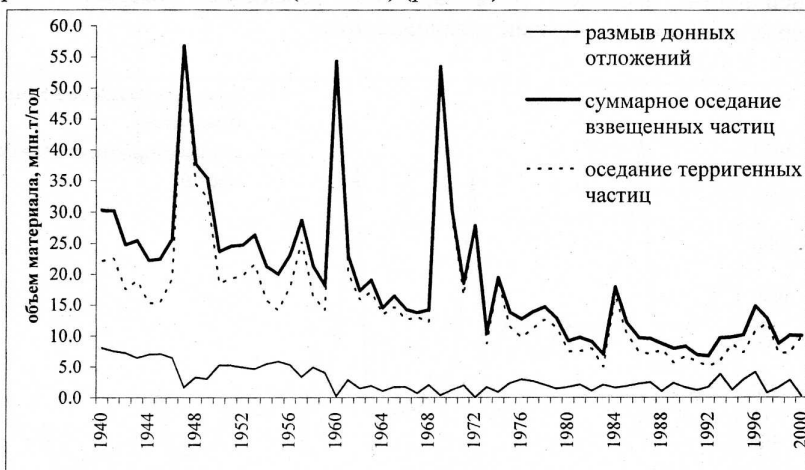


Рис. 8 Межгодовая изменчивость составных частей седиментогенеза Азовского моря

Общая тенденция уменьшения накопления терригенных осадков (рис. 8), главным образом, обусловлена сокращением объемов поступающего с суши материала. К этому следует добавить сокращение с середины 1970-х годов площадей осадконакопления и увеличение площадей акватории моря, подверженных размыву донных отложений (рис. 9).

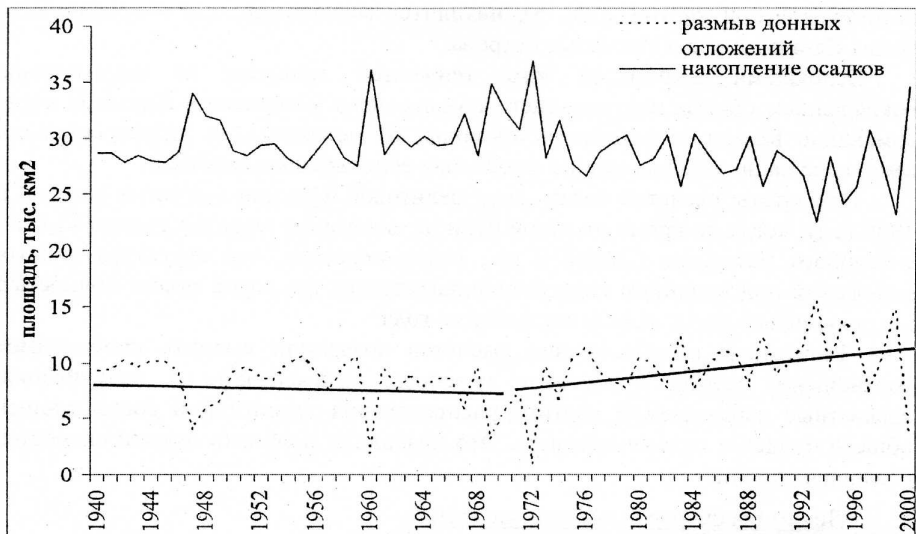


Рис. 9. Динамика площадей размыва и накопления донных осадков

Происходит снижение скоростей осадконакопления (рис. 10), в среднем от 1000 до 400 г/м<sup>2</sup>/год. Уменьшаются так же и скорости размыва донных отложений (от 700 до 200 г/м<sup>2</sup>/год), что может быть связано с сокращением интенсивности гидродинамических процессов. Несмотря на снижение интенсивности процесса размыва, из-за дефицита материала площади подверженные донной абразии увеличиваются.

