

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА И ОКЕАНОГРАФИИ

На правах рукописи

УДК 556.54:551.468(265.5:282.257)

ГОРИН СЕРГЕЙ ЛЬВОВИЧ

ГИДРОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЭСТУАРИЯХ
КАМЧАТКИ

Специальность 25.00.27 — Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
доктор географических наук,
профессор Михайлов В.Н.

Москва — 2009

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Глава 1. Эстуарий, устьевая область реки, устьевые процессы. Теоретические основы исследования	
1.1. Современные представления об эстуариях	9
1.2. Устьевая область реки и место в ней эстуария	19
1.3. Устьевые процессы	28
1.4. Выводы	32
Глава 2. Гидролого-морфологические процессы в эстуарии р. Большой	
2.1. Общие сведения об эстуарии	34
2.2. Исходные материалы	35
2.3. Физико-географические условия в районе эстуария	44
2.4. Морфологические процессы	59
2.5. Гидрологические процессы	70
2.6. Выводы	87
Глава 3. Гидролого-морфологические процессы в эстуарии р. Большой Вилюй	
3.1. Общие сведения об эстуарии	88
3.2. Исходные материалы	89
3.3. Физико-географические условия в районе эстуария	90
3.4. Морфологические процессы	99
3.5. Гидрологические процессы	101
3.6. Выводы	121
Глава 4. Общие черты гидролого-морфологических процессов в других эстуариях Камчатки	
4.1. Эстуарий р. Камчатки	123
4.2. Эстуарии западного побережья Камчатки	136
4.3. Эстуарии восточного побережья Камчатки	140
4.4. Эстуарии северо-западного побережья Камчатки	143
4.5. Выводы	145

Глава 5. Типизация эстуариев Камчатки		
	5.1. Общие принципы и содержание типизации	146
	5.2. Распространение эстуариев различных типов на Камчатке	155
	5.3. Количественная характеристика гидрологических процессов в лагунных эстуариях Камчатки	157
	5.4. Гидроэкологические аспекты типизации эстуариев Камчатки	160
	5.5. Выводы	170
Заключение		171
Список литературы		178
Список сокращений		193

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. В абсолютном большинстве устьев рек Камчатки имеются особые водные объекты — эстуарии, значение которых для этого региона трудно переоценить. Во-первых, гидролого-экологические условия в эстуариях лимитируют численность проходных лососеобразных рыб, составляющих основу речных экосистем полуострова и являющихся важнейшим объектом рыбного промысла. Во-вторых, из-за сплошной заболоченности или сильной расчлененности побережья Камчатки, очень часто лишь берега эстуариев пригодны для размещения объектов прибрежной инфраструктуры: портов, рыбоперерабатывающих предприятий и жилых поселков. По этой причине эффективное освоение и использование природных ресурсов полуострова невозможно без знания главных закономерностей протекающих в эстуариях гидролого-морфологических процессов (прежде всего, динамического взаимодействия и смешения водных масс, формирования и переформирования дна и берегов водных объектов).

Изученность эстуариев Камчатки. К настоящему времени в крае более или менее исследован только эстуарий р. Камчатки, в котором усилиями Камчатской экспедиции Ф.П. Рябушинского, ИО РАН, ДВНИГМИ и КамчатНИРО в разное время проводились гидрологические и геоморфологические изыскания [Лебедев, 1919; Мамаева, 1959; Лобанова, 1989; Куренков, 2005]. Однако результаты этих работ до сих пор не обобщены. Что же касается других эстуариев Камчатки, то лишь о немногих из них есть самые общие сведения, собранные сотрудниками КамчатНИРО и опубликованные в двух сводных монографиях по озерам края [Куренков, 2005; Бугаев, Кириченко, 2008]. То есть уровень гидролого-морфологической изученности эстуариев Камчатки пока не соответствует их высокой значимости для края. То же самое можно сказать и в отношении всего Тихоокеанского побережья России, в пределах которого исследовано лишь несколько лагунных эстуариев северо-западного берега Охотского моря и о-ва Сахалин (в первом случае, благодаря работам ГОИНа [Забелина, 1961; Кравцов, 1979, 1980], во втором — благодаря исследованиям МГУ, ДВГУ, ИБМ ДВО РАН и СахНИРО [Озера..., 1964; Бровко, 1990; Бровко и др., 2002; Кафанов и др., 2003]).

