

ОДЕССКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ДЖОНСОН Раймонд Джофрей

УДК 556.545 (282,262) + 551.466

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕЙ СОЛЕННОСТИ ЭСТУАРИЕВ
СЬЕРРА-ЛЕОНЕ

II.00.07 - гидрология суши, водные
ресурсы

II.00.08 - океанология

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Одесса - 1988

Работа выполнена в Одесском гидрометеорологическом институте.

Научный руководитель: кандидат географических наук,
доцент Ильшин В.Я.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Башкиров Г.С.;
кандидат географических наук
Дупачев Ю.В.

Ведущая организация: Московский государственный
университет

Защита состоится 25 февраля 1988 г. в 14.00 часов на
заседании специализированного совета в Одесском гидрометеорологическом институте, ауд. 312

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского гидрометеорологического института

Автс

Отзы
чатку учр

специа

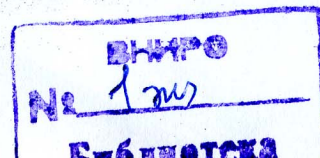
пе-

а

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Республика Сьерра-Леоне расположена на западе Африканского континента, ее береговая линия омывается водами Атлантического океана и сильно изрезана эстуариями. Столица и одновременно главный морской порт страны Фритаун расположена на берегу эстуария реки Сьерра-Леоне (Рокел). Эта часть территории республики заселена наиболее густо, плотность населения достигает здесь 200 человек на 1 км². Изучение гидрологического режима эстуария Сьерра-Леоне является исключительно важной задачей для развития экономики страны. Во-первых, решение этой задачи связано с развитием водного хозяйства, с рыболовством, планированием морских операций по перевозке грузов, оценки влияния хозяйственной деятельности в бассейнах на систему "река-эстуарий", уточнением количества и качества водных ресурсов самих эстуариев. Важным является выявление акваторий возможных нарушений экологических связей, участков наибольшей заносимости судоходных каналов. Во-вторых, публикаций освещающих вопросы математического моделирования процессов взаимодействия речных и морских вод в эстуариях этой части побережья западной Африки по нашему мнению нет, поэтому исследование полей солёности эстуариев этого района численными методами - актуальная практическая задача и решение ее имеет значение не только для Республики Сьерра-Леоне, но и для других развивающихся стран региона.

Эстуарий Сьерра-Леоне является весьма оригинальным географическим объектом - этому району западной Африки свойственен наибольший избыток ресурсов речных вод (его годовой слой достигает 3000 мм). В режиме водных ресурсов четко выделяются два сезона: сухой (с ноября по апрель) и дождливый (с мая по октябрь). Внутри этих сезонов процессы формирования полей солёности находятся под влиянием квадратурных и сизигийных полусуточных приливов. Именно эти особенности и трудностями объясняется недостаточная гидрологическая изученность эстуариев этого района в настоящее время.



Поэтому изучение режима солёности вод эстуариев Сьерра-Леоне весьма актуально. Представляет к тому же самостоятельный интерес численное моделирование процесса распространения солёных вод в речных эстуариях в основе которого метод конечных элементов.

Объект исследования. В качестве главного в диссертационной работе рассмотрен эстуарий Сьерра-Леоне (рис. 1.).

Внимание к этому эстуарию вызвано тем, что здесь расположен крупнейший порт страны Фритаун, это важнейший рыбопромышленный район, имеются и другие важные народохозяйственные объекты. Дно этого эстуария до места загрузки океанских судов железными рудами у острова Пепел прорезает судоходный канал. Сложные береговые очертания и наличие островов создают трудности для математического моделирования полей солёности вод этого эстуария.

Решающее значение при этом имело наличие хотя и непродолжительных по времени данных натуральных наблюдений гидрологического режима.

В работе также дана оценка распределения солёности вод в эстуарии Шебро, эстуарии не освещены натурными наблюдениями.

