

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ

На правах рукописи

КРАСНОЖОН Гений Федорович

УДК 551.435.3+551.482.6

ДИНАМИКА БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ  
ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ  
И УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЕЙ РЕК

11.00.07 — Гидрология суши, водные ресурсы,  
гидрохимия

Диссертация  
в форме научного доклада  
на соискание ученой степени доктора  
географических наук

Москва — 1991

Работа выполнена в Институте водных проблем АН СССР.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Г. Н. Смирнов;

доктор географических наук Н. А. Айбулатов;

доктор географических наук Г. Н. Панин.

Ведущая организация — Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт гидротехники имени Б. Е. Веденеева.

Защита состоится « 15 » ноября 1991 года в 10 часов на заседании специализированного совета по защите диссертаций при Институте водных проблем АН СССР, 103064, Москва 64, Садовое кольцо, 10/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института водных проблем АН СССР.

Доклад разослан « 15 » ноября 1991 года.

Ученый секретарь  
специализированного  
совета по защите диссертаций  
к.г.-м.н.

на

- 1 -

#### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Использование береговой зоны внутренних водоемов и устьевых областей рек занимает особое место в народном хозяйстве. Длина береговой линии морей, озер, водохранилищ в СССР достигает нескольких миллионов километров. Береговая зона и устья рек — своеобразная переходная область между морем, сушей и речными системами. Проектирование и эксплуатация портов и судоходных путей, водозаборных и водосбросных сооружений, газо- и нефтепроводов, мостовых переходов, вопросы использования и защиты береговой полосы и устьевых областей рек и размещения предприятий, вопросы эффективного использования и охраны природных ресурсов не могут быть решены без знания основных закономерностей динамики береговой зоны и дельтообразования.

Природные комплексы береговых зон и устьевых областей очень сложные и наиболее богатые, так как представлены краевыми биотопами, они интенсивно используются (рыбное хозяйство). Антропогенная нагрузка особенно сильно проявляется на внутренних бессточных водоемах со значительными изменениями уровня воды, что оказывает неблагоприятное воздействие на рациональное использование водных, земельных и биологических ресурсов и вызывает необходимость разработки системы мониторинга береговых зон и устьевых областей.

Под береговой зоной внутренних водоемов (внутренних морей, озер и водохранилищ) подразумевается зона взаимодействия водоема и части его котловины, где происходит перенос вещества литосферы и переформирование котловины под влиянием в основном энергии ветрового волнения. Под динамикой береговой зоны мы понимаем совокупность процессов, вызванных в основном волновыми факторами, определяющих ее развитие.

В основе теории динамики береговой зоны лежат представления о формировании трансформирующимися ветровыми волнами профиля равновесия (Зенкович, 1962; Лонгинов, 1963). Волнение и ветроволновые

№ \_\_\_\_\_

Библиотека



течения (активные факторы) воздействуют на береговую зону, переносят наносы, формируют его определенный поперечный, продольный профиль. Морфологические и геологические особенности строения береговой зоны, характеристики и количество наносов, темпы поступления наносов (пассивные факторы), колебания уровня воды (сезонные, многолетние) оказывают существенное влияние на динамику береговой зоны. В результате длительного воздействия волн в береговой зоне вырабатывается профиль динамического равновесия, испытывающий незначительные периодические изменения, если на участке берега баланс наносов остается почти неизменным.

В районах впадения рек (устьевые области) динамика береговой зоны определяется как морскими (волнение, колебание уровней, течение, перенос наносов), так и речными факторами (речные течения, перенос и отложение наносов) и их взаимодействием.

К динамике устьевых областей относят совокупность гидрологических процессов в пределах дельты и устьевого взморья, определяющих их развитие, это: режим стока воды и наносов, термический, ледовый, гидрохимический режимы и их влияние на формирование комплекса природных условий и биологической продуктивности.

В пределах устьевой области происходит трансформация гидрологического режима реки под влиянием гидрологического режима моря: изменение гидравлических сопротивлений и пропускной способности русла при подходе к морю. В зоне сопряжения водной поверхности реки и моря происходит отложение наносов, изменение характеристик русел, деление их на рукава, образование надводной и подводной части дельт, втекание реки в море, смешение речных и морских вод, выдвижение рукавов за счет отложения наносов, сопровождающееся перераспределением стока воды и наносов, изменением гидрографической сети.

В зависимости от баланса наносов с учетом приносимого рекой

твердого стока, размыва или отложения наносов из вдольберегового потока наносов на взморье устьевой области реки развиваются дельты различного типа. Совместная работа волнения, ветроволновых и речных течений, переноса наносов приводит к формированию профиля подводного склона дельты. В зависимости от преобладания воздействия речных или морских факторов дельты подразделяют на: а) речные (русловые), б) морские (прибойные), в) приливные. Так дельта Волги относится к речному типу с култучным морским краем дельты (МКД), обширным мелководным устьевым взморьем (МВВ), защищающим МКД от волнового воздействия.

В работе рассматриваются бесприливные устьевые области речного многорукавного типа с выдвинутыми дельтами, образованными на аккумулятивных берегах.

В основе теории устьевых процессов лежат разработанные:

- теория стадийности и цикличности процессов дельтообразования (Байдин, 1971);
- представления об особенностях транспорта наносов в устьевой области и его влияния на механизм развития дельт (Штейнман, 1982) на разных стадиях;
- представления о влиянии типа втекания речного потока в море на развитие дельт (Бэйтс, 1953);
- представления о закономерностях русловых процессов и динамике гидрографической сети дельт (Рогов, Михайлов, Макарова), формированию гидролого-морфологических характеристик устойчивой русловой сети (Михайлов, 1971, 1977, 1986) и бара (Полонский и др., 1977);
- теория и методы расчета установившихся течений в устьях рек (Бондар, 1972; Самсонов, 1978; Мак-Доуэлл, Океннор, 1983; Михайлов, 1959, 1971, 1986; Арсеньев, 1983; Бутаков, 1981; Диваков, 1988);



- представления о дельте, как системе гидравлически и морфологически взаимосвязанных элементов, реагирующей на особенности гидрологического режима системы речного бассейна и приемного водоема (Михайлов, Рогов, 1986), закономерности распределения стока воды по рукавам в зависимости от сопротивления;

- представления о балансе речных и морских наносов на устьевом взморье (Штейнман, 1982; Михайлов, 1986);

- представления о смешении речных и морских вод на устьевом взморье;

- представления об устьевой области, как открытой природной системе, испытывающей через свои границы влияние всех естественных (в том числе и климатических) и антропогенных изменений (Михайлов, 1986; Красножон, 1985, 1988).

В основе теории динамики береговой зоны лежат теория и методы расчета параметров ветровых волн и их воздействий на дно и берега (Шулейкин, 1956; Бретшнайдер, 1959; Крылов, 1966; Давидан; Матушевский, Стрекалов и др., 1968; Заславский и др.; Зенкович, 1962; Лонгинов, 1963, 1973), включая исследования по волновым течениям в береговой зоне (Шипард, Инмен, 1951; Путнам, Мунк, 1951; Шадрин 1972, 1960), критическим волновым скоростям перемещения воды у дна для наносов различной крупности, закономерностям поперечного и продольного (вдольберегового) перемещения наносов, формирования динамически устойчивого профиля равновесия берегового склона и т.д. (Мунк-Петерсен, 1934; Кнапе, 1938; Божич, Джунковский, 1949; Шипард, 1951, 1969; Баском, 1951, 1964; Кондратьев, 1953; Фольбрехт, 1954; Кинг, 1959; Пышкин, 1963, 1973; Айбулатов, 1966, 1990; Пышкин, Максимчук, Цайтц, 1967; Смирнов, 1974, 1987; Комар, 1970; Шуляк, 1971; Анциферов, Косьян, 1986; Леонтьев, 1989 и многие др.).

Основные процессы в береговой зоне определяются ветровым волнением (трансформацией волн и переносом наносов волнами и вет-

роволновыми течениями). Они происходят на фоне проявления пассивных факторов (геолого-геоморфологическое строение подводного склона, характеристики пород и наносов, характер биогенных процессов - зарастание) при колебании уровней приемного водоема (нагоны, сезонные и многолетние колебания и т.п.).

Несмотря на наличие многочисленных теорий и методов расчета параметров волн и характеристик их воздействия, результаты вычислений с их использованием для различных географических объектов (внутренние моря, озера, водохранилища и т.п.) существенно различны. Требовалась разработка системы методов расчета параметров волн на разных глубинах; волновых донных скоростей и скоростей волнового переноса жидкости, критических волновых скоростей для переноса песчаных наносов (с выделением условий массового перемещения наносов), характеристик динамически устойчивой береговой зоны, отвечающей заданным волновым характеристикам, величины вдольберегового потока наносов, определенной с учетом всех действующих волн (спектр волн). Только разработка такой системы методов позволила бы количественно оценить в любых условиях характеристики динамически устойчивого поперечного профиля равновесия (теория В.П.Зенковича, 1962) и тенденции его изменения за счет положительного или отрицательного баланса наносов при их вдольбереговом переносе.

К сожалению, в большинстве работ не полностью раскрыта роль морских факторов в механизме дельтообразования и не показаны особенности методики их учета в береговой зоне и устьях рек. Не достаточно изучены особенности формирования морского края дельт. В лучшем случае изучаются влияние особенностей и баланса твердого стока, миграции речных наносов на цикличность процессов дельтообразования, особенности формирования дельт выдвигания. Невоз-



возможность учета влияния наносов, переносимых вдольбереговыми потоками, была вызвана отсутствием надежных методов расчета. Во многих исследованиях до настоящего времени используются по существу методы, аналогичные предложенным И.Мунх-Петерсеном и Р.Д.Кнапсом в 30-х годах. Реальный волновой режим не учитывается.

В результате отсутствия надежного обоснования и неправильного трассирования наблюдались занесения судоходных каналов в устьях рек, размыв эксплуатируемых участков морских дельтовых берегов. Причиной этого было также отсутствие надежных и общепризнанных методов расчета параметров волн и их влияния на перенос и отложение наносов. С развитием теории и практики инженерных расчетов параметров волн (Бретшнайдер, 1959; Шулеикин, 1960, 1966; Крылов, 1966; Красножон, 1960, 1961, 1975; Ржеплинский, Матушевский, Стрекалов, 1968; Иппен, 1966-1970; Филлипс, 1966; Лонге-Хиггинс, Майлс и др.) были разработаны методы учета их воздействия на берега, дно и наносы: определение высоты наката волн на откосы различной конфигурации, шероховатости и проницаемости (Красножон, 1975), определение глубины волнового воздействия на частицы различной крупности (Кондратьев, 1953; Красножон, 1958), сдвигающие волновые скорости (Красножон, 1958, 1959, 1963), определение характера и количества переносимых волнами наносов ит.п. (Амбулатов, 1966, 1990; Красножон, 1959, 1971, 1973).

Большой вклад в изучение ветрового волнения и методов их расчета и характеристик воздействия волн на берега внесли институты ГОИН, Союзморниипроект, ИОАН, МИСИ, ВОДГЕО, ВНИИГ, ЦНИИС, Гидромеханики АН УССР, Министерства обороны и др..

Комплекс работ по особенностям расчета и теории установившихся течений в устьях рек выполнен в Институте водных проблем АН СССР под руководством автора (Арсеньев С.А., Диваков И.В., Газмирук В.Д.). Эти работы уточнили возможности определения

скорости течений на устьевом взморье с учетом гидролого-морфологических особенностей строения береговой зоны (в том числе конфигурации береговой линии).

Для развития теории устьевых процессов необходимы высококачественные данные натуральных наблюдений за динамикой водных масс и гидрографической сети, влияющих на состояние природной среды. Необходима разработка методики слежения и получения данных наблюдений с помощью аэрокосмических средств. Разработка современной методики слежения за динамикой природной среды береговых зон и устьевых областей крупных водоемов, позволяющей быстро получать экспериментальный материал о ее характеристиках, состоянии и динамике, является важной научной проблемой. Решение этой проблемы будет способствовать получению правильной оценки современного состояния природных объектов, разработке обоснованного комплекса мероприятий по эффективному использованию природных ресурсов, разработке системы мониторинга а также развитию теории дельтообразования, береговых и устьевых процессов, разработке новых методов расчета и прогноза.

Цели и задачи работы. Цель работы - исследование основных активных морских факторов, оказывающих влияние на динамику береговой зоны, береговые и устьевые процессы, установление общих закономерностей их формирования и разработка методов расчета их характеристик и параметров; изучение общих закономерностей, создание моделей процесса воздействия волн на песчаные наносы (размыв, перенос) и формирования динамически устойчивой отмели, разработка методов расчета их характеристик; разработка современной методики наблюдений за береговыми и устьевыми процессами, получение с ее помощью новых данных по устьям Волги, Урала и Терека для разработки рекомендации по эффективному комплексному использованию их природных ресурсов и развитию теории и практики расчетов и прогнозов



устьевых процессов.

Для выполнения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Изучены закономерности формирования высоты и длины волны в условиях глубокой воды в зависимости от скорости ветра и длины разгона на водоемах различного типа (озера, водохранилища, моря). Разработаны модель и методика расчета.
2. Изучены закономерности процесса трансформации глубоководных волн при подходе к берегу до прибойной зоны и в зоне прибоя до их окончательного обрушения. Получены модели и методика расчетов для всех параметров волн.
3. Изучены закономерности процесса наката волн различного характера и крутизны на береговые откосы разной формы, шероховатости и проницаемости. Разработаны модели и методика расчета наката волн (зоны наката).
4. Изучены закономерности переноса наносов волнами и формирования динамически устойчивой береговой отмели на водохранилищах, озерах и морях. Разработаны общие модели и методики расчета глубины волнового воздействия, критических волновых скоростей для песчаных наносов и величины вдольберегового потока наносов.
5. Разработаны основы новой методики исследований и обработки данных наблюдений за береговыми и устьевыми процессами с помощью аэрокосмической информации. Получены по заказанным аэрокосмическим съемкам новые данные по современному состоянию устьевых областей Волги, Урала, Терека и их динамике (динамике морского края дельты, гидрографической сети, природных комплексов дельты и авандельты, течений и т.п.)
6. Изучено распространение стоковых течений на мелководном устьевом взморье Волги и разработана методика их расчета с использованием характеристик течений и зарастаемости МВВ, полученных по данным космических съемок и наземных исследований.