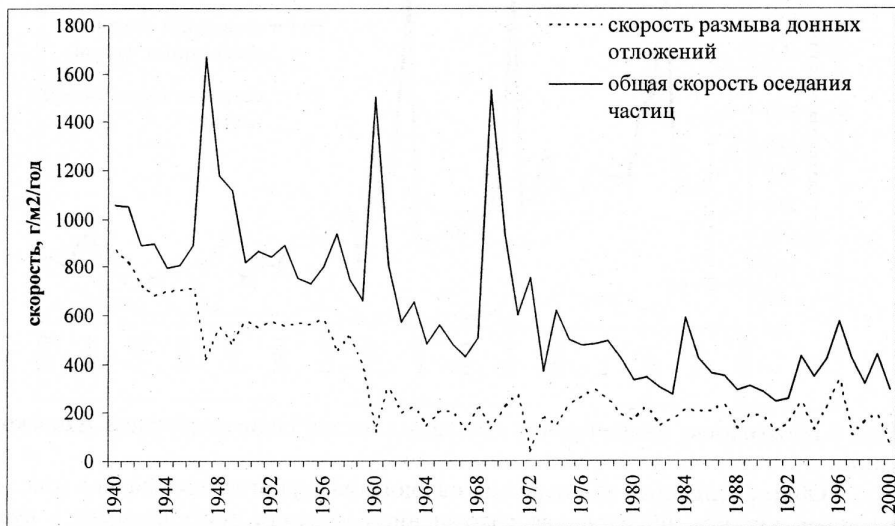


Рис. 10. Динамика скоростей размыва донных отложений и осадконакопления

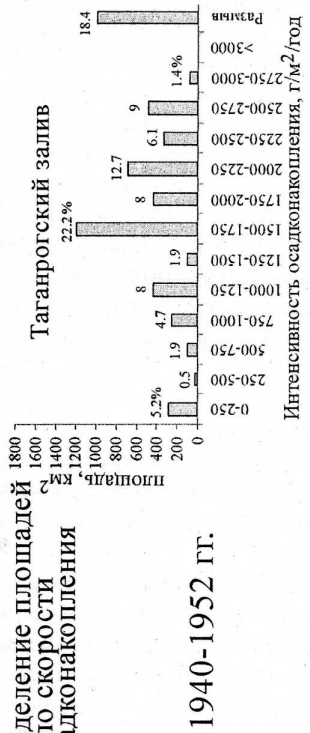
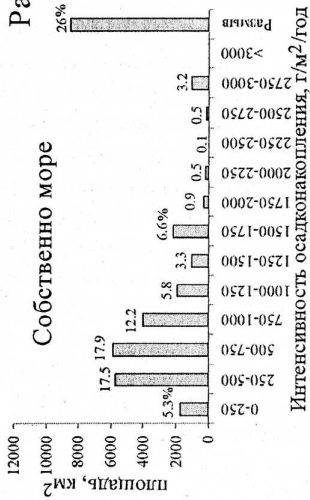
## Региональные особенности осадконакопления

В современный период, по расчетным данным, не фиксируются скорости осадконакопления  $>1500$  г/м<sup>2</sup>/год, увеличиваются площади акватории с относительно низкой скоростью (0-500 г/м<sup>2</sup>/год) в отличие от более раннего периода 1940-1952 гг. (рис. 12, 13). Коренные изменения в процессе осадконакопления произошли с середины 1970-х годов, после полного зарегулирования стока рек и, соответственно, уменьшения поступления взвешенных наносов в 4 раза, а так же снижения вклада эоловых выпадений.

Наиболее интенсивно накопление терригенных осадков идет в районах, где сосредоточены источники поставки материала и где этому способствуют особенности морфологии дна и характер гидродинамической активности: в центральной части Таганрогского залива, Темрюкском заливе, кутовых частях заливов северного Приазовья. В центральной части моря по расчетным данным величина осадконакопления составляет порядка 300 г/м<sup>2</sup>/год.

Увеличиваются площади размыва донных отложений за исследуемый период в Таганрогском заливе с 18 до 28%, в собственно море с 26 до 29%, что в большей мере обусловлено дефицитом терригенного материала, чем снижением гидродинамической активности. Характерными районами размыва являются восточная и северо-западная области собственно моря, локальные участки заливов северного Приазовья.