Цель работы состоит в исследовании структуры полей солёности вод в эстуариях Сьерра-Леоне:

-по данным разрозненных и противоречивых литературных сведений о гидрологии эстуариев рек Сьерра-Леоне и их бассейнов путем подбора аналогов, изучения изданных в открытой печати картографических материалов;

-на основе численной математической модели пространственного распределения солёности вод в эстуариях района в условиях недостатка исходной информации, а также применения аналитической математической модели (для определения граничных условий при решении уравнения Лапласа и диагностического расчёта полей солёности вод эстуария Шебро);

-важным и трудным моментом диссертационной работы была задача верификации принятых математических моделей.

Научная новизна. Для эстуариев Республики Сьерра-Леоне впервые:

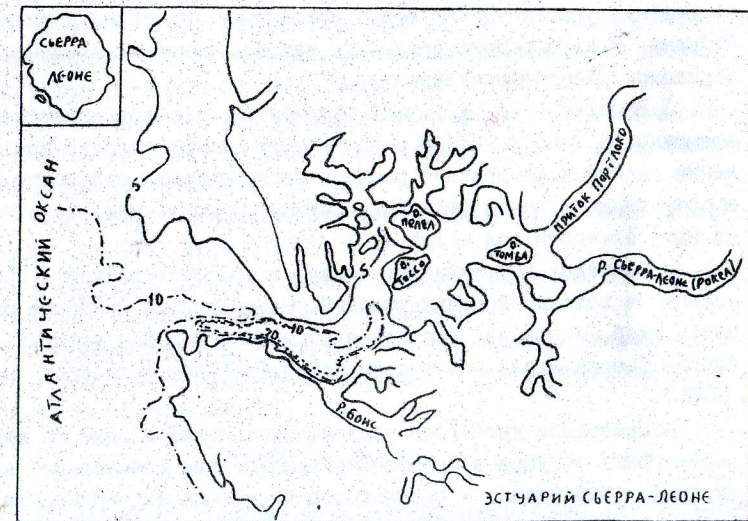


Рис. 1. Карта-схема гидрографической сети Сьерра-Леоне

1. Собраны и систематизированы данные наблюдений по гидрометеорологическому режиму эстуариев рек и их бассейнов, опубликованные в зарубежной литературе; определены морфометрические характеристики и выполнено гидрографическое описание эстуария Сьерра-Леоне и его бассейна, а также других крупных рек исследуемого района; сложный естественный режим формирования полей солёности эстуариев района расчленен на более простые характерные ситуации, позволяющие крайне неустановившийся режим солёности вод представить в виде отдельных состояний солёности вод с учетом сухого и дождливого сезонов, квадратурных и сизигийных приливов, периодов полных и малых вод, то есть в виде картин распределения полей солёности характерных для поверхностного и придонного слоев эстуария.

2. Применительно к состоянию исследований смешения речных и морских вод в устьевых областях рек и к условиям гидрологической изученности полей солёности эстуариев Сьерра-Леоне и факторов их формирующих обоснована и разработана математическая модель расчета полей солёности вод. В основу модели положено решение уравнения Лапласа с граничными условиями Дирихле и Неймана. Задача решена численно, методом конечных элементов в вариационной его формулировке.

3. Выполнена методическая проработка вопросов касающихся возможности использования различных граничных условий при решении задачи и алгоритмов расчета распределения солёности вод в эстуариях с учетом отдельных вариантов получения расчетных данных солёности вод эстуария.

Обоснована корректность задачи и точность расчетов при различном задании краевых условий. Осуществлена проверка математической модели распределения солёности вод для условий эстуария Сьерра-Леоне и эстуария Шебро (а также Аральского моря, СССР).

4. Проведено детальное исследование полей солёности двух характерных эстуариев Сьерра-Леоне на основе совместного анализа данных наблюдений и результатов численных экспериментов. Выполнен статистический анализ точности расчета полей солёности эстуария Сьерра-Леоне при различном сочетании климатических и гидродинамических факторов, определяющих основные черты полей солёности в разных частях эстуария. Выявлен ряд особенностей взаимодействия атлантических и речных вод в эстуариях экватори-

альной Африки. Впервые представлены карты распределения солёности вод эстуария и других его гидрологических характеристик.

5. Разработаны рекомендации по совершенствованию расчета полей солёности вод эстуариев Сьерра-Леоне с целью оценки качества их водных ресурсов, обеспечения морского промысла и других связанных с ним видов хозяйственной деятельности.