Цель настоящей работы заключается в выявлении основных закономерностей гидролого-морфологических процессов в эстуариях Камчатки.

Для достижения этой цели потребовалось поставить и решить следующие задачи: 1) организовать и провести полевые исследования в нескольких типичных эстуариях Камчатки; 2) на основе полученных сведений выявить основные закономерности гидролого-морфологических процессов в исследованных объектах; 3) собрать и проанализировать литературные и архивные сведения о других эстуариях полуострова; 4) обобщить полученные результаты в виде типизации эстуариев Камчатки.

Исходные материалы. Диссертация основана на данных собственных полевых наблюдений, выполненных в 2002–2007 гг. Помимо этого, в работе использовались материалы из различных архивных и литературных источников, собранных автором в организациях Москвы (ВНИРО, МГУ), Санкт-Петербурга (ГГИ, РГО, ГУНиО МО РФ) и Камчатского края (Государственный архив области, областная научная библиотека им. С.П. Крашенинникова, Камчатское УГМС, ИВиС ДВО РАН, Камчатгипрорыбпром и КамчатНИРО).

Личный вклад автора. Все полевые работы проводились под руководством и при непосредственном участии автора диссертации. Им же выполнены последующие обработка и анализ первичных данных.

Методы исследований. Полевые исследования на водных объектах выполнялись в соответствии с принятыми в гидрометслужбе методиками работ в приливных устьях рек [Руководство..., 1972]. Пространственно-временная изменчивость уровня воды исследовалась с помощью семи поплавковых и гидростатических самописцев уровня. Изменчивость температуры, солености, рН воды и содержания растворенного кислорода, изучалась посредством многосерийных и разовых станций, разрезов и съемок, выполнявшихся с использованием гидрологических зондов YSI и Hydrolab. Скорость и направление течения воды измерялась механической вертушкой с магнитным компасом. Промеры глубин выполнялись эхолотом Garmin. Берега обследовались с помощью зачисток, шурфов, маршрутных наблюдений и нивелирования отдельных форм берегового рельефа. При анализе полевых данных широко применялись различные картографические, аэрокосмиче-

ские, геоинформационные, статистические и эмпирические методы, а также метод географического описания. На обобщающем этапе работы использовался сравнительно-географический метод и метод гидролого-географических обобщений.

На защиту выносятся: 1. Выявленные закономерности гидролого-морфологических процессов в эстуарии крупной реки с преобладающим влиянием речных факторов (на примере эстуария р. Большой, Западная Камчатка). 2. Выявленные закономерности гидролого-морфологических процессов в эстуарии малой реки с преобладающим влиянием морских факторов (на примере эстуария р. Большой Вилюй, Восточная Камчатка). 3. Типизация эстуариев Камчатки по особенностям гидролого-морфологических процессов.

Достоверность и обоснованность результатов работы основываются на большом количестве использованных в ней материалов (как полевых, так и литературных), а также на применении современных методов сбора, обработки и анализа исходной информации.

Научная новизна работы состоит в том, что на основе детальных полевых работ в двух эстуариях Камчатки и анализа литературных данных по нескольким аналогичным объектам впервые выявлены закономерности гидролого-морфологических процессов в приливных эстуариях лагунного типа.

Практическая значимость работы. Отдельные части исследования были использованы в научно-практической работе таких организаций, как ВНИРО, КамчатНИРО, проект ПРООН–ГЭФ «Сохранение биоразнообразия лососевых Камчатки и их устойчивое использование», а также Всемирный фонд охраны дикой природы. Отчет о результатах исследований был предоставлен Камчатскому УГМС. Часть результатов работы, касающаяся безопасности жилых строений на берегах эстуария р. Большой, была доведена до сведения администрации Камчатского края и опубликована в газетах «Камчатское время» [№39, 2006] и «Рыбак Камчатки» [№21, 2009], а также на Интернет-ресурсе «Рыба Камчатского края». Некоторые выводы диссертации были учтены Камчатрыбводом при организации деятельности лососевых рыбопроизводных заводов.