Для того чтобы показать чрезвычайную динамичность процесса седиментации, в работе так же были проанализированы отдельные годы с ярко выраженными особенностями поступления терригенного материала из разных источников (1940, 1964, 1969, 1970, 1990, 1996, 2000 гг.) и для них построены расчетные схемы пространственного распределения скоростей осадконакопления. Например, 1940 г. характеризовался естественным стоком рек и, соответственно, наибольшими скоростями накопления терригенного материала ( $>1500$  г/м<sup>2</sup>) в районах его влияния, 1969 г. – пыльной бурей, с относительно равномерным распределением материала по площади водоема и одинаково высокими скоростями седиментации практически на всей территории Таганрогского залива и собственно моря, за исключением крайних северо-западных районов, куда поступило наименьшее количество аэрозольных частиц и восточных районов, характеризующихся гидродинамической активностью. 1970 г. отличался преобладанием западной составляющей ветров и волнений и интенсивной абразии берегов, особенно восточной части моря, в связи с этим максимальные расчетные скорости седиментации - в Таганрогском заливе и в центральной области водоема. 1990 г. отличался минимальным поступлением терригенного вещества из всех источников, вследствие этого интенсивность накопления осадков на всей акватории снизилась и не превышала 1000 г/м<sup>2</sup>. Напротив, 1996 г. характеризовался максимальными объемами поставки терригенного материала в акваторию, при этом, в результате расчетов, появились площади со скоростями  $>1500$  г/м<sup>2</sup> в Таганрогском, Темрюкском и Обиточном заливах.



1940-1952 гг.

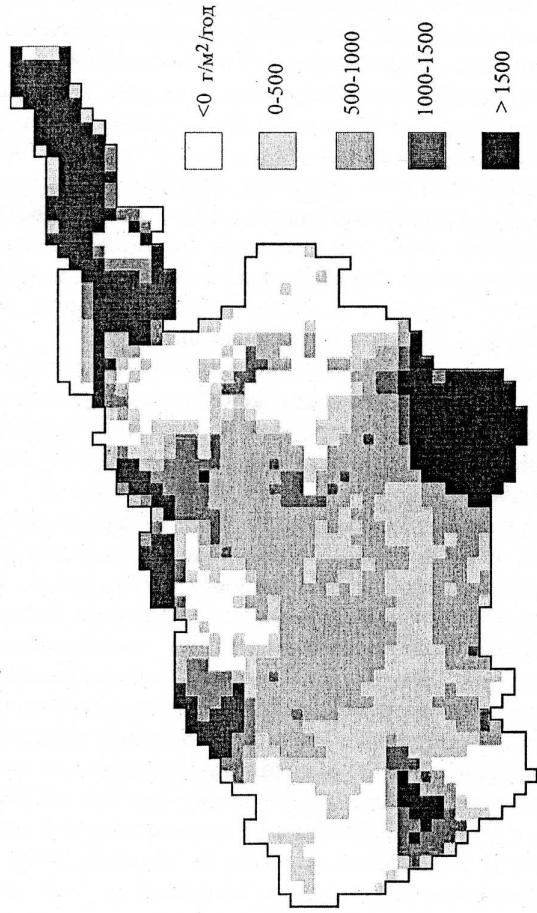


Рис. 12 Пространственные особенности скорости осадконакопления за период 1940-1952 гг.