7. На основе изучения динамики течений на МВВ Волги разработана методика использования космических фотосъемок для прогнозирования будущего расположения гидрографической сети.

8. На основе комплексного изучения динамики устьевых областей разработаны основы мониторинга устья Волги с помощью космической информации, опирающиеся на ландшафтно-экологическое районирование.

9. С помощью физико-математических моделей, данных наблюдений и космических фотосъемок уточнены существующие представления о системе стоковых и ветровых течений на взморье Волги, Урала и Терека, процессах водо- и солеобмена в северной части Каспийского моря, уточнены представления о механизме смешения речных и морских вод по данным об одновременном распределении водных масс.

10. На основе обработки космических фотоснимков получены картографические материалы по береговой зоне Северного Каспия на период наименьшего стояния уровня моря.

11. Разработана методика использования космических фотосъемок для анализа и характеристики стонно-нагонных процессов и ледового режима на Северном Каспии.

12. Изучено влияние регулирования речного стока и изменения уровня моря на гидрологический режим устьевых областей рек.

Научная новизна работы. I. В работе проведено всестороннее изучение основного активного морского фактора - ветрового волнения, в результате которого вскрыт механизм, особенности формирования волн и волновых воздействий на наносы и впервые разработана система моделей и расчетных методов и характеристик волнового воздействия в береговой зоне на песчаное дно и берега. Система методов позволяет рассчитать параметры волн (высоту, длину, крутизну, возвышение гребня, критическую глубину) до прибойной зоны, в прибойной зоне (включая расчет зон обрушения и последней критической глубины),



характеристики зоны наката волн после последнего обрушения (включая объемы поступающей воды), критические глубины, где нарушается на дне устойчивость частиц наносов данной крупности, характеристики начальных скоростей и скоростей массового переноса наносов волновым потоком, величины и направления вдольберегового потока наносов, вызванного ветроволновыми течениями в береговой зоне.

На основе проведенных исследований были: а) вскрыты единство и особенности формирования параметров глубоководных волн для установившегося волнения на водоемах различного типа - озерах, водохранилищах, морях; б) вскрыты единство и особенности трансформации волн в береговой зоне при различных условиях (уклон дна, ветер, крутизна волн), вскрыт механизм трансформации волн и подобрана система расчетных методов (моделей), правильно отражающих основные процессы; в) изучены особенности формирования прибойной зоны, ее мористой и береговой границы, разработаны методы расчета всех параметров волн в прибойной зоне; г) исследованы особенности формирования зоны наката волн после их окончательного разрушения на различных по форме, шероховатости и проницаемости откосах при воздействии волн различного характера (регулярных, нерегулярных, при различных ветровых условиях и т.п.); д) вскрыты особенности и единство механизма нарушения устойчивости частиц наносов на дне на волновые воздействия по сравнению с воздействием однонаправленных течений; е) вскрыт механизм и разработан метод учета суммарного воздействия волн на перенос наносов.

2. Впервые разработана методика слежения за состоянием и динамикой крупных устьевых областей рек с помощью космической фотоинформации.

Разработана методика дешифрования природных объектов и проявлений гидрофизических процессов в устьевых областях рек и бере-

говой зоне. На основе разработанной методики впервые получены по данным космической информации (КФ):

а) карты природных комплексов устьевых областей Волги, Урала, Терека, Сулака и береговой зоны северной части Каспийского моря и данные по их динамике (пространственно-временной изменчивости);

б) сведения о современном состоянии и динамике гидрографической сети дельт Волги, Урала и Терека, сведения о древней гидрографической сети устья Урала;

в) новые данные по динамике морского края дельт (МКД) Волги и Урала, пространственно-временной изменчивости зарастания высшей водной растительностью мелководного устьевоего взморья Волги;

г) данные о распространении и характере струйных течений по сезонам на мелководном взморье Волги;

д) новые данные о распространении (и динамике) на Северном Каспии различных водных масс, течений, фронтов, вихрей, стонов и нагонов различных типов льда, подводной растительности, различных донных аккумулятивных и эрозийных форм и данные по их динамике.

Полученные материалы исследований и наблюдений позволили вскрыть некоторые особенности гидрологического режима и его влияния на формирование экосистем и разработать основы системы мониторинга устьевых областей рек. Выявлен струйный характер течений на мелководном устьевом взморье (МУВ) Волги и пространственная дифференциация водной растительности, зависящие от глубины воды, рельефа дна и уклонов водной поверхности. Проведенное по течениям и высшей водной растительности районирование показало его способность правильно отражать районы с одинаковым ходом гидрохимических и гидробиологических процессов, что позволяет использовать его как ландшафтно-экологическое районирование.



Основные методики проверены на других полигонах, а также в других природных условиях, в частности, в тропических условиях Кубы.

3. На базе обработки космической фотоинформации и проведенных наземных исследований впервые разработаны основы системы целевого гидрологического мониторинга крупных устьевых областей с помощью КФ, включая методику изучения, полученные материалы по динамике природных комплексов, районированию, методу расчета течений и распределения расходов воды на МУВ, методу фонового прогнозирования расположения будущей гидрографической сети на устьевом взморье мелководного типа, методике индикации и картирования прибрежных территорий, подверженных сгонно-нагонным колебаниям уровня воды, предложениям по использованию пресных вод западной части Северного Каспия.

4. Получили дальнейшее развитие представления о процессах дельтообразования:

а) Установлены особенности начальных процессов дельтообразования на МУВ

1) на взморьях мелководного типа (устье Волги) основными процессами в зарождении и развитии гидрографической сети являются выдвигание у выхода протока по линии МКД речных баровых образований и образование промоин в местах сосредоточения стока в поймоделье;

2) установлены закономерности распространения струйных течений на основе данных КФ и разработанных методов расчета;

3) на взморье мелководного типа все влекомые наносы и крупные фракции взвешенных наносов осаждаются в районе МКД, а мелкие фракции взвешенных наносов в пределах площади и склона авандельты;

б) установлены особенности формирования современного общего

облика дельт Волги и Урала в первоначальный период их развития (около 12000 лет назад);

в) показана роль МУВ в системе дельта - приемный водоем, в частности в распределении стока, формировании пропускной способности и базиса эрозии; развита методика учета гидравлических сопротивлений стоковым течениям;

г) уточнены особенности механизма процессов смещения морских и речных вод и "разноса" речных наносов.

#### Практическая реализация результатов исследований

Результаты, полученные при выполнении работы внедрены в практику и широко используются.

1. Метод расчета высоты и длины волны на глубокой воде в зависимости от скорости ветра и длины разгона для установившегося волнения был рекомендован Техническими условиями определения волновых воздействий на морские и речные сооружения и берега (СН 92-60) в качестве одного из основных расчетных методов. Метод изложен в учебниках для ВТУЗов "Порты и портовые сооружения". М., 1964, Н.Н. Джунковского и др. и "Железнодорожный путь" Г.М. Шахунянец. Изд. Транспорт, 1969 г.

2. Метод расчета трансформации параметров волн (высоты, длины, высоты гребня, критических глубин) при подходе к берегу для зоны глубин до критических и в прибойной зоне был принят в качестве основного расчетного метода для случая уклонов дна 0,1-0,001 в СН 92-60 или менее 0,02 во всех других общесоюзных нормативных документах, начиная с глав СНиП П-57-75 и кончая СНиП 2.06.04-82 "Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Кроме этого он был изложен также в Руководстве по определению нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения (1977), составленному в развитие главы СНиП П-57-75,



учебнике "Порты и портовые сооружения" часть I, М.1964г. (Джунковский Н.Н. и др.), "Океанология", 1974, 1987 гг. (Смирнов Г.Н.).

3. Разработанный метод расчета наката волн принят в качестве основного расчетного метода в общесоюзном нормативном документе "Указания по проектированию гидротехнических сооружений, подверженных волновым воздействиям СН 288-64" и главах СНиП П-57-75 и 2.06.04-82 "Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов), утвержденных Госстроем СССР.

4. Методика расчета критических волновых скоростей для наносов была использована при составлении графика, вошедшего в строительные нормы СН 288-64 и глав СНиП П-57-75 и 2.06.04-82.

5. Методика расчета характеристики волнения при расчете вдольберегового потока наносов была использована ЗАКНИГМИ для западного побережья Каспийского моря и дала наилучшие результаты по сравнению с другими методами (см. С.А.Азимов, А.А.Каримов, Б.С.Штейнман "Процессы дельтообразования рек западного побережья Каспийского моря...", Л., Гидрометиздат, 1986).

6. Разработанная методика дешифрирования и использования материалов космических фотосъемок позволила создать карты современного состояния устьевых областей Урала, Волги и Терека в масштабе 1:200000, которые были переданы в заинтересованные организации (Гидрорыбпроект, ГОИН, Астраханский обком КПСС, Турьевское отделение ЦНИОРХа, Астраханское отделение Каспморниипроекта и др.).

7. Разработанная методика построения карт нагонно-осушительных территорий позволила получить на основе использования материалов космических фотосъемок аналогичные карты для побережья Калмыцкой АССР и использовать эти данные при планировании сельскохозяйственных работ Управлением Кизлярских пастбищ и Черных земель.

8. Исследования, проведенные на мелководном устьевом взмо-

рье Волги и разработанная методика дешифрирования космических фотоснимков позволили впервые в практике построить карты течений для МУВ р.Волги в масштабе 1:200000 по данным космических фотосъемок. Карты и отчеты по работе были использованы Минморфлотом СССР, Министерством рыбного хозяйства РСФСР и Госкомгидрометом СССР.

Карты течений дали новую информацию о течениях МУВ р.Волги, которая должна быть использована при реконструкции системы каналов на мелководном взморье.

9. Разработанная впервые методика расчета течений на мелководном взморье по данным космической информации была использована для расчета течений на МУВ и распределения речного стока на внешнем морском крае авандельты и дала хорошие результаты. Она может быть использована при расчетах для любых других аналогичных условий.

10. Исследования динамики и солености водных масс, движения наносов позволили разработать рекомендации по использованию прибрежных вод Северного Каспия для орошения западного побережья Калмыцкой АССР. Рекомендации переданы по просьбе Калмыцкого обкома КПСС и Управления Кизлярских пастбищ и Черных земель для использования.

11. Проведенные исследования и полученные результаты позволяют рассматривать процесс формирования дельты, как процесс формирования гидравлических сопротивлений на поверхности дельты, в рукавах и на устьевом взморье, где рукава развиваются по направлению наименьших сопротивлений. В формировании гидравлических сопротивлений и развитии дельты и авандельты огромная роль принадлежит не только морфометрическим особенностям рельефа, но и морфометрическим характеристикам развивающейся растительности. Поэтому пространственно-временные характеристики течений и рас-



тительного покрова на взморье определяют динамику наносов, тенденции зарождения будущей гидрографической сети. Эта концепция была использована при разработке фонового прогноза развития гидрографической сети на мелководном устьевом взморье Волги по путям расположения стоковых течений.

12. Полученные данные по современному состоянию устьевых областей рек Волги, Урала и Терека позволили провести ландшафт-ное районирование и сделать дальнейшие шаги в направлении ландшафтно-экологического районирования, как районирования на основе установления типовых связей, характерных для данного ландшафта (фации, урочища).

Эти исследования были положены в основу разработанной схемы мониторинга устьев рек с помощью космической (районирование) и наземной информации (типовые связи).

13. На основе применения физико-математических моделей, экспериментальных исследований и изучения космических снимков уточнены существующие представления о системе течений на взморье Волги, Урала, Терека и в северной части Каспийского моря, а также представления о механизме смешения речных и морских вод. Результаты физико-математического моделирования подтверждены данными натуральных наблюдений и космического зондирования /45, 50, 61, 63, 64/. Результаты исследований, изложенных в пп. II-13, использованы в работах и отчетах по проекту "Устья рр..." программы ГКНТ "Мировой океан".

Содержание работы

Часть I. Динамика береговой зоны внутренних водоемов.

I) Исследования по расчетам параметров волн в условиях глубокой воды.

До 1959-60 гг. существовали десятки различных методов расчета

параметров ветровых волн установившегося волнения в условиях глубокой воды. Одни методы использовались для озер и водохранилищ, другие для морей и океанов. Несмотря на то, что все методы опирались на данные натуральных наблюдений, простое сопоставление результатов вычислений по ним давало большое различие в абсолютных значениях и характере изменения параметров волн в зависимости от расчетных условий. Анализ всех материалов наблюдений показал, что к тому времени не существовало метода, дающего правильные результаты во всех диапазонах скоростей ветра  $W$  и длин разгона  $D$ . Было предложено искать зависимости для определения высоты  $h$  и длины волны  $\lambda$  в общем виде:

$$h = \left(a \frac{W^2}{g}\right)^n (bD)^m, \quad (1)$$

$$\lambda = \left(a' \frac{W^2}{g}\right)^p (b'D)^q, \quad (2)$$

где согласно теории размерностей  $n + m = p + q = 1$ .

Подбор коэффициентов был проведен по тщательно отобранному данным натуральных наблюдений. При этом впервые были использованы при отработке точек критерии возраста волны  $c/w, w/D, \lambda/D$  и др. В результате были получены расчетные связи для определения высоты волны обеспеченностью 1% и средней длины волны.

Отличительной особенностью решения является установление факта различного влияния скорости ветра и длины разгона в зависимости от величины относительного разгона  $\frac{gD}{W^2}$ . При малых разгонах общий показатель степени при  $W$  стремится к 1, при  $D$  к  $1/2$ , при больших разгонах при  $W$  стремится к 2, при  $D$   $m$  и  $q$  стремятся к 0 ( $m$  изменяется от 0,5 до нуля). Это решение впервые объяснило, с одной стороны, правомерность существования большого числа формул с различными показателями степени при  $W$  и  $D$ , а, с другой, показало возможность расчета параметров волн озер,



водохранилищ, морей и океанов по одним и тем же зависимостям, несмотря на некоторые особенности расчета на каждом из водных объектов / 12 /.