Апробация результатов работы. Отдельные результаты диссертационной работы представлялись на конференции «Современное состояние водных биоресурсов» (Владивосток, ТИНРО-центр, 2008), XXI пленарном совещании межвузовского совета по проблемам эрозионных, русловых и устьевых процессов (Чебоксары, 2006), международных научных конференциях «Водная экология на заре XXI века» (Санкт-Петербург, ЗИН РАН, 2005) и «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей» (VII и VIII конференции, Петропавловск-Камчатский, КФ ТИГ ДВО РАН, 2006 и 2008), VI научной конференции «Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей» (Москва, ИВП РАН, 2004), а также на международных симпозиумах «Эстуарные экосистемы: структура, функционирование и управление» (Светлогорск, ECSA–42, 2007) и «Превентивные геотехнические меры по уменьшению природных и техногенных бедствий» (Южно-Сахалинск, КГС, 2007). Кроме этого, результаты работы докладывались на семинаре кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ.

Публикации. Итоги исследований изложены в 2 статьях (обе в рецензируемом журнале по перечню ВАК) и 11 тезисах докладов.

Благодарности. Большая часть исследований проводилась по научным программам ВНИРО и КамчатНИРО, часть по проекту ПРООН–ГЭФ «Сохранение биоразнообразия лососевых Камчатки и их устойчивое использование», а также по грантам РФФИ (07–05–00406 и 08–05–00305) и Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (НШ–4964.2008.5). Автор получал ценные советы и консультации от сотрудников кафедр гидрологии суши, океанологии, геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ, а также от сотрудников лаборатории воспроизводства лососевых рыб ВНИРО. При организации и проведении полевых работ огромную помощь оказали сотрудники ВНИРО, ГОИНа, КамчатНИРО, Вилюйского ЛРЗ и ИВиС ДВО РАН. В процессе сбора архивных данных была неоценима поддержка сотрудников ИИЕТ РАН, Камчатского УГМС, архивов Русского географического общества и ГУНиО МО РФ. Автор выражает свою глубочайшую признательность всем лицам и организациям, способствовавшим выполнению данной работы.

Особую благодарность автор выражает Е.А. Гориной, В.Н. Леману (ВНИРО), В.Н. Михайлову и Н.Л. Фроловой (МГУ), а также своему надежному товарищу во всех экспедициях А.А. Попрядухину (МГУ).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы. Работа изложена на 193 страницах, содержит 21 таблицу и 47 рисунков. Список литературы включает 193 наименования (из них 26 на иностранных языках).

В начале диссертации обсуждаются теоретические положения, лежащие в основе исследования. Затем на основе собственных полевых данных подробно описываются гидролого-морфологические процессы в двух отличающихся друг от друга эстуариях Камчатки. После этого дается общая характеристика гидролого-морфологических процессов в других эстуариях Камчатки. На завершающем этапе работы результаты исследований в отдельных объектах обобщаются в виде региональной типизации эстуариев.

При работе над диссертацией использованы теоретические разработки в области гидрологии устьев рек и геоморфологии морских берегов, принадлежащие как российским ученым — И.В. Самойлову, С.С. Байдину, В.Н. Михайлову, Ю.В. Лупачеву, В.Ф. Полонскому, Н.И. Алексеевскому, В.Н. Коротяеву, В.С. Антонову, В.В. Иванову, А.П. Граевскому, В.П. Зенковичу, О.К. Леонтьеву, П.А. Каплину, С.А. Лукьяновой, Л.Г. Никифорову, Г.А. Сафьянову, П.Ф. Бровко и др., так и зарубежным исследователям — Д. Притчарду, Б. Кетчаму, К. Дайеру, Дж. Даю, Ч. Оффисеру, Ю. Одуму и др.

ГЛАВА 1. ЭСТУАРИЙ, УСТЬЕВАЯ ОБЛАСТЬ РЕКИ, УСТЬЕВЫЕ ПРОЦЕССЫ. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель первой главы состоит в критическом анализе современных представлений о предмете (гидролого-морфологические процессы) и объекте (эстуарий реки) диссертационного исследования.