Практическая ценность. Полученные в работе результаты обобщения литературных сведений по водным ресурсам территории Сьерра-Леоне, расчета распределения солёности вод и других гидрологических элементов водного режима эстуариев могут иметь важное значение в качестве исходной информации при оценке водных ресурсов эстуариев и их бассейнов, использоваться при организации рыбного промысла, учитываться для определения степени заносимости судоходных морских каналов на различных их участках, при решении других вопросов хозяйственной деятельности связанных уникальными водными объектами - эстуариями.

Апробация результатов. Научные результаты работы докладывались и обсуждались на:

1. Отчетной научной конференции Одесского гидрометеорологического института по итогам научно-исследовательской работы 1985 года, посвященной XXV съезду КПСС (ОГМИ, 1986).

2. Отчетной научной конференции ОГМИ по итогам научно-исследовательской работы 1986 года, посвященной 70-летию Великого Октября (ОГМИ, 1987).

3. П интернациональной научной конференции молодых ученых-выпускников ОГМИ (ОГМИ, 1987).

Публикации. По теме диссертации депонирована одна статья, написанная индивидуально (инв. № 601-ГМ).

Объем диссертации составил 156 страниц, включая список литературы, 29 таблиц, 38 рисунков, 16 страниц приложения и распечатка ЕС-программы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрывается актуальность темы, дается краткая характеристика организации и методики гидрометеорологических наблюдений в республике Сьерра-Леоне, указываются недостатки обусловленные отсутствием единого методического координационного центра по сбору гидрометинформации в республике Сьерра-Леоне, затронут вопрос о публикации сведений по гидрологическому

режиму исследуемого района. Сформулированы цели и задачи работы представляющие практический и теоретический интерес, очерчены задачи, которые желательно решить.

В главе I приводится обоснование основных направлений исследования, дается краткая характеристика состояния исследованного процесса смешения речных и океанских вод в устьевых областях. В ходе традиционного обзора литературных источников показано, что гидрологический режим уникальных географических объектов - эстуариев - изучен неполно, особенно в вопросах, касающихся оценки распределения солености вод недостаточно освещенных наблюдениями эстуариях. Отдельно рассмотрены используемые при этом численные модели, обсуждаются их достоинства и недостатки, обращается внимание на успешное применение в последние годы метода конечных элементов, и в частности вариационной его формулировки. В последней части главы приводятся краткие сведения о публикациях натурных наблюдений в эстуарии Сьерра-Леоне, выделяются наблюдения в период с мая 1953 года по июнь 1955 года на восьми гидрологических станциях расположенных вдоль судоходного канала. На этой основе уточняются задачи исследования.

В главе 2 дана краткая физико-географическая характеристика района исследования. В первой части этой главы приводятся самые общие сведения о климате. На конкретных примерах рассмотрено изменение температуры воздуха. Показано, что осадки в течение года распределяются крайне неравномерно, например, на июль и август в 1954 году приходится 54% годовой суммы осадков, а годовая сумма осадков на территории Сьерра-Леоне колеблется в пределах 2000-4000 мм, с высотой местности осадки в отдельных случаях (например, Хилл станция) возрастают до 4426 мм. Для этого района характерны северо-восточные пассаты, на побережье имеющие название "Харматан", и юго-западные муссоны, незначительный по величине ветер, но порывистый в период дождей.

Во второй части главы приводится общая характеристика режима год Атлантического океана у побережья Сьерра-Леоне, частично формирующей соленость вод эстуариев. Рассмотрены сизигийные и квадратурные приливы, имеющие здесь полусуточный характер: квадратурные приливы дают колебания уровня от 0.4 до 4.6 м, а сизигийные - от 0.6 до 5.3 м. Приведена карта средних векторов поверхностных течений, полученная из литературных источни-

ков. Показано, что температура прибрежных атлантических вод колеблется в пределах 26-29° С, а среднегодовая соленость поверхностных вод на шельфе от 24,8‰ до 32,9‰. Наибольшая соленость на шельфе 35,3‰ наблюдается в слое 50-100 м. Сезонные колебания солености в устье эстуария велики: от 22‰ в дождливом сезоне до 35‰, в сухом сезоне. Приведены максимальные и минимальные значения солености поверхностных и придонных вод эстуария на восьми гидрологических станциях.