После решения зависимостей (1) и (2) был построен расчетный график в безразмерной системе координат  $g h_{1\%} / w^2 = f(g^D / w^2)$ ,  $g \lambda_{ср} / w^2 = f(g^D / w^2)$ .

Разработанный метод расчета был принят в качестве расчетного метода в строительных нормах "Технические условия определения волновых воздействий на морские и речные сооружения и берега СН 92-60" для случая расчета параметров волн установившегося волнения и использовался до 1976 г. Позднее на основе новых экспериментальных данных был разработан метод расчета Крылова Ю.М., Стрелкалова С.С., Матушевского Г.М., Ржеплинского Г.В. (Труды ГИИ, вып.93, 1968), дающий высоты волн  $H_{1\%}$ , отличающиеся до 20%, но обеспечивающие большую точность расчетов. Рекомендованный нами метод расчета параметров волн установившегося волнения использован также в "Методических указаниях по проектированию и расчету уположенных волногасящих земляных плотин небольших водохранилищ (прудов) сельскохозяйственного назначения" Южгипроводхоз, 1961 г., в учебнике "Железнодорожный путь" Г.М. Шахунянца 1961 и 1969 гг., в учебнике Н.И. Джунковского и др. "Порты и портовые сооружения", ч. I, 1964 г. (стр. 83). Несмотря на проведенные впоследствии многочисленные исследования (Крылов, Матушевский и др., 1968; Заславский и др., 1971-1991) рекомендованный подход и полученные результаты не потеряли своего значения.

II. Исследования в области трансформации волн на уменьшающихся глубинах при подходе волн с глубокой воды к берегу.

1. Ветровые волны являются одним из главных морских факторов, оказывающих влияние на развитие береговой зоны водоема и устьевой

области реки. На глубинах менее половины средней длины волн они начинают взаимодействовать с дном, на глубинах менее  $\lambda/3$  их воздействие на дно становится ощутимым. Оно резко возрастает при дальнейшем уменьшении глубин и достигает максимума в прибойной зоне с глубинами  $H_{кр.1}$  и  $H_{кр.п.} \leq H \leq H_{кр.1}$ , где  $H_{кр.1}$  - начальная глубина прибойной зоны,  $H_{кр.п.}$  - конечная глубина прибойной зоны.

Трансформация волн - основной процесс, отражающий изменение волновой энергии: потери и перераспределение, - управляющий характеристиками береговой зоны, включая взморье.

Часть энергии волн теряется, вызывая появление фильтрационной волны в донных отложениях, перенос наносов (колебания, перемещение и взмучивание частиц наносов, вдольбереговой поток наносов), турбулизации и перемешивания водных масс, течений и т.п.

Оставшаяся часть энергии перераспределяется по вертикали и по фронту волны (переход от трёхмерного к двумерному волнению и процесс рефракции за счет неравномерно изменяющихся глубин).

Знать происходящие при трансформации изменения физических и статистических характеристик волнения с заданными исходными характеристиками в открытом море ( $H > \lambda_{ср}/2$ ) - значит знать величину и распределение одной из главных действующих сил морских факторов, зоны наибольшего воздействия, направление преобладающего переноса наносов.

До разработки излагаемых результатов в СССР не существовало метода расчета, который бы позволил в едином ключе решить вопросы изменения высоты, длины, крутизны и скорости распространения волны, возвышения гребня волны, орбитальных и горизонтальных составляющих скоростей частиц волнующей жидкости, критических крутиз волн и глубин, в том числе при влиянии ветра, уклонов дна и т.п., правильно отражая основной механизм трансформации волн.



В нашем методе расчета использованы известные до начала разработки результаты теоретических и экспериментальных исследований (натурные и лабораторные), включая результаты теории волн конечной амплитуды. Все полученные ранее результаты были проанализированы. Установлено, что отдельные решения трансформации волн в мелководной и прибойной зонах удовлетворительно описываются теоретическими решениями. Нам удалось замкнуть их в единую систему с учетом проведенного анализа всех материалов исследований.

Предлагаемый метод разработан с использованием теории Эри, теории Стокса (второе и третье приближение) теории одиночных волн Мунка, теории предельно крутых волн Мишеля-Хавелока, данных теоретических, натурных и лабораторных исследований, проведенных в СССР, США, Англии, Франции. Решение Бретшнайдера, использованное в основе метода для глубин  $H \geq H_{кр}$ , изменено, дополнено решением закономерностей изменения высоты волны, рекомендаций по трансформации волн с учетом влияния ветра, уклонов дна. Впервые в практике дана схема расчета волн в прибойной зоне, опирающаяся на основные теоретические представления, определены критические размеры потерь энергии, приводящие к окончательному разрешению волн.

Разработана единая и удобная для расчета система графического решения задачи трансформации всех перечисленных параметров волн во всех зонах с учетом влияния крутизны волн, ветровых условий в зоне критических глубин. Метод позволяет продолжить расчет колебательных волн в прибойной зоне с учетом потерь части энергии волн при их забурунивании.

2. Расчетный график для определения длины волны на мелководье построен на основе разработанной системы поправочных коэффициентов  $K_\lambda$ :

$$\lambda = K_\lambda \frac{g\tau^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi H}{\lambda} \quad (3)$$

Коэффициент  $K_\lambda = \frac{\lambda}{\lambda_0}$  является отношением действительной длины волны (рассчитанной с учетом влияния высоты волны) к длине волны по теории волн малой амплитуды. Система поправочных коэффициентов получена Бретшнайдером по теории Стокса второго и третьего приближения, теории предельно крутых волн Мишеля-Хавелока, теории одиночных волн, результатов экспериментальных исследований и расчета предельно крутых волн с помощью аппроксимации по уравнению Бернулли и использована нами для построения графика  $\frac{\lambda}{\lambda_{кр}} = f\left(\frac{H}{\lambda_{кр}}, \frac{h}{g\tau^2}\right)$  (рис.10 /6/, рис.41 /23/, рис.5 стр. 33 /40/, рис. 17 /5/), который не только наглядно показывает изменение длины волны в зависимости от заданных значений  $\frac{h}{g\tau^2}$  (упрощенная запись выражения  $\frac{h}{g\tau^2}$ ), но и позволяет находить глубину первого обрушения волн (верхняя огибающая)

3. На основе полученных решений  $\frac{\lambda}{\lambda_{кр}} = f\left(\frac{H}{\lambda_{кр}}, \frac{h}{g\tau^2}\right)$  были построены графики для определения высоты волны на мелководье по известной исходной высоте и крутизне волны  $\frac{h}{h_{кр}} = f\left(\frac{H}{\lambda_{кр}}, \frac{h}{g\tau^2}\right)$  (см.рис.14-15 /5/, рис.11-12 /6/), а также построена система графиков для нахождения исходной высоты волн глубокого моря по измеренной высоте и периоду волны в точке наблюдений. По графику может быть определена 1-я критическая глубина для волн любой исходной крутизны (кривая 2 и ось абсцис, кривая 3 и ось ординат).

Зависимость изменения высоты волн от их крутизны в СССР была получена впервые.

4. Решение для изменения высоты и длины волны позволили получить зависимости для определения крутизны волн при трансформации для глубин больше критических в зависимости от ее исходной величины (см.рис.16 /6/).

5. Натурные и экспериментальные исследования по трансформации волн на мелководье показывают, что, достигнув определенной



глубины (точнее крутизны волны), волна забурунивается (разрушается). В зависимости от условий может быть одно или несколько разрушений волны. В большинстве случаев волна при забурунивании теряет часть своей высоты, становится "менее мелководной", продолжает двигаться к берегу, снова разрушается и т.д. Длина волны при этом (как и скорость) убывает монотонно. После нескольких обрушений даже крутая волна по своему характеру приближается к одиночной.

Анализ теоретических решений и результатов экспериментальных исследований позволил установить связи для нахождения критических глубин в зависимости от крутизны исходных волн и скорости ветра и изложить практические рекомендации.

Исследователям не удалось построить систему универсальных графиков, с помощью которой можно было бы рассчитать трансформацию волн не только до прибойной зоны, но и в прибойной зоне вплоть до последнего обрушения, потому что большинство из них использовало решения теории волн малой амплитуды, а в прибойной зоне суммарные ошибки за счет неучета влияния высоты волны (точнее ее крутизны) могут достигать 40%.

Предложенная нами система графиков и приемов расчета впервые в практике позволила рассчитать изменение высот волн и в прибойной зоне, причем также впервые были установлены размеры "эмпирических потерь", допустимых для существования колебательных волн по данным о критических глубинах в конце прибойной зоны (см. рис. 15/5, 6/).

В прибойной зоне основное влияние (кроме глубины воды и крутизны волны) оказывают уклоны дна, его шероховатость и проницаемость. Ветер оказывает влияние только на величину начальных глубин разрушения и самую мористую часть прибойной зоны. В зависимости от потерь энергии в прибойной зоне волна может постоянно

нести на себе бурун, убывая или увеличиваясь на высоте или периодически забурунивается, меняя характер изменения высоты волны в зависимости от нового значения  $h/gc^2$ . Анализ показывает возможность трех различных основных случаев разрушения волн:

а) большие уклоны, пологая зыбь, сильный встречный ветер, попутное течение - волна разрушается один раз;

б) средние уклоны, крутая волна, сильный попутный ветер, встречное течение - волна разрушается несколько раз (число разрушений определяется расчетом по новым значениям  $h/gc^2$ );

в) пологие уклоны - волна все время несет на себе бурун, уменьшаясь или почти не изменяясь по высоте в зависимости от баланса энергии.

Расчетные зависимости изменений высоты, длины волны, критической глубины, возвышения гребня волны для прибойной зоны решены в табличной и графической форме, взаимно увязаны и проверены данными натурных наблюдений.

6. Решение для возвышения гребня волны, предложенное на основе исследований Бретшнейдера, было преобразовано в соответствии с системой разработанных графиков, уточнено на основе натурных наблюдений в отношении влияния ветра (см. рис. IВ/5/, рис. 6, 7 /6/, рис. 40 /23/, рис. 3 стр. 32 /40/, рис. IВ /24/ ). Решение позволяет определить возвышение гребня волны в зависимости от параметров  $\frac{h}{H}$  и  $\frac{h}{gc^2}$  или  $\frac{H}{gc^2}$  и  $\frac{h}{gc^2}$  и вносить поправки на влияние ветра. Вместе с графиком для определения максимальной горизонтальной составляющей скорости движения частиц воды у гребня волны на основе полученных ранее связей  $\frac{c}{c_{rn}} = \frac{\lambda}{\lambda_{rn}} = f\left(\frac{h_{rn}}{gc^2}, \frac{H}{gc^2}\right)$ ,  $\frac{h_{rn}}{h} = f\left(\frac{h}{gc^2}, \frac{H}{gc^2}\right)$  по параметру  $\frac{2gh_{rn}}{c^2}$  (см. рис. I9 /5/) определяется граница раздела колебательных и разрушающихся волн.

7. Все графики и таблицы представляют строго увязанную сис-



тому решений, отвечающих основным положениям теории волн конечной амплитуды Стокса (2-е и 3-е приближение), теории предельно крутых волн Мишеля-Хавелока, теории одиночных волн и малой амплитуды, данным экспериментальных исследований в лаборатории и натуре.

Рекомендованная система решений была проверена также по статистическим характеристикам трансформирующихся волн на мелководье, в том числе по данным аэрофотосъемок /6/. Проверка показала, что предлагаемый метод расчета позволяет с необходимой точностью рассчитывать и изменение статистических характеристик на мелководье. При этом четко различается вся физическая картина волнения и его характер, что так важно в практической работе /6/.

Решения не потеряли своего значения до настоящего времени, несмотря на множество последующих исследований (Ле Меоте, 1969; Леонтьев, 1989; Лапо и др., 1990).

Предложенная система решений была использована полностью в общесоюзных нормативных документах 1960, 1975, 1982 и последующих годов /5, пп. 24-25; 23, пп.17, 20-22; 24, стр.178, 183-185, 191-196; 40, стр.32-33; 67/.

Материалы исследований и предложенные решения широко использовались в учебниках для ВТУЗов (Шахуняц Г.М. "Железнодорожный путь" М., 1969, стр.69-70; Н.Н.Джунковский и др. "Порты и портовые сооружения", ч.1, 1964, стр.87-91; Г.Н.Смирнов "Океанология", 1974, 1987).

### III. Исследования в области наката волн на береговые откосы

После обрушения волны в районе последней критической глубины массы воды разрушенной волны накатываются на берег, скатываются обратно, взаимодействуя с массами воды накатывающейся следующей разбитой волны. Этот процесс называется накатом волн на береговые откосы. В результате действия водных потоков в этой зоне пляжа в зависимости от угла подхода волн по пляжу переносятся наносы.

I. Анализ проведенных теоретических и экспериментальных работ по накату волн позволил разработать систему уравнений и графических решений для расчета наката волн на откосы любых очертаний /21/, правильно отражающих механизм и особенности процесса.

Высота наката фронтально подходящих к откосу волн постоянной высоты при отсутствии ветра и глубинах перед откосом  $3h_{гн} \approx H \approx 2h$  определяется по зависимости:

$$h_n = K_{\Delta} K_{\Pi} h_{н.о} h, \quad (4)$$

где  $K_{\Delta}, K_{\Pi}$  - коэффициенты шероховатости и проницаемости откоса однородной крутизны (принимаются по разработанной табл. см. ниже п.2), для гладкого непроницаемого откоса  $K_{\Delta} \cdot K_{\Pi} = 1$ ,  $h_{н.о} = \frac{h_n}{h}$  - относительный накат волн для прямолинейного гладкого непроницаемого откоса определяется по графику (опубликован в /10/ рис.19, в /21/ рис.2, в /23/ рис.10, в /24/ рис.23, в /40/ рис.10) в зависимости от заложения откоса  $m$  и пологости волн  $\frac{\lambda}{h}, \frac{\lambda_{гн}}{h_{гн}}$  перед откосом. Графики для определения  $h_{н.о}$  построены для  $m \leq 30$ . При  $m \approx 3$  можно пользоваться формулами:

$$h_n = 1,35 h_{гн} \left( \frac{\lambda}{h} \right)_{гн}^{0,46} \operatorname{tg} \alpha \quad (5a)$$

$$h_n = 0,9 h \left( \frac{\lambda}{h} \right)^{0,6} \operatorname{tg} \alpha \quad (5b)$$

Для области  $m \approx 3$  дано графическое решение, опирающееся на экспериментальные данные, контролируемые в области  $m \leq 0,1$  теорией стоячей волны.