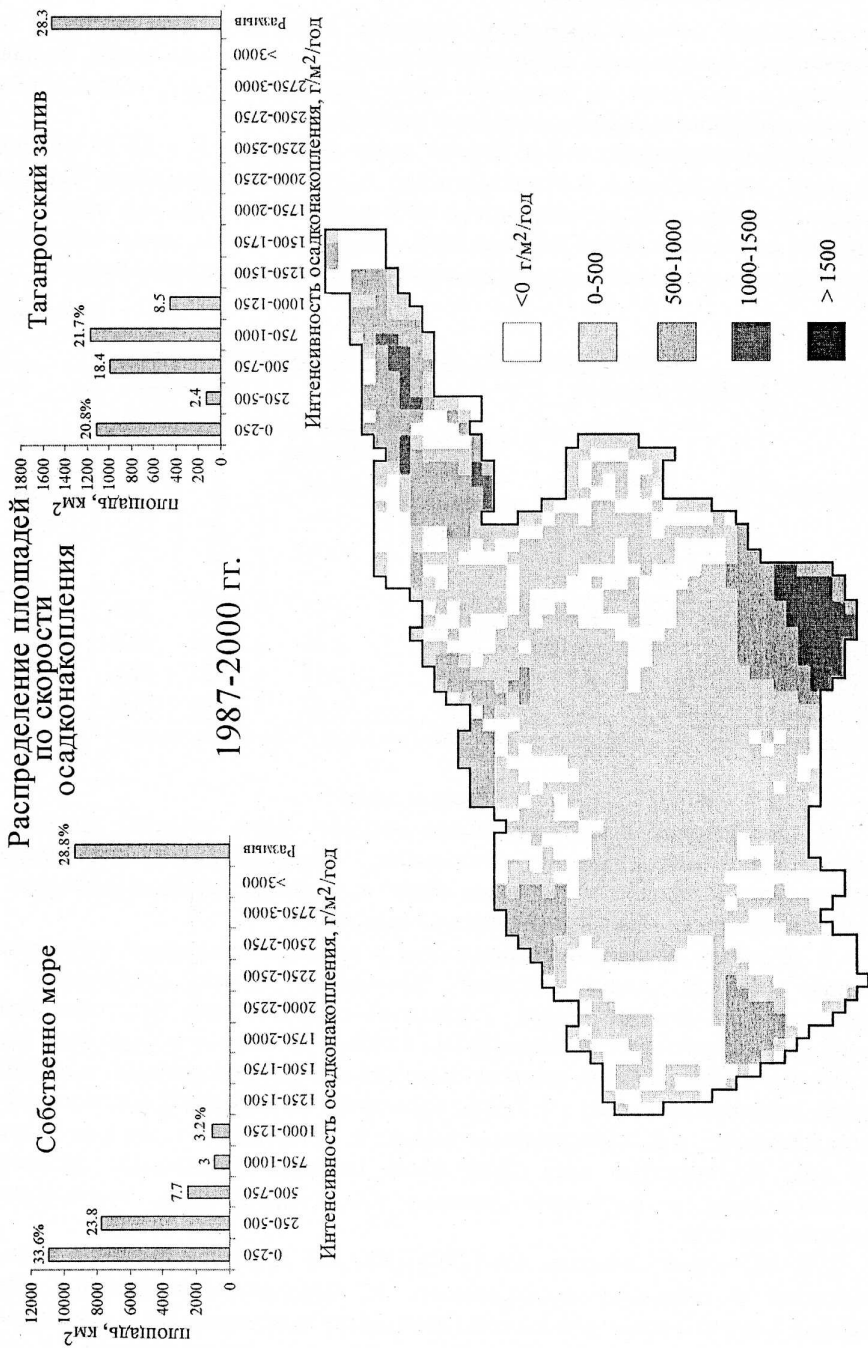


Рис. 13 Пространственные особенности скорости осадконакопления за период 1987-2000 гг.

## Баланс терригенного вещества

Детальный анализ процессов поставки материала, его переноса и седиментации, взмучивания донных отложений позволил рассчитать баланс терригенного вещества в Азовском море для выделенных, характерных периодов изменения вышеперечисленных условий (табл. 2).

Расчеты показывают, что в Черное море выносятся 8 - 13 % общего количества поступающего в Азовское море терригенного вещества. Так как выносимый в Черное море материал на 99% состоит из пелитовых частиц, то для пелита вынос составляет от 13 до 23%. Следует отметить, что в последнее время относительная доля выносимого пелитового материала увеличилась.

Таблица 2

Баланс осадочного материала в Азовском море

Период	Поступление, млн.т/год			Размыв донных отложений млн.т/год	Вынос в Черное море, млн. т/год	Итоговое оседание		Слой осадка, мм/год **
	Твердый сток	Продукты абразии	Золотые выпадения			млн.т/год	г/м <sup>2</sup> /год*	
1940-1952	7.66	9.85	8.95	5.16	2.57	29.05	765	0.69
1953-1972	5.71	7.14	10.16	2.14	1.79	23.36	615	0.56
1973-1986	1.28	4.72	5.77	1.81	1.37	12.21	321	0.29
1987-2000	1.33	5.8	3.5	1.78	1.02	9.39	280	0.25

Примечание:\*Оседание, отнесенное ко всей площади моря; \*\*плотность осадка – 1.1 г/см<sup>3</sup>.