В главе 3 более полно рассмотрена изученность водных ресурсов государства Сьерра-Леоне и эстуария реки Сьерра-Леоне.

Приведены гидрографические характеристики главных рек Сьерра-Леоне, ранее не публикуемые (табл. I.).

Таблица I
Гидрографические характеристики главных рек
Сьерра-Леоне

Название реки	Длина, км	Площадь водосбора, км ²	Средний годовой слой осадков, мм	Средний годовой сток, мм	Коэффициент стока
Коленте	225	8008	2963	2470	0.83
Каба	396	17966	2907	2143	0.74
Сьерра-Леоне	396	10161	2850	2133	0.75
Джонг	213	7140	2990	1845	0.62
Сева	320	19248	2696	1768	0.66
Моа	280	21667	2608	1707	0.65

Главный водный объект исследования - эстуарий Сьерра-Леоне имеет весьма сложные береговые чертания вытянутые в широтном направлении, с бесчисленными большими и малыми береговыми притоками. Длина эстуария по тальвегу 42 км, ширина изменяется от 18 км в устье до 0.6 км в его вершине, при средней ширине 10 км. Устьевой бар отсутствует. Северный берег более отмельный. Изабаты имеют сложный характер, наибольшие глубины сосредоточены вдоль южного берега эстуария, а превышающие 20 м примыкают к морскому каналу или проходят по нему.

Здесь же рассмотрены особенности гидрологического режима: в периоды полной воды у океанской границы эстуария уровень воды колеблется от 2.1 до 3.1 м, тогда как в периоды малой воды

от 0.1 до 1.0 м. Сведения о колебаниях уровня воды обусловленные увеличением водности рек отсутствуют. Показано, что циркуляция вод в эстуарии имеет свои особенности, а приливные скорости достигают наибольшей величины - 2.5 м/с. В сухом сезоне в сизигии приливные скорости изменяются от 0.5 до 0.7 м/с, в квадратуре приливные скорости изменяются от 0.3 м/с во время прилива, до 0.5 м/с во время отлива. Приливная волна распространяется вглубь устьевой области на 77 км.

Термический режим вод эстуария внутри года существенно не меняется, о чем свидетельствуют приведенные в диссертации таблицы и рисунки.

Изменчивость солености, напротив, имеет четко выраженный сезонный ход и сильно зависит от приливных условий в эстуарии. Детальный анализ изменчивости солености по имеющимся материалам наблюдений позволил выявить преобладание тех или иных факторов в различные периоды времени года в поверхностном и придонном слоях эстуария.

Выделены основные периоды - сухой и дождливый сезоны, а с учетом полных и малых вод приливов: период сизигии сухого сезона (полная и малая вода); период квадратуры сухого сезона (полная и малая вода); период сизигии дождливого сезона (полная и малая вода); период квадратуры дождливого сезона (полная и малая вода). То есть выделено восемь характерных ситуаций изменчивости солености вод по акватории эстуария, которые в дальнейшем изучены на основе численного моделирования.

В главе 4 рассмотрены основные идеи вариационной формулировки метода конечных элементов, используемого при решении основной задачи диссертации - расчета поля солености эстуариев Сьерра-Леоне на основе интерполяционного уравнения Лапласа с крайевыми условиями Дирихле и Неймана. Уравнение Лапласа для произвольной области G имеет вид

$$\frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

На части границы Γ области определения солености S граничные условия Дирихле записаны так

$$S = S_{ox}(\Gamma) \quad \text{при } X = 0 \quad (2)$$

$$S = S_{oy}(\Gamma) \quad \text{при } Y = 0$$

а на остальной части границы должны выполняться условия Неймана

$$\frac{\partial S}{\partial y} = 0 \quad \text{при } X = \Gamma \quad (3)$$

где G представляет собой ограниченную плоскую область X, Y , а Γ - ее границу. Решение $S(x, y)$ удовлетворяющее (1) - (3) совпадает с функцией, которая минимизирует функционал

$$\chi = \frac{1}{2} \iint_G \left[\left(\frac{\partial \hat{S}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \hat{S}}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy \quad (4)$$

здесь $\hat{S}(x, y)$ - функция из допустимого множества пробных функций, заданных в G .