2. Впервые в практике расчетов были рекомендованы полученные на основе данных лабораторных и натуральных исследований наката волн таблицы для определения коэффициентов шероховатости  $K_{\Delta}$  и проницаемости откосов  $K_{\Pi}$  в зависимости от типа покрытия, размера наносов, камней ( $h/\Delta$ ).



В зависимости от относительной шероховатости  $\frac{h}{\Delta}$ , изменяющейся от  $\frac{h}{\Delta}=500$  до 5, величины  $K_{\Delta}$  и  $K_{\eta}$  изменяются соответственно от 1 до 0,7 и от 0,9 до 0,5 (см. рис. 114/10/, стр. 168 /21/, табл. 6 на стр. 9 /23/, стр. 7 /40/).

Таблица I  
Значения коэффициентов шероховатости ( $K_{\Delta}$ ) и проницаемости откоса ( $K_{\eta}$ )

Характеристика откоса	$h/\Delta$	$K_{\Delta}$	$K_{\eta}$
Сплошное водонепроницаемое покрытие	-	1	1
Водопроницаемые откосы	500	1	0,90
из песка, гравия, щебня, камня, искусственных массивов	200-100	0,95	0,85
	50	0,90	0,80
со средним диаметром или размером камня	20	0,80	0,70
	10	0,75	0,60
массивов, равным абсолютной шероховатости $\Delta$ м	5	0,70	0,50

3. Учет формы откоса проводится по упрощенной методике с заменой сложной формы ломаного откоса на прямолинейный путем нескольких приближений (см. п 5, стр. 116 /10/, стр. 107-108 /21/).

Переход от данных лабораторных исследований при высотах волн на модели  $h \leq 30$  см к натурным условиям с  $h \geq 1,0$  м должен проводиться на основе опытов масштабных серий из-за неполного соответствия натуре по условиям аэрации потока водных масс после обрушения волн. Такая система поправочных масштабных коэффициентов была дана впервые нами в СН 288-64 (см. табл. 4, стр. 116 /10/, стр. 168 /21/).

4. Получено обоснование возможности использования разработанной методики расчета наката регулярных волн для случая воздействия нерегулярных волн путем сопоставления накатов регулярных

и нерегулярных волн без ветра. Оказалось, что нерегулярность обуславливает меньшие высоты накатов, но их большее разнообразие. Установлены понижающие коэффициенты  $K_c$  для однопроцентного наката нерегулярных волн ( $\eta_{н.1\%}$ ) по сравнению с величиной наката регулярных волн. По данным исследований была впервые получена система общепризнанных переходных коэффициентов, характеризующих разнообразие высот накатов волн и позволяющих определять накат волн любой заданной обеспеченности:

$P\%$	0,1	1	2	5	10	30	50
$K_p$	1,1	1,0	0,96	0,90	0,85	0,76	0,68

(см. табл. 3, стр. 115 /10/, табл. 1а, стр. 171 /21/, таб. 8 стр. 9 /23/, стр. 7 /40/).

5. Разработана система коэффициентов ( $K_w$ ) для учета влияния скорости ветра на величину наката нерегулярных волн на основе данных экспериментальных исследований в лабораториях и натурных условиях. Ниже в таблице приведена система коэффициентов  $K_w$  и  $K_c$  для ветрового нерегулярного волнения.

Таблица 2

$m$	$W_{10}$ м/сек					$K_c$
	5	5-10	10-20	20-30	30	
$< 0,4$	1	1,1	1,15	1,2	1,3	1,0
0,4- 2,0	1	1,2	1,5	1,8	2,0	0,8
$> 2$	1	1,5	2,0	2,5	3,0	0,6

Эта таблица и методика использована в общесоюзных нормах (см. табл. 7, стр. 9 /23/, стр. 7 /40/).

6. На основе предложенного метода учета шероховатости откосов и анализа проведенных в СССР и за рубежом экспериментальных исследований по накату волн нами разработан обобщающий метод расчета наката как регулярных, так и нерегулярных ветровых волн на



откосы различных очертаний практически в любом диапазоне крутизны откосов. Метод позволяет учитывать высоту и длину волн, угол подхода волн, глубину воды перед откосом, заложение и форму откоса, его шероховатость и проницаемость, нерегулярность волн и наката, а также объемы переливающейся воды (при переливе).

Метод впервые позволил подойти к вопросу определения границ воздействия волн ( и верхних отметок сооружения) с учетом вероятностного характера наката.

На основе полученных решений высота наката нерегулярных ветровых волн равна:

$$h_{н.р\%} = K_{\Delta} K_n K_p K_c K_w K_B h_{н.о} h_{н\%}, \quad (6)$$

где  $K_p$  - поправочный коэффициент для учета угла подхода волн.

7. Проведенные нами исследования позволили по-новому подойти к расчету возвышения гребня сооружений над урезом воды и назначению верхних отметок основного и облегченного креплений, т.к. точный расчет наката позволяет отказаться от необоснованных запасов высоты сооружений при определении возвышения гребня сооружения

$Z_c$  по формуле:

$$Z_c = h_{н.р} + \Delta h + a, \quad (7)$$

где  $\Delta h$  - высота нагона,  $a$  - запас высоты сооружения.

С одной стороны, можно допускать возможность перелива отдельных волн через гребень сооружений (случай  $a = 0$ ), тогда можно подсчитать объемы переливающейся жидкости ( скорости поступления объемов воды), с другой, можно точно указать границы, за пределами которых территория практически будет незаливаемой.

8. Метод расчета правильно отражает и учитывает основные закономерности процесса в природе (Д.Д.Лаппо, С.С.Стрекалов, В.К. Завьялов "Нагрузки и воздействия..." ВНИИГ, 1990, стр.286).

IV. Исследования в области переноса наносов и формирования устойчивой береговой отмели.

I. Глубина волнового воздействия. Критические волновые скорости.

Глубину волнового воздействия  $H_0$  можно определить теоретически на основе решения условий равновесия частицы, лежащей на дне, и выражения для максимальных донных орбитальных скоростей движения по теории волн малой амплитуды:

$$H_0 = \frac{\lambda}{4\pi} \operatorname{arsh} \frac{\pi h^2}{2ABcd\lambda}, \quad (8)$$

где:

$A = \frac{K_2 f}{K_1 + K_2}$  - коэффициент устойчивости частиц, характеризующий условия обтекания частицы и ее залегания на дне

(  $f$  - коэффициент трения );

$B = \frac{\delta_w \gamma}{\gamma}$  - относительный объемный вес наносов.

Решения уравнения (8) и соображения по определению коэффициента устойчивости приведены в /1/. Наибольшую сложность представляет правильное определение коэффициента устойчивости  $A$ , так как в действительности наносы имеют самую различную форму и взаимное расположение на поверхности дна. Поэтому величина  $A$  обычно оценивается по экспериментальным данным. Автором дана оценка величины  $A$  в пределах  $d$  от 0,01 до 100 мм /1/.

На основе полученного решения аналогичным образом было получено решение для донных критических волновых скоростей движения воды:

$$V_{кр} = \sqrt{2ABgd} = \frac{\pi h}{\sqrt{\frac{\pi \lambda}{g} \operatorname{sh} \frac{4\pi h}{\lambda}}}, \quad (9)$$



По данным экспериментальных исследований и решения (8) были построены графики  $U_{кр}(\alpha)$  для 3-х случаев:

- а) начальных скоростей трогания частиц грунта (см. также Лонгинов, 1963; Волков, 1965; Шуляк, 1971; Андиферов, Косьян, 1986 и др.);
- б) начальных скоростей сплошного перемещения наносов по поверхности;
- в) начальных скоростей массового перемещения верхнего слоя грунта - для наносов крупностью от 0,1 до 100 мм (см. рис.1, стр. 13 /10/; рис.7, стр.7 /23/; стр.5 /40/).

### 2. Формирование устойчивой береговой отмели

При длительном воздействии волн на берег и достаточном количестве песчаных наносов у берега формируется динамически устойчивая песчаная отмель с глубиной на внешнем крае отмели  $H_c$ , которая определяется по формуле (8), с подбором величины  $A$ .

Для крупнозернистых наносов рекомендован метод расчета глубины  $H_c$  с учетом угла наклона отмели. Обычно ниже глубины  $H_c$  рекомендуют принимать углы, равные углам естественного откоса грунтов под водой, что справедливо только для глубин, больших предельной глубины волнового воздействия  $H_c' > H_c$ , т.к. устойчивые на пологой отмели частицы наносов в зоне свала и больших углов становятся неустойчивыми. В результате в районе свала отмель обязательно принимает выпуклую устойчивую форму. Это следует из выражения (8), выписанного для условий дна с углом наклона  $\alpha_0$ :

$$H_c' = \frac{\lambda}{4T} \alpha \tau \operatorname{sh} \frac{\pi h^2}{2ABd\lambda(\cos \alpha_0 \operatorname{tg} \varphi - \sin \alpha_0)} \quad (8I)$$

Для случая связанных грунтов в расчеты необходимо вводить поправки на основе исследований Мирцхулавы (1988).

Уклоны отмели определяются на основе данных натуральных наблюдений и аппроксимации формы отмели уравнением параболы в зависимости от крупности наносов. Автором рекомендованы углы наклона отмели, а также пляжа на глубинах, меньших глубины последнего обрушения, для случая фронтального или косого подхода волн и метод построения профиля отмели, включая случаи больших амплитуд колебания уровней воды.

Расчет профиля равновесия при косом подходе волн производится с учетом вдольберегового потока наносов.

Предложенные решения неоднократно обсуждались в научной литературе (см. Б.А.Пышкин "Динамика берегов водохранилищ, Киев, 1973, стр.152, 165; В.В.Лонгинов, 1963) и опубликованы за рубежом /8/.

### 3. Исследования в области вдольберегового переноса наносов волнами

Ни один расчет динамики береговой зоны, связанный с определением положения береговой линии, зон размыва и аккумуляции устойчивого подводного профиля, не может быть решен без знания вдольберегового волнового потока наносов.

Впервые автором задача определения величины вдольберегового потока наносов для устойчивой песчаной отмели была решена по данным лабораторных исследований в 1959 г. /2, 3/.

Величина вдольберегового потока наносов определялась по формуле:

$$Q_n = K B \gamma \frac{h^2}{\rho} \lambda f(\alpha) \quad \text{или}$$

$$Q_n = 125 K_{n/\lambda} h^3 f(\alpha), \quad \text{т/час} \quad (10)$$



ка на больших территориях фиксация этих изменений традиционными способами встречает затруднения ввиду существования взаимосвязи всех комплексов природной среды (почвы, растительности, поверхностных и подземных вод, атмосферных осадков, животного мира и т.п.). Решение этой проблемы невозможно без тщательного изучения всего комплекса природной среды и отдельных природно-территориальных систем в их динамике. Практика использования данных наблюдений существующей гидрометеорологической сети и специальных экспедиционных работ показывает, что для решения поставленных задач традиционными методами требуются десятилетия. Картографические материалы не позволяют получать динамику природного комплекса (в силу генерализации и быстрого старения), особенно водных объектов. Более эффективно в этих случаях совместное использование наземных работ и аэрокосмических фотосъемок, а в ряде случаев и других методов дистанционного зондирования. Использование космических методов изучения природной среды позволяет существенно сократить сроки и стоимость исследований (на один-два порядка). Космические фотоснимки содержат информацию, которую другими методами получить невозможно. Наземные исследования эталонных участков позволяют экстраполировать данные полученных измерений на окружающую территорию. Особенно эффективно применение аэрокосмической фотосъемки для изучения динамики устьев крупных рек, береговой зоны и шельфа морей и крупных озер.

Устьевые области рек — один из самых быстро изменяющихся, а иногда и труднодоступных природных объектов. Регулирование стока и интенсивный рост безвозвратного водопотребления вызвали значительные изменения в режиме устьев рек и окружающей их территории. Увеличение или уменьшение стока приводит к изменению распределения стока по рукавам дельт, площадей затопления различных районов дельт, изменению гидрографической сети, режима пресне-

ния взморья и прибрежной зоны моря, морфометрии дельт, их почвенно-растительного покрова и биоценозов.

Значительные изменения наблюдаются в устьях рек СССР, впадающих в Каспийское и Аральское моря, на которых происходят постоянные колебания уровня воды. Уровень Аральского моря понизился за последние 15 лет на 5 м, а Каспийского моря — за последние 100 лет (до 1979 г.) — на 3 м (до отметки -29 м абс.). Затем к 1991 г. уровень моря повысился до отметки -27,5 м.

Понижение уровня моря привело к врезанию основных русел рукавов Урала и Терека (после прорыва Аграханского полуострова), усилению процессов отмирания второстепенных рукавов, резкому уменьшению площадей затопления, осушке больших площадей авандельт (р.Урал), смене растительности и почв в отдельных районах дельт.

При продолжительном понижении уровня моря размывы и врезание русла распространилось от устья вверх по течению рек на Урале до 200 км, на Тереке до 40 км. При повышении уровня в устьях Урала и Терека начался процесс аккумуляции наносов.

При повышении уровня моря происходит перестройка берегового профиля в зоне современного уреза воды — размыв в подводной части и аккумуляция наносов в надводной части. Аналогичные процессы отмечаются в зоне МКД Урала и Терека и на островах Таленин, Куланды. На МКД Волги размывы не наблюдаются из-за блокировки мелководной авандельтой и незначительного повышения уровня воды на МВВ.

Устьевые области, более богатые в биологическом отношении, интенсивно используются многими отраслями народного хозяйства. Поэтому необходимо постоянное поступление информации комплексного характера о их состоянии.

Гидрологический режим дельт рек обычно изучается только в верхних частях, более удобных для наблюдений. Нижние части дельт



остаются плохо изученными из-за их постоянной изменчивости, сложности и труднодоступности. Особенные трудности возникают при изучении динамики береговой линии дельт рек, впадающих в крупные озера со значительной амплитудой колебаний уровней воды.