## **Заключение**

В соответствии с поставленными задачами были изучены причинно-следственные связи между условиями формирования, поступления терригенного материала в Азовское море и режимом осадконакопления в период 1940-2000 гг., сделаны следующие выводы:

1. Характер абразионных процессов и золотых выпадений обусловлен главным образом климатическими факторами, имеет цикличность и неоднороден по площади моря. Последние двадцать пять лет отличаются изменением интенсивности геоморфологических процессов в береговой зоне Восточного Приазовья. На данном побережье величина объемов материала абразии возросла примерно в 1,5 раза. Суммарная величина абразии по морю в целом изменялась в рассматриваемый период (с 1940 по 2000 г.) от 2 до 13 млн. т. в год. В структуре приходной части баланса терригенного вещества Азовского моря в последние двадцать лет ведущая роль принадлежит материалу абразии.

2. В последние двадцать лет (1980-2000 гг.) из-за ослабления ветровой активности и снижения повторяемости и интенсивности пыльных бурь произошло значительное уменьшение количества поступающего на акваторию моря аэрозольного материала. В целом с конца восьмидесятых годов XX века

ежегодное поступление эолового вещества в Азовское море не превышает 4 млн. т.

3. Уменьшение поступления твердых веществ в море также обусловлено зарегулированием стока рек. Общее сокращение объема твердого стока Дона и Кубани в четыре раза (по сравнению с незарегулированным периодом), наряду с другими факторами, стало основной причиной дефицита осадочного вещества. Начиная с 1960-х гг. в структуре гранулометрического состава стока наносов рек произошли изменения: увеличение крупнозернистых частиц и уменьшение тонкозернистого материала в два раза.

4. В результате расчета баланса осадочного вещества в Азовском море по годам, было установлено уменьшение всех его составляющих частей. Кроме того, выявлены значительные изменения в структуре приходной части баланса: уменьшился вклад эоловых выпадений и увеличилась доля материала абразии берегов, особенно восточной части Азовского моря на фоне низкого твердого стока рек. Общее поступление терригенного материала в Азовское море сократилось в 2-2,5 раза за период с 1940 г. по 2000 г.

5. Расчеты показывают, что за исследуемый период увеличиваются площади размыва донных отложений в Таганрогском заливе с 18 до 28%, в собственно море с 26 до 29%, главным образом за счет дефицита осадочного терригенного материала. Характерными районами размыва являются восточная и северо-западная области собственно моря, локальные участки заливов северного Приазовья.

6. На основе расчетов выявлено, что наиболее интенсивно накопление терригенных осадков в современный период (1987-2000 гг.) происходит в районах, где сосредоточены источники поставки материала и где этому способствуют особенности морфологии дна и гидродинамической активности: в центральной части Таганрогского залива ( $600-800 \text{ г/м}^2/\text{год}$ ), Темрюкском заливе ( $1100 \text{ г/м}^2/\text{год}$ ), в кутовых частях заливов северного Приазовья ( $500 \text{ г/м}^2/\text{год}$ ) и в центральной части моря ( $300 \text{ г/м}^2/\text{год}$ ).

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Коновалова И.В., Прудникова В.В., Цыганкова А.Е. Опыт применения математических моделей морских экосистем при обучении по специальности физическая география и экология. Азовское, Черное и Охотское моря. // Математическое моделирование в проблемах рационального природопользования. Тез докл. 26 школы - семинара (г. Новороссийск, 14-19 сентября 1998 г.). Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 1998. С. 62-64.

2. Прудникова В.В., Ивлиева О.В., Бердников С.В. Имитационная модель переноса и седиментации техногенных примесей в Азовском море. // Математическое моделирование в проблемах рационального природопользования. Тез. докл. 28 школы семинара (г. Новороссийск, 11-16 сентября 2000 г.). Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 2000. С. 171-173.

3. Прудникова В.В. Применение математической модели морской экосистемы для оценки распространения и захоронения в донных отложениях Азовского моря техногенных примесей. // Тез. докл. III Всероссийской школы по компьютерным технологиям и обучающим программам в геологии. (г. Аксай, 13-17 ноября 2000 г.). Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2000. С. 29-31.

4. Бердников С.В., Ивлиева О.В., Прудникова В.В. Применение компартментальной модели для исследования переноса и захоронения твердых техногенных примесей. // Среда, биота и моделирование экологических процессов в Азовском море. Апатиты: КНЦ РАН, 2001а. С. 226-239.

5. Бердников С.В., Ивлиева О.В., Прудникова В.В. Математическое моделирование переноса и седиментации техногенных примесей в Азовском море. // Океанология. 2001б. Том 41, № 5. С. 1-10.