В вариационном исчислении вместо определяющего уравнения (1) используется эквивалентная вариационная формулировка (4). В работе на конкретном примере детально рассмотрено нахождение пробной функции, удовлетворяющей граничным условиям (2), (3), обсуждается триангуляция исследуемой области, получение ленточной матрицы и решение системы алгебраических уравнений. Приведена блок-схема решения системы уравнений и приложена рабочая программа. Анализируются результаты численных экспериментов, касающиеся расчета поля солености вод эстуария Сьерра-Леоне, обосновывается шаг по пространству, форма расчетной сетки, корректность решения задачи.

Приводится всесторонняя проверка полученных результатов. Коэффициент корреляции сходимости рассчитанных и наблюдавшихся значений солености в характерных восьми станциях для эстуария Сьерра-Леоне превышает 0.80. Примеры результатов иллюстрируются рисунками (рис. 2).

Отдельно обсуждаются результаты проверки математической модели на примере Аральского моря, а также результаты диагностических расчетов распределения солености в эстуарии реки Шейро для сухого и дождливого сезонов с использованием вспомогательной аналитической модели распределения солености вдоль главного потока солей эстуария.

В заключении изложены результаты работы и наиболее важные выводы.

1. Сбор, систематизация и анализ данных наблюдений по гидрологическому режиму эстуариев республики Сьерра-Леоне, приведенные преимущественно в зарубежных литературных источниках, позволили установить, что поля солености эстуариев исследуемого рай-

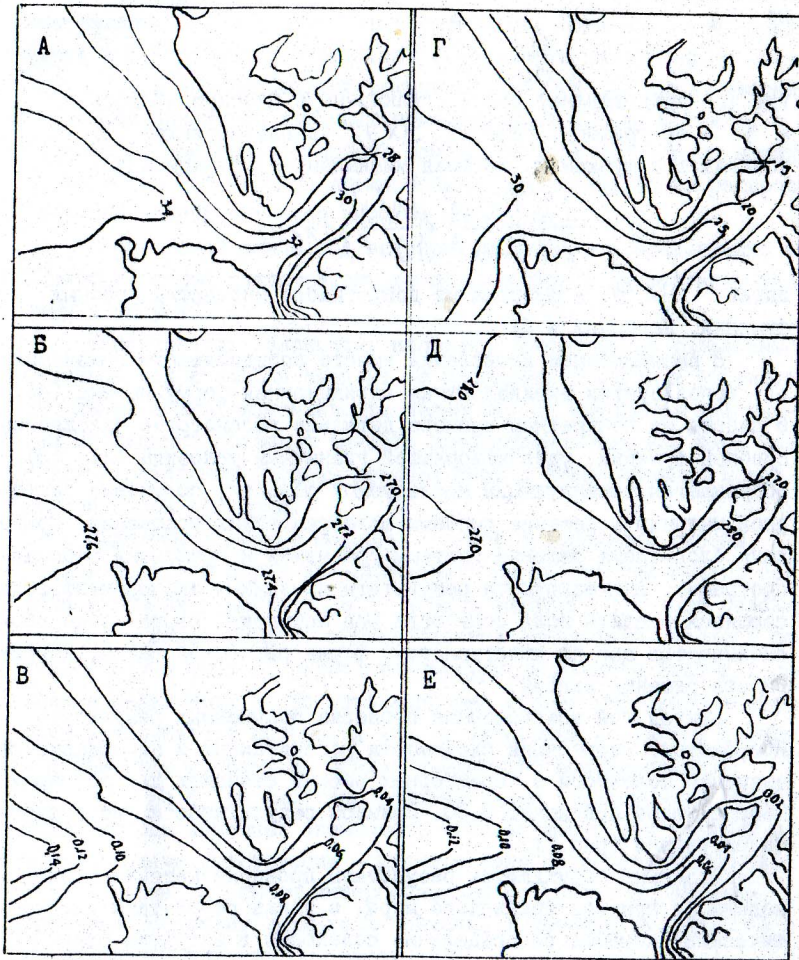


Рис. 2. Распределение некоторых гидрологических характеристик вод на поверхности эстуария Сьерра-Леоне в сухом и дождливом сезонах

Сухой сезон: соленость - А, температура - Б, плотностное течение - В;

Дождливый сезон: соленость - Г, температура - Д, плотностное течение - Е.