В современных условиях необходимо переходить от практики получения разновременных точечных данных к комплексу одновременных наземных и аэрокосмических исследований, позволяющих перейти к получению информации о распределении изучаемых параметров по площади.

Для того, чтобы оценить влияние изменений в гидрологическом режиме на комплекс природных условий дельт и окружающих территорий, необходимо переходить от методики разобщенных исследований различными специалистами к комплексным геосистемным (ландшафтным и экологическим исследованиям) с использованием той комплексной информации, которую несет космическое зондирование.

При соблюдении этих требований полученная информация может быть использована для проверки создаваемых физико-математических моделей развития устьевых областей и основ методики прогнозирования изменений природной среды.

Под руководством автора в Институте водных проблем АН СССР с 1974 г. начато изучение возможностей использования аэрокосмической информации для исследования динамики природных комплексов устьев Волги, Урала, Терека и Северного Каспия. В процессе исследований была разработана методика дешифрирования природных объектов устьев рек, береговой зоны и шельфа Северного Каспия /26-31, 39, 43, 44, 47-49, 53-57, 59, 62-67/ и показаны возможности использования космических съемок для изучения вопросов районирования (включая ландшафтно-экологическое, /29, 34, 47, 64/); физико-географических и ландшафтных характеристик /26-31, 44, 55, 63-65/; морфологии и морфометрии гидрографической сети, береговой

линии /26-31, 43-44, 52, 54-56/; гидрологического режима, включая формирование сточно-нагонных явлений /52, 54, 56/ и зон затоплений, течений стоковых и ветровых /44, 47-48, 64, 66/ и особенностей циркуляции водных масс /64, 66/, путей переноса взвешенных наносов, динамики ледового покрова /53, 62/; формирования экосистем, охраны и мониторинга природной среды устьев /47, 49, 57, 64/.

В основе методики лежит дистанционная регистрация электромагнитных волн, отраженных различными объектами и зарегистрированных в виде фотоизображений спутниками в узких спектральных диапазонах. В общем виде основы этой методики для изучения природных ресурсов были описаны в обобщающей работе "Союз-22 исследует Землю", М., Наука, 1980 и наших отчетах до 1980 г. Сущность ее заключается в использовании топографических и специальных фотосъемок (в надир) в масштабе 1:200000 и крупнее, которые не дают существенных искажений для случаев равнинных территорий Северного Каспия и устьев его рек. Дешифрирование и опознавание объектов осуществляется по фотоснимкам одного и того же объекта в различных спектральных диапазонах с привлечением имеющейся полевой информации /29-31, 39, 43, 44, 50, 55, 63/.

## 2. Динамика устьевой области р.Урал

На основе обработки данных космической фотосъемки впервые составлены карты природных комплексов современной и древней дельты Урала в масштабе 1:20000. Впервые по данным космических съемок уточнены границы древней дельты р.Урал.

На основе обработки данных гидрометеорологических постов и экспериментальных исследований рассчитан сток воды и наносов р.Урал в море. Среднегодовой сток воды оценивается в 7,3 км<sup>3</sup>/год, сток взвешенных наносов в 3,1 млн. т/год (0,7-8,5



млн. т/год) для вершины современной дельты (г. Гурьев) при колебании стока от 1,5 до 20 км<sup>3</sup>/год /60/. Антропогенное влияние на сток незначительно.

Изучено распределение стока воды по рукавам дельты, межгодовое распределение стока воды и наносов. Сток основного рукава - Золотого в истоке составляет в среднем по водности половодья 75% от расхода р. Урал, на 32 километре - 85%, на 47 километре - уменьшается до 30% за счет растекания по боковым протокам Урало-Каспийского канала (1975 г.). Наблюдалось систематическое увеличение доли стока рукава Золотого при выходе на устьевое взморье, которая увеличивалась от 42% в 1927 г. до 64% в 1960 г. и 85% в 1975 г.

Основная часть наносов, выносимая в море, по данным анализа проб и дистанционного зондирования, осаждается в пределах мелководного взморья р. Урал, окаймляющего морской край дельтовых островов на глубинах менее 1 м (глубина на внешнем крае авандельты в 1975 г.). Установлено, что колебания уровней Каспийского моря оказывают существенное влияние на гидрологический режим устья р. Урал. Многолетний ход уровней воды у г. Гурьева хорошо согласуется с ходом уровня Каспийского моря (коэффициент корреляции равен 0,93).

При понижении уровня моря на участке Гурьев - Тополи наблюдался повсеместный размыв дна русла: у Гурьева - на 1,5 м, у Тополи - на 0,6 м к 1972 г. Размыв установлен на основе сопоставления графиков связи среднегодовых уровней воды различных постов по длине реки и связей расходов воды и уровней воды на выбранных постах. С повышением уровня моря размывы русла сменились аккумуляцией, о чем свидетельствует смещение кривых связей измеренных расходов и уровней воды поста Гурьев. Понижение уровня моря вызвало отмирание всех второстепенных рукавов (кроме Ящцкого), ин-

тенсивность которого за последние 30 лет (до 1978 г.) возросла до 620 м/год, что примерно в 3 раза превышает скорость нарастания дельты Волги. По нашей оценке, скорость активного выдвигания дельты составляет 60-90 м/год.

Описана динамика морского края дельты Урала за период 1975-1989 гг. (последние 15 лет по данным космических фотосъемок). Повышение уровня моря способствовало сначала уменьшению темпов нарастания дельты Урала в длину примерно в 7 раз, увеличению темпов ее роста в ширину (особенно западного крыла), повышению уровней воды на участке до г. Гурьева, аккумуляции наносов в русле, усилению влияния сгонно-нагонных явлений и проникновению соленых морских вод в реку, особенно при малых расходах воды. Затем большая часть дельты была затоплена и отступила до границ конца 30-х годов.

Установлено, что влияние уральских вод для условий конца 70-х годов не распространялось в море далее изобаты 5 м (в половодье), при этом площадь взморья достигала 3,5 тыс. км<sup>2</sup>. В межень зона влияния ограничивалась изобатой 2,5 м по Урало-Каспийскому каналу (УКК) и изобатой 1,0 м по крыльям авандельты (в половодье гидрофронт обычно находился в пределах зоны, ограниченной окончанием островов вдоль УКК и приемным буем УКК).

Составленные карты устья р. Урал /28/ переданы по просьбе Гурьевского отделения ЦНИОРХ для использования в работе.

### 3. Динамика устьевой области р. Волги

Дельта Волги отличается многорукавностью и наличием обширного мелководного взморья.

Сток воды в вершине устьевой области составляет за период 1938-1978 гг. 227 км<sup>3</sup>/год. Считают, что восстановленный естественный сток оценивается в 240 км<sup>3</sup>/год (безвозвратное водопотреб-



ление около 20 км<sup>3</sup>/год). Потери стока в дельте составляют: по данным Шикломанова (1976) 9-II км<sup>3</sup>, по данным Рыбака (1973) - от 7 до 21 км<sup>3</sup> (среднее 13 км<sup>3</sup>/год). Регулирование стока уменьшило затопление и потери в дельте в среднем на 2 км<sup>3</sup>/год. По рукавам дельты водный сток распределяется неравномерно.

Норма стока взвешенных наносов (восстановленная) оценивается в 13 млн.т/год, после 1958 г. сток наносов уменьшился до 7 млн.т/год. Распределение стока наносов и воды по рукавам приведено в % в таблице 3.

В бытовых условиях на восточную часть дельты приходилось свыше 50% стока наносов, после 1958 г. доля водного стока и стока наносов западных рукавов увеличилась, в связи с этим сток наносов восточной части упал до 45%.

Между стоком воды и наносов существуют тесные корреляционные связи, установленные на основе статистической обработки данных натурных наблюдений на Волге (Верхне-Лебяжье), Бузане, Рычане, Болде, Камызяке, Старой Волге и Бахтемире.

На основе обработки данных космических фотосъемок (КФ) дельты Волги с 1974 г. составлены карты гидрографической сети в масштабе 1:200000 и основных элементов природных объектов, влияющих на гидравлические сопротивления при формировании течений в дельте и на мелководном взморье Волги в межень и половодье. На основе сравнения со съемками аналогичного масштаба прежних лет (карта Мейснера) получены данные по динамике дельты Волги за период 1910-1975 гг. (период понижения уровня моря). По этим данным число крупных и средних рукавов в районе морского края дельты (МКД) уменьшилось от 320 до 260. Обнаружена тенденция преимущественного развития рукавов системы Бахтемира, Кировского и Белинского банков, т.е. западной части дельты, где наблюдается 4 рукава на 1 пог.км береговой линии против 1 рукава на 1 пог. км

Таблица 3

Распределение стока взвешенных наносов и стока воды в дельте Волги после 1958 года в процентах

Рукава	Западные		Восточные				
	Бахтемир	Ст. Волга	Камызяк	Болда	Рычан	Бузан	Ахтуба
Сток взвешенных наносов, %	26,6	11,4	16,7	6,4	3,4	33,4	2,1
	Всего 54,7		Всего 45,3				
Сток воды, %	28,8	11,6	16,6	6,0	2,9	32,2	1,9
	Всего 57,0		Всего 43,0				



в восточной части. Эти данные подтверждаются также зарегистрированной системой стоковых течений на мелководном взморье (МУВ).

Для изучения динамики рукавов в районе МКД после 1975 г. составлены карты в масштабе 1:100000 и крупнее. Впервые предложено оценивать перспективность развития рукавов не только с помощью слежения за изменением пропускной способности рукавов, но и мелководного взморья перед ними по пути стоковых течений, распространяющихся из этих рукавов. Динамика МКД выяснена путем сравнения карт Мейснера и данных космических съемок 1975-1985 гг. За период 1910-1975 гг. МКД сместился на 10-50 км, что дает скорость нарастания дельты около 150-770 м/год (в среднем 200-300 м/год). Ежегодный прирост (активный) дельты за последние 50 лет понизился до 50-250 м /29/. Данные за период 1975-1982 гг. показывают, что скорость активного нарастания дельты для постоянного уровня можно оценить в 0,5±0,6% в год по площади. Оценка активного движения дельты произведена по периоду 1940-1985 гг., за который уровень воды перед МКД практически не зависел от уровня моря.

Наибольшее нарастание происходит в районах формирования речных баров<sup>х)</sup> в местах выхода рукавов и каналов. Развитие бара обычно препятствует развитию высшей водной растительности (ВВР) в его пределах, что лишней раз подтверждает вторичную роль развития ВВР в формировании большого числа протоков.

Повышение уровня моря не повлияло на формирование МКД в местах выходов протоков, так как уровень воды в аванделъте вырос мало.

Впервые на основе данных КФ и радиоуглеродных датировок ракушки, залегающей на поверхности хвалыньских глин, выяснена преоб-

<sup>х)</sup> На МУВ Волги расположены два бара: речной (приустьевой), формирующийся только под влиянием речных факторов сразу при выходе рукава на МУВ, и морской (краевой аванделътовой), образующийся под влиянием речных и морских факторов, по которому проходит морская граница МУВ.

ладающая роль в формировании первичного ландшафта дельты Волги стока больших масс воды 12000-12400 лет тому назад, приведшего к образованию гряд неполного профиля, развившихся в боровские бугры /29, 35, 44, 64/. Предложена новая гипотеза их первичного водно-эрозионного происхождения с последующим участием ветра в периоды понижения уровня моря. Одним из факторов, подтверждающих гипотезу, является преимущественное распространение боровских бугров в пределах дельт Волги, Урала, Эмбы и Терека. Аналогичные структуры наблюдаются также в районе Тургайских ворот, а также в дельтах крупных рек Африканского и Австралийского континентов, что может служить показателем повышенного увлажнения и увеличения стока в период их образования.

Площадь МУВ до морского бара составляет около 9000-11000 км<sup>2</sup> на период 1975-1985 гг., причем около 2,5 тыс. км<sup>2</sup> занято надводной растительностью и около 5,5-6,0 тыс. км<sup>2</sup> - подводной. Суммарная площадь тростниковых ассоциаций в устье составляет около 6000 км<sup>2</sup>. Большая часть их расположена в дельтовом районе (до 90%). За период 1975-1985 гг., несмотря на увеличение речного стока и повышение уровня моря, зарастаемость МУВ в целом увеличилась. В мористой части зарастаемость стабилизировалась на одном уровне, местами наблюдается некоторое замедление процессов зарастаемости и даже деградаций (Барская коса).

Зарастаемость МУВ изменяется не только от года к году, но и по месяцам. Наименьшая она - весной, наибольшая - в августе-сентябре. Проективное покрытие водной растительности обычно изменяется от 20% в начале половодья до 50-70% в шле. Аналогичен сезонный ход изменения биомассы различных видов ВВР. Тип ВВР, ее биомасса и проективное покрытие определяют гидравлические сопротивления движению воды для условий мало изменяющихся глубин, грунтов дна и отсутствия аккумулятивных донных форм рельефа



(гряд и т.п.).

Как известно, изменение величины сопротивлений на участке находит свое отражение в изменении уклонов. Поэтому на разных участках МВБ была проведена серия экспериментов с измерением глубин, скоростей и направлений течений на вертикали, морфометрических характеристик ВВР, характеристик донных отложений, уклонов водной поверхности, характеристик ветра и т.п.

Решение уравнений движения для установившегося равномерного движения воды приводит к выражению, подобному полученному Шези еще в 1775 г.:

$$J = \frac{f v^2}{8gH}$$

где  $f$  - безразмерный коэффициент гидравлического трения, зависящий от относительной шероховатости, часто заменяется размерным коэффициентом Шези, связанным с  $f$  соотношением  $C = \sqrt{8g/f}$ .

Упрощение выражений приводит к формуле Шези:

$$J = v^2 C^{-2} H^{-1} \quad (II)$$

где для широких потоков типа МВБ р.Волги  $R \sim H$ .