1.1. Современные представления об эстуариях

Термин «эстуарий» широко распространен в научной литературе — им активно пользуются гидрологи, геоморфологи, биологи и экологи как у нас в стране, так и за рубежом. Для диссертационной работы обсуждаемое понятие имеет первостепенную важность, поэтому автор постарался разобраться в многочисленных и противоречивых трактовках этого термина и сформулировать свою позицию по рассматриваемой проблеме. В связи с этим, в первом параграфе обсуждены вопросы соотношения понятий «эстуарий» и «устьевая область реки», приводятся сведения о самых известных классификациях эстуариев, раскрывающих важнейшие свойства исследуемых объектов. Основой для этого параграфа послужила статья [Михайлов и др., 2009], одним из авторов которой был диссертант.

1.1.1. Происхождение и разные трактовки термина «эстуарий»

«Эстуарий» происходит от латинского понятия *aestus* – кипение, волнение, прилив или *aestuo* – кипеть, бурлить. Согласно И.В. Самойлову [1952, с. 9], термин «эстуарий» впервые стали применять римляне, видевшие бурные приливные течения в устьях рек Галлии и Британских островов.

Термин «эстуарий» давно используется в научном обиходе, но до сих пор нет единства в его понимании. В современной географии существует большое количество его определений (по подсчетам К. Дайера — около 40 [Dyer, 1973]), которые условно разделяются на две группы. К первой относятся определения, в которых главным признаком эстуария является его форма, в плане напоминающая раструб или воронку; при этом всегда, прямо или косвенно, указывается на принадлежность эстуария к устью реки («...расширяющееся к морю устье реки» [Большая Советская..., 1978; Словарь..., 1975; Чеботарев, 1978], «...непосредственно примыкающий к морю

участок реки, где происходит резкое изменение ширины русла» [Larras, 1964] и т.п.). К этой же группе можно отнести и определения, в которых помимо главного (морфологического) признака вводится признак гидрологический — подверженность эстуариев воздействию приливов. В последнем случае под эстуарием понимается или воронкообразное устье реки, подверженное влиянию приливов [Важнов, 1976; Мак-Доуэл, О'Коннор, 1983; Океанология, 1973], или воронкообразный залив, преобразованный воздействием волнового, речного и приливного факторов [Рычагов, 2006; Щукин, 1980]. В определениях второй группы под эстуарием понимается полузамкнутый водоем в береговой зоне, сообщающийся с морем и характеризующийся смешением пресных вод суши и соленых вод моря. Первая трактовка более распространена в отечественной литературе, а вторая — в зарубежной.

1.1.2. Классическое определение эстуария

Трактовку термина «эстуарий», наиболее близкую к принятой большинством современных исследователей, впервые предложил в 1951 г. Б.Х. Кетчам: *«эстуарий — это водоем, в котором речная вода смешивается с морской и до некоторой степени ее разбавляет»* [Ketchum 1983, 1951]. Это определение оказалось слишком широким и давало возможность относить к эстуариям любые объекты, в которых морская вода разбавляется пресной. Так, подобный подход позволил Дж. Талли и Ф. Барберу в 1961 г. посчитать эстуарием даже северную часть Тихого океана (цитата по [Schubel, Pritchard, 1990]). Тенденция распространения понятия «эстуарий» на любые водные объекты, где смешиваются разные по своим характеристикам водные массы, проявилась и тогда, когда Э. Хендердорф предложил называть эстуариями заливы в Великих озерах [Dyer, 1990]. Это предложение было справедливо раскритиковано Дж. Шубелом и Д. Притчардом [Schubel, Pritchard, 1990], которые поставили под сомнение целесообразность пересмотра определения эстуария, данного ранее в работах [Cameron, Pritchard, 1965; Pritchard, 1967; 1952; Schubel, Pritchard, 1971; 1990] и получившего широкое признание. Это определение, предложенное Д. Притчардом еще в середине 1950-х гг. и позже ставшее классическим, следующее: *«эстуарий — это полузамкнутый прибрежный водоем, имеющий свободную связь с открытым морем и в ко-*

тором морская вода заметно разбавляется пресной водой, поступающей вследствие дренажа суши» (русск. перевод [Михайлов, 1997 (1); Одум, 1975; Сафьянов, 1987]).