она возможно подвергнуть анализу с учетом климатических особенностей района - дождливого и сухого сезонов, а в них - с учетом динамических факторов влияющих на механизм взаимодействия речных и морских вод - следует принимать во внимание характерные периоды полной и малой воды сизигийных и квадратурных приливов. Натурные данные наблюдений над соленостью имеются только по эстуарию Сьерра-Леоне, при численных экспериментах следует учитывать (и учтена) двухслойная стратификация вод этого эстуария. На его гидрологический режим оказывают влияние приток отток вод из обширных низинных болот северной прибрежной зоны эстуария и приток вод из реки Бонс, непосредственно впадающей в эстуарий Сьерра-Леоне.

2. В диссертации разработано два метода расчета полей солености вод в эстуариях: при наличии прямых данных натурных наблюдений (эстуарий Сьерра-Леоне) и при их отсутствии (эстуарий Шебро).

Исходными данными во втором случае являются климатические значения солености прибрежных океанских вод и расчетное распределение солености вод вдоль тальвега (морского канала, бороздины) эстуария на основе аналитической модели. Расчетные поля солености вод эстуария Шебро в этом случае носят диагностический смысл, поэтому детально не анализировались.

В первом и втором случаях оценки сильно сглаженных по времени полей солености осуществлялись на основе интерполяционной математической модели, полученной путем решения уравнения Лапласа методом конечных элементов в вариационной его формулировке. По разработанному алгоритму решения задачи Дирихле написана программа на языке Фортран; для решения системы алгебраических уравнений использована стандартная подпрограмма математического обеспечения ЭВМ ЕС-1022.

Исходными материалами для исследования полей солености эстуария Сьерра-Леоне послужили наблюдения над соленостью в периоды полной и малой вод в сизигиях и квадратурах в сухом и дождливом сезонах.

3. Методическая проработка вопросов, касающихся возможности использования однородного уравнения Лапласа для расчета полей солености в эстуариях при различных вариантах краевых условий показала, что положительные результаты достигаются при следующих граничных условиях:

а) при граничных условиях Дирихле задаваемых вдоль определяющего (главного, ведущего) потока интрузии соленых океанских вод и в устье эстуария, на остальной части границы сеточной области расчета должны быть заданы условия Неймана;

б) при заданных граничных условиях Дирихле в устье и на боковых границах, в верхней части эстуария должны выполняться условия Неймана.

Условия Неймана, при решении задачи оценки полей солености в эстуариях на основе уравнения Лапласа обеспечиваются автоматически, являются естественными вследствие вариационной формулировки метода конечных элементов; значения солености на внешних границах области определения, из-за особенностей расчета, не должны принимать нулевых значений.

При решении задачи использовались и другие методические подходы: изменялся шаг расчетной сетки, задавались другие физические обоснованные краевые условия. Оптимальный шаг расчетной сетки равен $\Delta X = \Delta Y = 2 \cdot 10^5$ см, время счета одного варианта оценки поля солености при этом равно 15 мин. Уменьшение размера шага ведет к возрастанию затрат машинного времени без улучшения точности расчета по сравнению с точностью измерения солености в натуральных условиях (0, 01%).

4. Результаты численных экспериментов при оценке полей солености вод поверхностного слоя в эстуарии Сьерра-Леоне позволили установить общий согласованный ход изогалин в эстуарии в сухом и дождливом сезонах года и в характерные периоды внутри этих сезонов: соленость уменьшается вверх по эстуарию в пределах от 3% на океанской его границе, до 10% в верхней части эстуария, в районе острова Пепел. При этом в периоды сизигий сухого сезона соленость на полной воде на 3% выше, чем на малой воде. Во время квадратурных приливов соленость на океанской границе 34%, а в районе о. Пепел - 26%. В периоды сизигий дождливого сезона амплитуда колебания солености в верхней части эстуария увеличивается до 5%, а соленость на малой воде тоже на 5% меньше солености на полной воде. Обычно градиенты солености по продольной оси эстуария в дождливый сезон больше, чем в сухой. Характерным является возрастание градиентов солености в верхней части эстуария по сравнению с океанской частью. Граница раздела водных масс эстуария по этому показателю пролегает в районе 15-18 км выше морского порта Фритаун.