Величина  $C$  чаще всего определяется по формулам Маннинга, Павловского. Для квадратической области сопротивления  $C$  не зависит от числа  $Re$ , вязкости и скорости движения жидкости, а зависит только от относительной шероховатости русла. При нахождении  $C$  величина относительной шероховатости русла либо учитывается ориентировочно по таблицам в зависимости от типа водотока, либо для случая градиентного турбулентного течения может рассчитываться по формуле (Арсеньев, 1988) в зависимости от относительной шероховатости частиц наносов.

В действительности на величину (относительной) шероховатости русла оказывают влияние неровности дна, гряды (структурная

шероховатость) (Махкамов, 1989) и высшая водная растительность. Поэтому многие исследователи рассматривают шероховатость, как составную величину, которая должна учитывать не только абсолютную шероховатость, но и влияние ВВР (стеснение площади живого сечения, увеличение трения, например, Петрик-Восмоян, 1975), изменение поля скоростей, особенности формы живого сечения (например, В.Л.Кован, 1956). Для реальных условий МВБ р.Волги результата расчета скоростей течений или уклонов по формуле Шези не существенно отличается от результатов расчета по формулам для неустановившегося движения жидкости. Это наблюдается по причине того, что учет инерционных членов, характеризующих изменение скорости течений во времени, учет растекания или изменения расходов воды на МВБ в пределах контуров струи уточняет расчет не более, чем на несколько процентов. Поэтому можно принять движение потока в пределах струи на МВБ квазиставившимся равномерным и определять его характеристики по уравнению Шези.

Исключением являются только участки со сложным пересечением многочисленных струй, что наблюдается только на отдельных отрезках рыбоходных каналов.

Экспериментальные измерения на полигонах МВБ р.Волги уклонов, глубин воды, скоростей течения и характеристик водной растительности позволили найти суммарное гидравлическое сопротивление, которое выражено через коэффициент Шези, но исключает все упомянутые виды сопротивлений для условий МВБ.

Установлена преобладающая роль ВВР в формировании величины сопротивления для условий МВБ. Получены экспериментальные значения коэффициентов Шези в зависимости от биомассы ВВР для районов, примыкающих к МКД, центральных и приморских районов. Получены также данные по сезонному ходу изменения биомассы ВВР и уклонов водной поверхности в этих районах. Эти данные позволяют легко



определять скорости течения и расходы воды на МУВ р.Волги при условии использования наших гидрографических карт с указанием типов и условий размещения ВВР. В связи с тем, что зарастание МУВ происходит постоянно и наблюдается высокая динамичность в размещении различных типов ВВР рекомендуется использовать наиболее близкие по ситуации (межень, половодье, величина расхода) карты растительности и наблюдаемые схемы расположения струйных течений для дополнительного контроля результатов расчета. Окончательная проверка проводится на основе сравнения суммарного расхода всех стокowych течений на внешнем крае МУВ с расходом у В.Лебяжьего (вершина дельты) с учетом времени добегания.

Метод расчета описан в работе /64/. Сущность его заключается в использовании полученных данных по изменению уклонов воды и биомассы ВВР в течение навигационного периода и формулы Шези для расчета течений на выбранном разрезе при помощи проведенного районирования МУВ, карт ВВР и карт течений. Биомасса растительности для выбранного участка определяется по картам ВВР в зависимости от времени года и вида изображения на космическом фотоснимке по аналогии с данными обследований на полигонах.

Величину типового уклона выбирают в зависимости от участка и времени по экспериментальным данным на полигонах или устанавливают гидравлическим расчетом в зависимости от расхода воды и уровней воды моря у устьевых участков рукавов.

Направление течений принимают совпадающим с "направлением наименьших сопротивлений", т.е. в зависимости от размещения ВВР по картам растительности, либо в соответствии с расположением струйных течений по картам течений. Следует признать, что экспериментально установленные границы и направления струйных течений (линии тока) пока являются более точными, чем рассчитанные по любому из существующих методов, несмотря на значительные затраты

расчетного времени. Вероятно это объясняется неизбежными упрощениями при расчетах, тогда как в натуральных условиях мы регистрируем граничные линии тока экспериментально с большой точностью.

Развитие метода расчета течений при условии сложного размещения ВВР на МУВ р.Волги произведено в дальнейшем в работе В.Д. Казмирук (Казмирук, 1988), выполненной под руководством автора на основе материалов КФ и полевых исследований.

Впервые по данным КФ для мелководного взморья таких крупных размеров как р.Волга построена серия карт стокowych течений для периодов межени и половодья разных лет /44, 47, 48, 50, 55/. Карты позволяют определять направление и скорость течений по всей территории МУВ при условии использования упомянутого выше метода расчета скоростей течений. По картам можно найти распределение расходов воды вдоль морского бара МУВ, рассчитывая их по участкам струй и различных типов ВВР. Карты стокowych течений показывают пути распределения стока и выноса воды и наносов. Их легко можно использовать при выборе трасс рыбоходных и судоходных каналов.

Карты были переданы для использования в КаспИИОРХ, Гидро-рыбпроект, ГОИИ, Астраханское отделение Каспморниипроект, Управление Черных земель и Кизлярских пастбищ.

Исследования выполнялись по плану работ АН СССР по созданию и внедрению новой техники на 1983-1985 гг. и получили высокую оценку при приемке в 1984 г.

На основе карт стокowych течений и ВВР было произведено районирование МУВ по условиям водообмена и предложена методика ландшафтно-экологического районирования, опираясь на данные натуральных наблюдений и установленные количественные связи, типичные для разных природных объектов. Нахождение внутренних количественных связей, присущих элементам ландшафта, должно являться ос-



новой любого ландшафтно-экологического районирования.

В качестве примера рассмотрим МУВ р. Волги.

Глубина воды для любого элемента ландшафта является первопричиной возможности появления тех или иных скоростей течения (см. ф-лу 10) и типов ВВР. Морфометрические особенности МУВ, управляя распределением уклонов, также влияют на распределение скоростей течений ( $U \sim HJ$ ) и типов ВВР. Биомасса ВВР ( $M_B$ ) и ее особенности распределения в воде и по площади оказывают в свою очередь влияние на распределение скоростей течений. И все это жестко определяется найденными связями  $U \sim HJ$ ,  $U \sim C$ ,  $C \sim M_B$  (где  $M_B \sim H, U, t^0$ ). В зависимости от скорости течений и распределения ВВР находится мутность воды, от которой зависят продукционно-деструкционные процессы и которая вместе с  $H$ ,  $U$  оказывает влияние на температуру воды и донные отложения при наличии процессов аккумуляции. К струйным течениям с наличием взвешенных частиц привязан основной перенос соединений фосфора. Зоны произрастания тростника являются также районами поставки фосфора из грунтов дна в окружающие водные массы. В работах /34, 49, 57, 64/ изложены попытка связать основные элементы гидрологического режима, особенно течений и обводненности на формирование экосистем устьев рек и проблемы мониторинга природной среды МУВ р. Волги.

В соответствии с результатами исследований существенное значение имеет типизация водных масс, которые различаются по содержанию взвесей, кислородному режиму и химическому составу. Осуществить такую типизацию для крупной устьевой области можно только на основе обработки КФС. На МУВ р. Волги выделены три типа по содержанию взвесей (мутные, речные - выше 20 кг/л, осветленные речные, трансформированные - до 5 мг/л, - и промежуточные). Мутные воды приурочены к участкам без ВВР, занятым струйными пото-

ками, со скоростями течений выше 30 см/с в половодье. Их общая площадь меняется от 2500 км<sup>2</sup> в межень до 6500 км<sup>2</sup> в половодье. Эти речные воды имеют благоприятный режим, в них обитают ценные породы рыб. Зоны осветленных речных (трансформированных) вод (площадью от 2 до 4 тыс. км<sup>2</sup>) возникают весной в основном в культурной зоне после прохождения мутных вод сквозь тростниковые заросли, а также летом на участках, заросших подводной и плавающей растительностью. Скорости течения обычно на таких участках находятся в пределах 5-15 см/с, а содержание кислорода отличается большим разнообразием (от нуля до пересыщения). В зарослях часто наблюдается преобладание деструкции над первичной продукцией, наблюдается уменьшение окислительно-восстановительного потенциала. Именно в районах этих вод наблюдается чередование "благополучных" и "неблагополучных" по кислородному режиму участков, что представляет проблему для рыбного хозяйства.

Содержание растворенного кислорода оказывает влияние на скорость и направление трансформации соединений азота и фосфора. Так, в устье Волги обнаружен четкий суточный ход содержания азота и фосфора (общего) в воде. В полдень наблюдается максимальное выделение фосфора из грунтов в воду (максимум содержания азота в воде наблюдается утром), ночью - минимальное содержание фосфора (уходит в грунты) и максимальное азота (ассимиляция из воздуха). Существуют концентрации кислорода, азота, фосфора, при которых процессы происходят как саморегулирующие. Но вероятно существуют и критические условия. Так, азотный цикл нарушается при содержании  $O_2 < 5$  мг/л.

Следовательно, используя карты распределения ВВР и течений, можно проводить экологическое районирование и планировать проведение мелиоративных мероприятий, трассирование рыбоходных каналов.



Еще при разработке плановых заданий 1980-1984 гг. нами было предложено использовать метод расчета стоковых течений МУВ, карты стоковых течений и ВВР для фонового (общего) прогноза развития зарождающейся на МУВ гидрографической сети /33,44,49,50,66/. Сущность методики заключается в комплексной оценке изменчивости и распространения ВВР как индикатора происходящих процессов размыва, образования аккумулятивных форм, глубин, скоростей течения, а, следовательно, возможности обнаружения районов, где могут образоваться первичные русловые формы, протоки, рукава.

Естественно предположить, что районы, где преобладает увеличение зарастаемости, приурочены к отмирающей части авандельты, а незаросшие участки, которые систематически заняты сильными стоковыми течениями, являются потенциальными путями стока и в будущем, где получают развитие основные банки. Конечно, такой прогноз должен быть уточнен по материалам изменчивости зарастания и путей стоковых течений при различных условиях (изменении уровней воды моря, глубин воды в пределах авандельты и т.д.). Так, для МУВ Волги такие прогнозы целесообразно составлять для трех градаций уровня моря: а) ниже -29,5 м; б) -29,5-27,0; в) выше -27,0 (в зависимости от глубины воды на МУВ). Безусловно, он может быть проверен также по расчетам течений и неразмывающих скоростей. Но, к сожалению, в настоящее время не существует методов расчета и прогнозирования развития сложной зарождающейся разветвленной системы рукавов.

Предложенный метод легко использовать для разработки общих прогнозов с выделением активных развивающихся районов, где возможен размыв, и отмирающих, где размыв и развитие гидрографической сети невозможны.

#### 4. Динамика устьевой области р.Терек

До 1973 г. Новый Терек впадал в Аграханский залив, принося в него около 7 км<sup>3</sup> воды и 6,5 млн.т наносов в год. Уровень воды в Аграханском заливе держался на 1-2 м выше уровня Каспийского моря. Отложения больших количеств наносов приводило к повышению дна русел рукавов в пределах дельты и неизбежности обвалования реки и постоянному наращиванию дамб. Новое устье Терека образовалось в связи с прорывом 3 января 1973 г. перемычки, отделяющей русло Терека в южной части Аграханского залива от искусственной прорези, сооруженной в 1968 г. для предотвращения наводнений.

В связи с образованием и развитием пионерной дельты, нами были организованы наблюдения и получены данные по развитию пионерной дельты в 1973-74 гг. /22/, роли активного образования бара и выдвигания кос, а также грядового перемещения наносов при образовании дельты. В дальнейшем наблюдения за образованием пионерной дельты продолжались в 1975-1984 гг. Топографические и гидрологические съемки этих лет позволили использовать их для уточнения роли речных и морских факторов (площади и объема отложившихся наносов в дельте, изменений объема дельты между съемками), понять взаимоотношения между выносом речных наносов, вдольбереговым поступлением морских наносов и разрушающим действием волнения. Такие расчеты были проделаны с учетом съемок в работе /41/ и в диссертационной работе М.В.Михайловой (1989). В результате были установлены эмпирические зависимости, связывающие характеристики дельты, речного стока и волнения. Космические съемки позволили найти в процессе дельтообразования некоторые особенности формирования подводных частей дельты, что не было освещено наземными исследованиями, и изменения природной среды и гидрографии Аграханского залива /44,55/.



Исследованы особенности распространения стоковых струй р. Терек после выхода из устьевых створа, распределение скоростей течения, мутности, солености и температуры воды на взморье при различных ветровых условиях. Распределение по глубине обычно не превышает 1 м, тогда как по поверхности пресная вода может растекаться тонким (прерывистым) слоем на большой площади (до 2000 км<sup>2</sup>). По данным КФС речная вода может распространяться на восток до 26 км, на север до 50 км, на юг - практически до устья р. Сулак.

Наблюдения за стоковыми струями были положены в основу разработки и проверки метода расчета стоковых инерционных течений в бароклинных условиях (Диваков И.В., 1988, канд. диссертация).

В период падения уровня моря размывы дна распространялись вверх по течению до 30 км, что поддерживало значительную пропускную способность русла. К 1988 году русло снова было занесено примерно до прежних отметок. Повышение дна будет следовать за повышением уровня моря.

В районе дельты Терека сложились неблагоприятные условия для рыбного хозяйства: соленые воды у дна расположены непосредственно у бара. Необходимы целенаправленные работы по изменению дельты Терека в нужном направлении. Некоторое улучшение рыбохозяйственных условий (для мальков) отмечалось после появления лагун. Наилучшие рыбохозяйственные условия наблюдались ранее при существовании Аграханского залива.

##### 5. Исследование по динамике Северного Каспия как устьевых взморья рек Волги и Урала

1) Береговая зона. В связи с отсутствием современных картографических материалов по береговой зоне северной части Каспийского

морья по КФС построена серия карт в масштабе 1:200000, отражающих состояние береговой зоны на период стояния низких уровней моря. Отдельные листы карт обновлялись для периода поднятия уровня. Карты охватывают участки от устьев Сулака и Терека на западе, устья Волги и Урала на севере до пол-ва Бузачи и побережья на востоке.