6. Хрусталеv Ю.П., Ивлиева О.В., Прудникова В.В. Моделирование переноса и седиментации техногенных частиц в Азовском море. // Геология морей и океанов. Тез. докл. XIV международной школы морской геологии. Москва, 2001. Том II. С. 135-136.

7. Матишов Д.Г., Бердников С.В., Буфетова М.В., Прудникова В.В. О возможности применения компартментальной модели для оценки структуры потоков радионуклидов в Азовском море. // Проблемы радиоэкологии морей Европейской части России. Тез. докл. международной научной конференции (г. Ростов-на-Дону, 24-26 июня 2001 г.). Мурманск: ММБИ КНЦ, 2001. С. 45-46.

8. Прудникова В.В. Применение математического моделирования для исследования процессов осадконакопления в Азовском море в современный период. // Тез. докл. IV Всероссийской школы по компьютерным технологиям и обучающим программам в геологии. (г. Сочи, 20-24 сентября 2001 г.). Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2001, С. 28-31.

9. Прудникова В.В. О преобразовании твердого стока в Азовском море в современных условиях. // Математическое моделирование в проблемах рационального природопользования. Тез докл. 29-ой школы семинара (г. Новороссийск, 10-15 сентября 2001 г.). Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 2001. С. 157-159.



10. Бердников С.В., Прудникова В.В. Современное терригенное осадконакопление на азовском шельфе. // Экосистемные исследования Азовского моря и побережья. Т. IV. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. С. 264-273.

11. Прудникова В.В. Осадконакопление терригенного материала в Азовском море в условиях антропогенного преобразования гидрологического режима рек. // Современные проблемы океанологии шельфовых морей России: Тез. докл. междунар. конф. (г. Ростов-на-Дону, 13-15 июня 2002 г.). Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2002. С. 204-207.

12. Сорокина В.В., Кузнецов А.В., Бердников С.В. Модельные исследования современных процессов осадконакопления в Азовском море с применением информационно-сервисной оболочки «Region». // Тез докл. V Всероссийской школы по компьютерным технологиям и обучающим программам в геологии. (г. Сочи, 15-19 сентября 2002 г.). Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2002. С. 29-31.

13. Сорокина В.В., Ивлиев П.П. Современное состояние береговой зоны Восточного Приазовья. // Материалы XXI конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института. (г. Мурманск, апрель 2003 г.). Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2003. С. 150-152.

14. Сорокина В.В., Ивлиев П.П., Ивлиева О.В., Бердников С.В., Современные процессы абразии берегов Азовского моря. // Проблемы литодинамики и экосистем Азовского моря и Керченского пролива. Тез. докл. между. науч.-практ. конф. (г. Ростов-на-Дону, 8-9 июня 2004 г.). Ростов-на-Дону: ООО «ЦВВР», 2004. С. 87-88.

15. Ивлиева О.В., Сорокина В.В. Ветровая активность и интенсивность абразии на российском побережье Азовского моря. // Современные технологии мониторинга и освоения природных ресурсов южных морей России. Тез. докл. междунар. семинара (г. Ростов-на-Дону, 15-17 июня 2005 г.). Ростов-на-Дону: ООО «ЦВВР», 2005. С. 72-73.

16. Ивлиева О.В., Сорокина В.В., Лурье П.М. Влияние изменений климата на интенсивность абразии на Российском побережье Азовского моря. // Сергеевские чтения. Инженерно-экологические изыскания в строительстве: теоретические основы, методика, методы и практика. Вып.8 / Материалы годичной сессии Науч. совета РАН по пробл. геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (23 марта 2006 г.) – М.: ГЕОС, 2006. С. 219-220.

17. Сорокина В.В. Современное изменение жидкого и твердого стока в устьевых областях рек Дон и Кубань. // Взгляд в будущее. Материалы VIII-х межрегион. юнош. чтений им. В.И. Вернадского (г. Тамбов, 10-11 марта 2006). Тамбов – Вернадовка: Изд-во НКПЦ им. В.И. Вернадского, 2006. С. 77.

---

Печать цифровая. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Формат 60x84/16. Объем 1,0 уч.-изд.-л.

Заказ № 1015. Тираж 100 экз.

Отпечатано в КМЦ «КОПИЦЕНТР»

344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Суворова, 19, тел. 247-34-88

---