Расчет распределения солености вод в придонном слое эстуария отчасти носит потенциальный смысл, из-за незначительной доли площади эстуария, ограниченной 20-ти метровой изобатой - это в основном, акватория, примыгающая к морскому каналу. Тем не менее удалось установить, что в сухой сезон воды эстуария в его вершине менее соленые, чем в дождливый. В районе о. Пепел, в месте загрузки океанских судов железной рудой, соленость придонных вод в сухой сезон 26%. Это соответствует гомохалинным условиям распределения солености по вертикали. В дождливый сезон в этой же части эстуария соленость 31%; толща эстуарных вод оказывается существенно стратифицированной. Это одно из противоречий взаимодействия речных и океанских вод в эстуарии. Суть этого явления заключается в том, что при более интенсивном выносе солей со стоковым течением в океан, в установившихся условиях возрастает и приток солей с океанскими водами в придонных слоях, однако при этом происходит заглубление галоклина и слой океанской водной массы становится тоньше.

Изменчивость солености вод поверхностного слоя больше придонного: средние коэффициенты вариаций соответственно равны 0.61 и 0.46. Это общее соотношение нарушается только в средней части эстуария.

5. Анализ ошибок расчета солености вод эстуария Сьерра-Леоне показал, что средняя ошибка для поверхностного и придонного слоев не выходит за пределы 10% (0.6%), уменьшаясь от наибольших значений - 13% (0.7%) на океанской границе до 5-7% (0.3-0.4%) в верхней (речной) части эстуария. Предполагая гауссовское распределение ошибок расчета, следовательно и правомерность приложения "закона трех сигм", определено, что в устье эстуария максимально возможные ошибки не превышают +39% (1.8%), в его вершине +20% (1.2%). По данным сравнения натуральных значений солености в поверхностном и придонном слоях и рассчитанных методом конечных элементов на основе уравнения Лапласа наибольшие ошибки соответственно равны 34% (1.7%) и 32% (0.7%).

Расчитанные поля солености воды сухого сезона имеют среднюю ошибку 6,6% (0.5%), дождливого 9,7% (0.6%). Анализ вероятностных характеристик ошибок расчета показал, что в сезон дождей установившиеся картины распределения солености вод в эстуарии Сьерра-Леоне характерных периодов нарушаются относительно

но чаще, чем в сухой сезон.

Проверка предложенной численной математической модели на примере Аральского моря выявила возможные наибольшие ошибки в размере 39%, что, вероятно, является следствием существенно меньшей (на порядок) изменчивости солености в отдельных точках моря (максимум 1.13%).

6. Полученные результаты распределения солености вод в эстуарии Сьерра-Леоне и Шебро могут быть использованы для обслуживания рыбного или другого морского промысла, при хозяйственных оценках ресурсов эстуариев и др. случаях. Расчеты методом конечных элементов рекомендуется выполнять с учетом полученных в ходе исследования методических результатов, учитывающих и необходимую точность расчета (с учетом точности исходных данных) и экономическую целесообразность, включающую время счета на ЭВМ и оперативную актуальность получения сведений о распределении солености вод в эстуариях.

Дальнейшее совершенствование принятого в диссертации направления исследования полей солености в эстуариях возможно на основе решения неоднородного уравнения Лапласа с граничными условиями Дирихле, Неймана, Коши - в зависимости от наличия данных натурных наблюдений или возможностей их получения прямыми наблюдениями или расчетом.

7. В работе показано, что предложенный способ расчета применим и для оценки изменчивости неконсервативных гидродинамических характеристик водных ресурсов эстуариев (например, поля температуры).

R. G. Jahn