Впервые в СССР была разработана методика определения нагонов и сгонов и построения карт на нагонно-осушенные побережья на основе использования серии КФ на различные даты на примере побережья Калмыцкой АССР. Сущность методики заключается в подборе космических снимков с различными условиями нагона, учета данных гидрометеорологических постов по уровням воды и ветру, нахождении дешифровочных признаков для основных состояний индикационных объектов. На основе разработанной методики были построены карты нагонно-осушенных территорий побережья Калмыцкой АССР (совместно с МИГАИК). Карты переданы для использования в Управление Черных Земель и Кизлярских пастбищ и Калмыцкий обком КИСС.

Методика опубликована в СССР /52,54/ и за рубежом /56/.

2) Шельф. Впервые в СССР по методике ИКИ АН СССР на основе машинной обработки данных многозональных КФС произведено обозначение подводных объектов в шести зонах спектра на шельфе и на побережье Северного Каспия, опираясь на статистику спектральных характеристик известных объектов.

По данным полунструментальной обработки КФС в отдельных зонах спектра, а также по данным специально синтезированных по четырем зонам спектра на многозональном проекторе МСП-4М на шельфе Северного Каспия обнаружены остатки древней речной сети, древних морских баров, следов рельефа, образованного около 12000 лет тому назад (бэровские бугры) речными потоками. Древние морские береговые бары на восточном побережье прорезаны многочисленными



эрозионными ложбинами, сформированными сильными противотечениями при значительных нагонах и сгонах водных масс /30/. В основных чертах методика распознавания объектов под водой была опробована также при обработке КФ шельфа Кубы (район Варадеро) в 1979 году /32,36,38/ и 80-х годах /58/. Даже визуальное дешифрирование позволяет выделять следующие элементы береговых зон: урез воды, песчаные пляжи, участки морского карста, различные типы донных отложений, кораллов, разломы, морские террасы, различные типы морских ландшафтов, подводную растительность, абразионные и аккумулятивные типы берегов, мангровые заросли, заболоченные участки. Были установлены пути преобладающего переноса наносов на глубинах до 25 м, а также пути ухода песчаных наносов на большие глубины в периоды сильных штормов. Установлена эффективность применения материалов многозональных съемок при картировании шельфа и переноса наносов до глубин 40-60 м.

В условиях меньшей прозрачности вод Северного Каспия рельеф просматривается только до глубины не более 10 м. Впервые в 1975г. (отчет ИВП "Использование аэрокосмической видеоинформации при исследовании водных ресурсов". 1976 г. № 426) был получен экспериментально факт смещения эффективной длины волны для съемки подводного рельефа в более длинноволновую область в более мутной воде.

На основе опыта использования КФ предложено использовать данные по формам донного рельефа для определения преобладающих путей перемещения донных наносов.

В ряде случаев возможно выявление одновременно кольцевых форм поднятия (соляные купола и т.п.) и направления потока наносов. Так, на Северном Каспии к такого рода поднятиям можно отнести о-в Кулалы, о-в Эйд-Вестовая Шалыга, поднятие, расположенное на МВВ р.Волги. Последнее поднятие маркируется не только донными

формами, но и обтекающими его со всех сторон течениями. Это поднятие является непреодолимым препятствием для развития в его районе крупных рукавов в будущем, на его морской границе нарастает бар.

3) Водные массы. Космическая фотосъемка со спутников типа "Метеор-30" в зонах спектра  $\lambda_c = 0,5-1,0$  мкм позволяет изучать динамику водных масс, течений, вихрей и циркуляций. Изучение проводилось как по ИРС в отдельных зонах спектра (для  $\lambda_c \geq 0,4$  мкм), так и по синтезированным в искусственных цветах, на многозональном проекторе МСП-4М, и по спектральному и цветным КФ. По спектральному и цветным снимкам хорошо отображается общая картина распределения водных масс и течений в целом, по синтезированным вскрываются отдельные стороны и особенности происходящих процессов, по многозональным снимкам - особенности распределения водных масс по глубине при условии, что на больших глубинах наблюдаются большие ареалы распространения мутных вод (эффект впервые описан Кравцовой В.И., Г.А.Сафьяновым, 1976).

Сущность методики заключается в том, что, во-первых, различные водные массы имеют в зависимости от содержания взвешенных веществ минерального или органического происхождения различные оптические характеристики, а, во-вторых, на их поверхности и границах наблюдаются заметные различия в формировании и характеристиках ветровых полос, пены, ряби, слабого волнения, накопления различных загрязняющих веществ, т.е. в характеристиках отражения в различных длинах волн спектра, условиях формирования бликов, сликов и т.п.

На основе проведенных исследований показаны возможности использования для вышеуказанных целей КФ со спутников типа "Метеор-30", поступающей в оперативном режиме /64/.

С помощью этих материалов обнаружены новые особенности расп-



ространие течений, водных масс и некоторых особенностей процессов смешения. Выяснено, что:

1. Зона транзита речных вод охватывает все мелководное взморье Волги и Урала. При сильных нагонных ветрах концевые участки МВВ Волги и низовья рукавов Урала находятся в первой зоне смешения речных вод и вод глубоководного взморья.

2. Первая активная область смешения находится непосредственно за морским баром Волги (по которому проходит граница между МВВ и глубоководным взморьем) и за пределами авандельты Урала. На Волге это смешение происходит путем проникновения сначала речных струй в водные массы глубоководного взморья, на Урале в основном - активного турбулентного перемешивания. При отсутствии ветра речные струи постепенно смешиваются с водными массами, при наличии ветра в ряде случаев происходит разрыв их на части (при смене направления ветра), в ряде случаев они группируются в отдельные стоково-ветровые потоки и переносятся на западе вдоль о-ва Чечень, часто образуя вихрь диаметром до 15 км, на востоке - в направлении Уральской бороздины, также образуя вихрь антициклонического типа. В центральной части разреза о-в Чечень - о-в Кулалы такой вихрь обнаружен по данным наблюдений с судна.

3. Водообмен между Северным и Средним Каспием осуществляется по трем основным районам - западному (восточнее о-ва Чечень), центральному и восточному в виде мощных компенсационных течений. Восточное компенсационное течение обнаружено по КФ в районе юго-западнее пол-ва Бузачи. КВ течение выходит из Северного Каспия в Средний в 35 км западнее пол-ва Бузачи полосой в 40 км. Протяженность видимого участка течения около 150 км. В районе течения предполагаются скорости более 0,5 м/с.

Компенсационные течения в Северном Каспии и на границе со средней частью моря были обнаружены также экспериментально в пе-

риод экспедиционных работ с участием и под руководством автора в 1980-1982 гг. /15,61/. Западное компенсационное течение уже упоминалось нами в связи с тем, что оно часто сопровождается образованием вихря при обтекании о-ва Чечень. Это течение не прекращается зимой и выражено контурами распространения ледового покрова на Северном Каспии /44,53/. Границы течений в Северном Каспии всегда являются одновременно резко выделяющимися фронтальными границами. Менее заметны фронтальные границы между различными водными массами при отсутствии сильных течений.

Ледовый режим. Исследованы особенности дешифрирования и показаны возможности использования данных съемок с ИСЗ типа "Метеор-30" для изучения ледового режима Северного Каспия. Материалы дешифрирования проверялись для отдельных сроков по данным аэровизуальных наблюдений /53/. Анализ материалов показал возможность выделения и картографирования различных видов льда. На основе изучения распределения льдов во времени по материалам космических съемок получены данные о преимущественном направлении стоковых течений Волги зимой вдоль западного побережья и наличии области разгрузки вод Северного Каспия севернее о-ва Кулалы.

Комплексные исследования шельфа северо-западной части Каспийского моря. В связи со сложным положением с использованием водных ресурсов в Калмыкии проведено комплексное обследование водных масс шельфа. На основе полевых исследований и анализа данных наблюдений составлены карты течений и распределения мутностей и соленостей воды, карты нагонно-осушенных территорий береговой зоны, которые позволили дать рекомендации по использованию вод Северного Каспия для орошения в береговой полосе и новой трассе судоходного Логанского канала.



Моделирование течений. Распределение течений в Северном Каспии, развивающихся в результате притока речных вод и действия ветра, изучалось не только по данным КФ, но также изучалось более систематически для ветров различных направлений, силы и продолжительности на основе использования нестационарной нелинейной модели мелкого моря (Блатов А.С. и др., 1985) /45,50,61/. Коэффициенты  $K_1$  и  $K_2$  /45 стр.30/ подбирались по данным натурных наблюдений 1980-1982 гг. на Северном Каспии, чтобы получилось наилучшее совпадение данных расчета и наблюдений. Общий характер циркуляций сравнивался с данными КФ. Для исключения ошибок за счет граничных эффектов (на жидкой границе со Средним Каспием) для последующего анализа данные вблизи от жидкой границы (10-25 км) не рассматривались.

Слабое влияние водообмена со Средним Каспием на циркуляцию вод в Северном Каспии подтверждается исследованиями Ф.Г.Бахмалова (1968) и О.В.Казакова (1976). В результате расчетов были получены поля скоростей течений и отметки уровней воды для реально наблюдаемых ветровых ситуаций. Сравнение с данными наблюдаемых скоростей течений (Ю.И.Компаниец, 1974) показало, что отклонения не превышают  $\pm 5\%$ . Данные моделирования и наблюдений показали, что связь между скоростями ветра и течений более сложная, чем это представлялось ранее.

Анализ материалов расчетов показывает, что основную роль при заданной скорости и продолжительности ветра, данного направления в формировании течений играет топография водной поверхности (особенно в восточной части) и конфигурация береговой линии (особенно в западной части). Проверка модели была осуществлена также по фактическим и вычисленным приращением уровня воды в районе поста о-ва Тюлений и показала возможность ее применения для расчетов сгонов и нагонов в открытой части мелкого моря.

Кроме общей циркуляции были получены данные по переносу водных масс через Бузачинский порог и Тюб-Караганский пролив /45/, данные по водо- и солеобмену между западной и восточной частями Северного Каспия /61/.

Необходимо указать на наличие в некоторых районах зон с замкнутой циркуляцией, что может быть одной из причин образования "застойных районов". Прохождение через эти районы фронтов может в ряде случаев создавать неблагоприятные условия накопления органических и загрязняющих веществ.

#### ВЫВОДЫ

В работе проведен комплекс исследований по изучению закономерностей процессов, определяющих динамику и развитие береговой зоны внутренних водоемов, включая формирование параметров волн (особенно предельных для заданной глубины) и перенос наносов в разных частях береговой зоны. Изучен процесс изменения параметров волн в береговой зоне под влиянием глубины и уклонов дна, крутизны волн, скорости и направления ветра. Изучен процесс наката волн, определяющий формирование пляжевой полосы - верхней части береговой зоны. Изучен механизм воздействия волн на несвязные наносы, процесс формирования динамически устойчивой береговой зоны, переноса наносов вдольбереговым потоком. В результате исследований для определения характеристик волн в различных частях береговой зоны, глубины волнового воздействия на наносы, величины вдольберегового потока наносов, величины наката волн разработаны модели, предложены и апробированы методы расчета, которые используются в инженерной практике и излагаются в вузовских учебниках.

Разработано новое научное направление - изучение береговой зоны и устьевых областей рек с помощью космических фотосъемок, -



позволяющее более эффективно и комплексно изучать динамику природных процессов, создавать в короткие сроки новые карты по береговой зоне внутренних морей и крупным устьевым областям рек (типа Волги, Урала и Терека). На основе разработанной методики получены многочисленные новые материалы по современному состоянию, динамике различных гидрологических процессов, характеристик береговой зоны и устьевых областей рек Северного Каспия в период понижения и последующего повышения уровня моря. Материалы и разработанные методики использованы для изучения динамики гидрографической сети, природных комплексов, морского края дельт Волги, Урала и Терека, мелководного взморья, водных масс, течений, ледового режима, стонно-нагонных явлений, ландшафтно-экологического районирования и т.п.

На основе изучения гидрологических процессов разработаны новые методы расчета зоны и характеристик стонно-нагонных явлений на побережье, стоковых течений на мелководном взморье, прогнозирования развития будущей гидрографической сети на устьевом взморье с помощью материалов космических съемок.

Установлены особенности изменения гидрологического режима и характеристик устьевых областей Волги, Урала и, частично, Терека за период регулирования стока.

Совместное использование данных натурных исследований и космических фотосъемок позволило более эффективно проводить обобщение и проверку материалов натурных наблюдений и результатов моделирования, открыть новые явления (квазиламинарность струйных течений на МУВ р.Волги), дать рекомендации по проектированию и эксплуатации водохозяйственных сооружений и объектов в устьевой области Волги.

Проведенные исследования позволяют на основе разработанной методики и полученных материалов осуществить в будущем мониторинг

района Северного Каспия и его береговой зоны с устьевыми областями рек в условиях все возрастающей антропогенной нагрузки и постоянно изменяющегося уровня моря. Это будет способствовать успешному проведению проектных работ по защите и освоению прибрежной территории и устьевых областей Прикаспия в период значительного подъема уровня Каспийского моря.

По теме работы сделаны доклады на совещаниях:

1. Всесоюзное совещание по динамике берегов моря и водохранилищ. Одесса, 1956 г.
2. Географическое общество СССР (океанографическая комиссия) М., 1965 г.
3. Всесоюзное научно-техническое совещание по расчету параметров ветровых волн на морях и водохранилищах и их воздействий на гидротехнические сооружения. Л., 1969 г.
4. XII научная конференция по изучению морских берегов. Вильнюс, 1971 г.
5. Всесоюзное совещание по динамике и термике рек. М., 1971 г.
6. Всесоюзное научно-техническое совещание "гидротехнические сооружения на морях и водохранилищах". Л., 1972 г.
7. Совещание рабочей группы социалистических стран по дистанционному зондированию Земли. Болгария. Варна, 1977 г.
8. IX конференция придунайских стран по гидрологическим прогнозам. Венгрия. Будапешт, 1977 г.
9. Общее собрание Отделения океанологии, физики атмосферы и географии АН СССР. М., 1978 г.
10. Международный семинар соцстран по дистанционному зондированию. Л., Валдай, 1979 г.
11. Всесоюзный симпозиум "Изотопы в гидросфере". Таллин, 1981.
12. Советско-итальянский симпозиум "Исследование природных ресурсов Земли из космоса". Италия. Рим 1982 г.
13. III Всесоюзный симпозиум "Антропогенное эвтрофирование природных вод". Черногоровка, 1983 г.
14. Всесоюзное совещание "Природные ресурсы устьевых областей рек, их охрана и исследование". Одесса, 1984 г.
15. III Всесоюзная конференция по использованию космической информации. М., 1984 г.