Определение эстуария, данное Д. Притчардом, подверг некоторой критике Дж. Дай [Day, 1981]. Он отметил, что процесс разбавления морской воды пресной речной (т.е. процесс опреснения) характерен лишь для «нормальных» («классических») эстуариев, в которых соленость воды не может превышать соленость воды в смежных районах моря. В гиперсоленых эстуариях, типичных для ряда устьев рек Африки и Австралии, такого распреснения не наблюдается. Здесь, в условиях малого речного стока и сильного испарения, соленость воды в эстуарии может значительно превышать соленость морской воды. Это замечание Дж. Дая вполне справедливо, тем более что сам Д. Притчард выделял гиперсоленые («обратные») эстуарии в отдельный специфический класс эстуариев. Помимо этого, Дж. Дай отмечает, что слова «свободное сообщение с морем» неоправданно исключают из рассмотрения те эстуарии, которые во время сухого сезона или после штормов отделяются от моря по причине занесения наносами пролива между эстуарием и открытым морем. Учитывая приведенные соображения, Дж. Дай несколько изменил определение Д. Притчарда и дал его в таком виде: *«Эстуарий — это частично замкнутый прибрежный водоем, который либо постоянно, либо периодически открыт в сторону моря и в котором происходит заметное изменение солености воды в результате смешения морской воды с пресной водой, поступающей вследствие дренажа суши»* (пер. В.Н. Михайлова).

Понятие «эстуарий», в том виде, в котором его определил американский ученый Д. Притчард, оказалось очень удачным, так как объединило в себе целый класс водных объектов береговой зоны, в которых вследствие смешения пресных речных и соленых (или солоноватых) морских вод формируются экосистемы со специфическими сообществами гидробионтов. Поэтому такая трактовка термина была принята крупнейшими зарубежными экологами (например, Ю. Одумом [1975]), благодаря которым она широко распространилась в научной среде — ведь интерес к экологическим исследованиям, особенно крупным, у специалистов различных областей знаний все-

гда высок. На данный момент времени определение Д. Притчарда стало доминирующим не только в зарубежной, но и в российской литературе по устьям рек. (Первой крупной отечественной работой по эстуариям, в которой за основу было взято определение Д. Притчарда, была монография Г.А. Сафьянова [1987]).

Недавно появилась тенденция называть эстуарием любой прибрежный водоем, в котором соленость воды заметно отличается от солености воды в смежном открытом море [Estuaries]. Это определение позволяет относить к эстуариям не только прибрежные водные объекты, в которые поступают пресные речные воды, но и любые морские заливы или лагуны, вовсе не получающие речного водного питания и служащие испарителями морской воды. Такое толкование термина «эстуарий», полностью противоречит классическому определению эстуария и по нашему мнению неверно.

1.1.3. Соотношение понятий «эстуарий» и «устьевая область реки»

В большинстве работ, посвященных эстуариям и происходящим в них гидрологическим и морфологическим процессам, указывается на то, что эстуарии — это районы (зоны) взаимодействия рек и морей [Мак-Дуэлл, О'Коннор, 1983; Б.А. Одум, 1975; Сафьянов, 1987; Ketchum 1983, 1951; Officer, 1976; Pritchard, 1967 и др]. Но как заметили Дж. Шубел и Д. Притчард [Schubel, Pritchard, 1990], такое взаимодействие не ограничивается границами собственно эстуария и распространяется за его пределы в реку: так, они указали, что выше вершины эстуария может находиться участок затопленной речной долины или часть самой реки, подверженные влиянию приливных колебаний уровня («приливно-река» (tidal river) по их определению). С другой стороны, за пределами эстуария как полузамкнутого водного объекта находится подверженная опресняющему влиянию речного стока прибрежная зона открытого моря. Хотя эта зона уже не является эстуарием, в ней также происходят процессы динамического взаимодействия и смешения речных и морских вод.

В современной отечественной гидрологической литературе всю область активного динамического взаимодействия и смешения речных и морских вод (включая «приливную реку» и опресняемую рекой часть прибреж-

ной зоны моря) принято называть устьевой областью реки (сокр. УОР) [Михайлов, 1998, 1997; Океанология, 1973; Полонский и др., 1992; Руководство..., 1972; Самойлов, 1952; Экологический..., 1999; Эстуарно-дельтовые..., 2007]. Следовательно, эстуарий — это лишь часть УОР, современное определение которой было дано в работах [Михайлов, 1998, 1997] и будет рассмотрено в следующем параграфе.