16. III Международный симпозиум "Комплексный глобальный мониторинг состояния биосферы". Ташкент, 1985 г.
17. V Всесоюзный гидрологический съезд. Л., 1986 г.
18. Всесоюзная конференция "Методы и средства тематической обработки аэро-космической информации". Звенигород, 1986 г.
19. Всесоюзное совещание "Охрана природной среды морей и устьев рек". Владивосток, 1986 г.
20. IV Всесоюзная научная конференция "Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных зонах". М., МГУ, 1987 г.
21. Научно-техническая и методическая конференция МИИТ'а Минречфлота РСФСР, апрель 1987 г.
22. Зональное совещание "Итоги 2-го этапа исследования природных ресурсов и проблемы развития производительных сил Калмыцкой АССР". Элиста, май 1987; январь 1988 гг.

Основное содержание исследований изложено в опубликованных работах:

1. Расчет формирования отмелей водохранилищ - Изв. АН СССР, Отделение технических наук, 1958, № 6, с. 126-130.
2. Динамика береговой зоны водохранилищ - Сб. "Гидравлика сооружений и динамика речных русел". Изд. АН СССР, 1959, с. 189-211.
3. Вдольбереговой волновой поток наносов и динамика берегов водохранилищ - Тр. совещания по динамике берегов морей и водохранилищ, 1959, с. 60-64.
4. Расчет параметров ветровых волн при определении волновых нагрузок на гидротехнические сооружения - Тр. океанографической комиссии т. IX, Изд. АН СССР, 1960, с. 137-150 (соавтор А.Г. Сидорова).
5. Технические условия определения волновых воздействий на морские и речные сооружения и берега СН 92-60. М. Госстройиздат, 1960.
6. Трансформация волн на мелководье - Сб. "Управление поверхностными и подземными водными ресурсами". Изд. АН СССР, М., 1961, с. 161-208 (соавтор А.Г. Сидорова).

7. Ветровое волнение и динамика береговой зоны водохранилищ. - Автореферат диссертации. МИСИ, 1962.
8. Водные ресурсы низовьев Дуная и их комплексное использование - Сб. "Режим и освоение водных объектов" - Изд. АН СССР, 1962, с. 9-49 (соавторы Н.Н. Заворин и др.).
9. Расчет ветровых волн и береговых отмелей водохранилищ - ж. Vodoohospodarsky Casopis, 1963, № 1, с. 20-28.
10. Указания по проектированию гидротехнических сооружений, подверженных волновым воздействиям. СН 288-64. 1963, 131 с. (коллектив авторов).
11. О выборе расчетных параметров волн при проектировании гидротехнических сооружений - Тр. координационных совещаний по гидротехнике - Сб. 50 "Волны и их воздействие на сооружения". Изд. Энергия, 1969, с. 183-196 (соавтор А.Г. Сидорова).
12. Обобщенные предложения по расчету параметров ветровых волн, там же, с. 42-110 (соавтор Д.Д. Лаппо).
13. Некоторые актуальные вопросы волновых исследований. - Тр. координационных совещаний по гидротехнике - Сб. 61, Изд. Энергия, 1970, с. 40-43.
14. Краткий анализ основных замечаний по разделу II проекта СН 92-68. Там же, с. 65-70 (соавтор Д.Д. Лаппо).
15. Обобщенный подход к исследованию волновых процессов. Там же, с. 71-73 (соавтор А.И. Кадукин).
16. Методика расчета вдольберегового перемещения песчаных наносов - XI научная конференция по изучению морских берегов. Вильнюс, 1971, с. 7-8.
17. Трансформация энергетического спектра поля ветровых волн на мелководье - Тр. координационных совещаний по гидротехнике, вып. 75 (доп), 1972, с. (соавторы А.И. Кадукин, И.Г. Суханова).
18. Энергетический спектр поля ветровых волн - Сб. "Динамика и термика речных потоков". Изд. Наука, 1972, с. 133-140 (соавтор А.И. Кадукин).
19. Учет гидродинамических параметров ветрового волнения при расчете движения наносов в прибрежной зоне морей, озер и водохранилищ. - Сб. "Динамика и термика рек". Изд. Наука, 1973, с. 134-141 (соавторы А.И. Кадукин, И.Г. Суханова).



20. Применение вариационных методов в гидродинамике, там же, с.105-117, (соавторы А.И. Кадукин, А.С. Судольский).
21. Накат волн на откосы - Сб. "Теория ветровых волн и расчет гидротехнических сооружений". Изд. Наука, 1975, с. 160-175.
22. О начальной стадии формирования устьев участка реки ( на примере р. Терек). - Водные ресурсы, 1975, № 6, с. 119-125.
23. СНИП П-57-75. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). М. Стройиздат, 1976.
24. Руководство по определению нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения (волновых, ледовых и от судов). Л., 1977.
25. К прогнозу переформирования русла реки при изменении ее гидрологического режима. - IX конференция придунайских стран по гидрологическим прогнозам, Будапешт, 1977, 23 с. (соавторы В.К. Дебольский, В.М. Котков).
26. Карта дельты р. Волги. - Авторский экз. 1979 г. (соавтор Ю.С. Соколов и др.). ИВП АН СССР.
27. Карта дельты р. Терек. - Авторский экз., 1979 г. (соавторы Ю.С. Соколов, И.Е. Курбатова и др.). ИВП АН СССР.
28. Карта дельты р. Урал. - Авторский экз., 1979 г. (соавторы Ю.С. Соколов, И.Е. Курбатова и др.). ИВП АН СССР.
29. Исследование устьев рек, прибрежных зон и дна Северного Каспия с помощью дистанционных методов. - Водные ресурсы, 1979, № 1, с. 88-89, (соавторы С.С. Семенов, И.Г. Суханова).
30. Исследование устьев рек, прибрежных зон и дна Северного Каспия с помощью дистанционных методов. - Международный семинар социалистических стран по дистанционному зондированию Земли. Гидрометеиздат. Л., 1979, с. 47-49 (соавторы С.С. Семенов, И.Г. Суханова).
31. Использование космической фотосъемки при изучении внутренних водоемов и устьевых областей рек. - Водные ресурсы, 1980, № 1, с. 121-137 (соавторы В.П. Салтанкин, С.С. Семенов).
32. Principales resultados de la introduccion de los metodos de teledeteccion en las investigaciones geograficas en Cuba. - Ciencias de la Tierra y del espacio. 1980, № 2, p. 111-120 (коллектив авторов).

33. Исследование движения наносов, динамики солевого режима речных устьев и приустьевых участков морей. - ИВП, регистрационный № Б 886655, 1980 (коллектив авторов).
34. Экологические основы создания оптимального водного режима в дельте Волги и Северном Каспии. - Водные ресурсы, 1981, № 4, с. 21-37 (соавторы А.П. Мусатов, Е.А. Федосеев).
35. Возраст боровских бугров дельты Волги. - Сб. "Изотопы в гидросфере". 1981, с. 84 (соавторы Н.Б. Аносова, В.Г. Онуфриев).
36. Методы географической интерпретации аэрокосмических материалов в условиях кубы (на испанском языке) Akademia de Ciencias de Cuba. Potentia III. Tornado Cientifica del ININTEP 1982, p.73-77 (коллектив авторов).
37. Прогноз изменений экологических условий Каспийского моря и дельтовых участков впадающих рек при территориальном перераспределении водных ресурсов - Госрегистрация № 1820090203. 1982 (соавторы А.П. Мусатов и др.).
38. Первые результаты исследования по применению многозональной аэрокосмической съемки при географических исследованиях в Республике Куба - Исследование Земли из космоса, 1982, № 2, с. 41-47 (соавторы Асоян Л.С. и др.).
39. Использование космической информации в исследованиях водных ресурсов суши - Исследование Земли из космоса, 1982, № 2, с. 74-77 (соавторы И.М. Гальперин и др.).
40. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). СНИП 2.06.04-82 - Стройиздат, 1983, 38 с. (коллектив авторов).
41. История формирования дельты р. Терек и ее вероятное дальнейшее развитие - Сб. "Водные ресурсы бассейна р. Терек и их использование". Р. н/Д, 1983, с. 32-51 (коллектив авторов).
42. О роли фосфора в биопродуктивности Северного Каспия - Антропогенное эвтрофирование природных вод. Тезисы докладов на 3-м Всесоюзном симпозиуме, 1983, с. 242-243 (соавтор В.С. Конюшко).
43. Изучение дельты р. Волги с помощью материалов космической информации - Исследование Земли из космоса, 1984, № 3, с. 27-32 (соавтор Ю.С. Соколов).



44. Проблема исследования устьев рек, береговой и шельфовой зоны Северного Каспия с помощью методов космической фотосъемки - Сб. "Гидрофизика Северного Каспия". Изд. Наука, М., 1985, с. 10-24.
45. Исследование течений горизонтальной циркуляции вод и водообмена между восточной и западной частями Северного Каспия. - там же, с. 25-50 (соавторы С.М. Перминов, И.И. Чечель).
46. Гидравлические особенности стока Волги на внешнем крае дельты и отмелом взморье. - там же, с. 153-160 (соавтор И.В. Диваков).
47. Возможности применения дистанционных методов для идентификации и районирования водных масс. - там же, с. 92-100 (соавтор В.С. Коношко).
48. Подспутниковые наблюдения для дешифрирования стоковых течений Волги - там же, с. 148-152 (соавтор Н.Н. Гришин).
49. Космический мониторинг биосферы и его связь с космическим мониторингом гидросферы - Сб. "Космический мониторинг биосферы" вып. I. Л. Гидрометеодат, 1985, с. 82-93.
50. Режим устьевых областей Каспийского моря - Монография "Проблема территориального перераспределения водных ресурсов". М., 1985, с. 197-207.
51. Режим дельт Аральского моря - там же, с. 230-234 (соавтор Н.М. Новикова).
52. Особенности дешифрирования космических снимков морских побережий со спонно-нагонными явлениями - Известия ВУЗ'ов, геодезия и аэрофотосъемка, 1986, № 4, с. 93-97 (соавторы Т.В. Верещака, И.Е. Курбатова).
53. Изучение ледового режима Северного Каспия по данным метеорологических спутников Земли. - Исследование Земли из космоса, 1987, № 5, с. 14-17 (соавтор К.С. Любомирова).
54. Оценка гидрологических характеристик и качества воды устьев рек с помощью космической и наземной информации - Труды У. Всес. гидрологического съезда, т.У, (соавторы Гришин Н.Н. и др.).
55. Исследование динамики природных комплексов устьевых областей рек Северного Каспия - Монография "Прикаспийский регион. Проблемы социально-экономического развития. т. 8 Аэро-

- космические методы исследований". М., 1987, с. 239-250.
56. Interpretation of storm surges and related phenomena on space Imagery. Mapping Sciences and Remote Sensing. Vol. 24, N 2, 1987, p. 129-133 (соавторы Т.В. Верещака, И.Е. Курбатова).
57. Проблема мониторинга природной среды отмелого устьевого взморья Волги.- Водные ресурсы, 1987, № 1, с. 69-74 (соавтор В.С. Коношко).
58. Основные результаты эксперимента по дистанционному зондированию "Тропико-3", проведенного в ходе совместного Советско-Кубинского полета, 1980 г. - Академии наук Кубы, Академия наук ГДР, Академия наук СССР, ж. Орбита, 1987, 242 с. на испанском языке (коллектив авторов).
59. Исследование и прогнозирование динамики гидрографической сети устьев рек с использованием данных космических фотосъемок - Закономерности проявления эрозионных процессов в различных природных условиях. Изд. МГУ, 1987, с. 432-433.
60. Гидрологический режим устья р. Урал - Сб. "Комплексные исследования Северного Каспия" Изд. Наука, М., 1988, с. 5-41.
61. Экспериментальные исследования водо и солеобмена между западной и восточной частями Северного Каспия - там же, с. 99-106 (соавторы С.М. Перминов, В.С. Коношко).
62. Ледовый режим Северного Каспия - там же, с. 106-115 (соавтор К.С. Любомирова).
63. Географическая интерпретация материалов дистанционного зондирования устьевых областей рек и шельфовых зон морей - Сб. "Географическая интерпретация аэрокосмической информации. М. Наука, 1988, с. 41-58.
64. Использование космических изображений при изучении влияния течений и обводненности на формирование экосистем устьев рек - Сб. Информационные проблемы изучения биосферы. М. Наука, 1988, с. 116-124.
65. Взаимосвязь и динамика растительного покрова и вод суши Северного Прикаспия - Космические методы изучения биосферы. Тез. докл. Всес. конф. Звенигород. 25-27 апр, 1988, с. 28.
66. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) - СНиП 2.06.04-82 Госстрой СССР, М. 1989, 40 с. (коллектив авторов).



67. Взаимосвязь и динамика растительного покрова и вод суши Северного Прикаспия.-Сб."Космические методы изучения биосферы". Изд. Наука, 1990,с.88-93.

68. Исследование мелководного взморья р.Волги.- Госрегистрация №ОІ.9.00018341,1990,183с (соавторы Арсеньев С.А.,Казмирук В.Д.)

69. Исследование закономерностей формирования режима и ресурсов устьевых областей рек.-Госрегистрация №ОІ.9.00021266,1990. (соавторы Арсеньев С.А., Казмирук В.Д.)

70. Методика использования дистанционного зондирования для комплексного изучения состояния и динамики водных ресурсов.-Госрегистрация №ОІ.87.0001991,1990, (коллектив авторов)

71. Волжские водохранилища и их роль в экологических проблемах низовьев Волги и Северного Каспия.- Водные ресурсы, 1991, №5,с. (соавторы Воропаев Г.В., Иванова Т.Н., Грин Г.Б.)

*Д.А.А.*

Подписано в печать 20.08.91г. Заказ 596  
Формат 60x90/16 Тираж 110

Москва. Типография ВАСНИИ