1.1.4. Новое определение эстуария

Согласно [Михайлов и др., 2009], в целом удачное определение Д. Притчарда требует некоторых уточнений, что связано с необходимостью вписать понятие «эстуарий» в отечественную концепцию УОР и формирующих ее устьевых процессов. В связи с этим, для корректировки определения эстуария автором диссертации предлагается: 1) указать в определении на принадлежность эстуария к УОР и на его положение в ее пределах; 2) заменить слова «прибрежный водоем» на «систему водных объектов» (в случае принятия первого предложения слово «прибрежный» становится лишним — все объекты УОР являются прибрежными; «водоем» заменяется на «систему водных объектов» поскольку в составе эстуария может быть несколько водоемов, связанных друг с другом водотоками, и в этом смысле предлагаемая формулировка точнее отражает суть явления); 3) исключить упоминание о «заметном изменении солености воды» (с одной стороны, «заметность» — весьма неопределенный критерий, с другой стороны, в определении должно прямо указываться на процесс смешения речных и морских вод, изменение же солености воды в зоне смешения — лишь одно из проявлений этого процесса); 4) использовать термин «водные массы», который вносит в определение эстуария завершенность и ясность. Так, некоторое изменение солености морской воды, обусловленное влиянием речного стока, может наблюдаться и в открытом море (как, например, в Белом [Пантюлин, 1983; Pantyulin, 2003] или Карском [Залогин, Косарев, 1999]). Однако вряд ли можно говорить, что море (или его часть) теряет свой статус и становится «прибрежным водным объектом» — эстуарием, только из-за того, что соленость в нем отличается от солености вод океана или изменяется в течение года.

С учетом высказанных предложений, новое определение эстуария может быть сформулировано в следующем виде: *эстуарий — это полужамкнутая система водных объектов в пределах устьевой области реки, которая хотя бы периодически сообщается с морем, и в которой действуют общие для всей системы процессы смешения речной и морской водных масс.*

1.1.5. Границы эстуария

Нижнюю (морскую) границу эстуария в большинстве случаев определить несложно. В зависимости от морфологического строения конкретного объекта она проходит либо по концам береговых аккумулятивных форм (береговых баров, пересыпей, кос), отделяющих эстуарий от открытого моря; либо по мористому концу эстуарного расширения; либо в самом узком месте пролива, соединяющего эстуарий с открытым морем. Но в некоторых случаях, когда эстуарий находится в вершине большого морского залива, его морская граница практически не определяема (в такой ситуации приходится ограничиваться определением морской границы УОР (см. ниже), а эстуарий считать частью полужамкнутого устьевого взморья).

Верхняя (речная) граница эстуария проходит по устьевому створу впадающей в эстуарий реки. Однако в тех случаях, когда верхняя, наиболее удаленная от моря часть эстуария постепенно сужается в сторону реки, определить верхнюю границу эстуария по морфологическим признакам бывает сложно (например, в эстуариях Жиронды, Сены, Колумбии [Михайлова, 2008; Михайлова, Исупова, 2007; 2006]). В таких случаях верхнюю границу эстуария целесообразно выделять по предельному положению зоны смешения речных и морских вод. В этом вопросе у исследователей пока нет единого мнения — не ясно в какие фазы гидрологического режима реки и приливов следует определять эту границу и какая соленость воды (2, 1 или 0.5‰) должна при этом ограничивать верхнюю границу зоны смешения. По нашему мнению, наиболее целесообразно принять в качестве репрезентативной изогалины 1‰, соответствующую переходу среды от пресноводной к солоноватоводной [Алекин, 1970] или олигогалинной [Одум, 1975]. Определять положение этой изогалины предлагается у дна в межень (например, при мини-

мальном годовом речном расходе воды 90%-ой обеспеченности) в приливную фазу сизигийного прилива (или при нагоне 10%-ой обеспеченности).

1.1.6. Соотношение понятий «эстуарий», «лагуна», «лиман» и «дельта»

Согласно [Экологический..., 1999, с. 344], лагуна — это отчлененная аккумулятивной формой (пересыпью, коралловым рифом, косой) часть океана или моря. Некоторые лагуны находятся в устьях рек и являются эстуариями. (В связи с этим необходимо отметить, что в одновременном отнесении объектов к лагунам и эстуариям нет противоречия, т.к. первое понятие относится к происхождению объекта, а второе — к его гидрологическим особенностям). Но лагуны без впадающих рек — например, на коралловых островах — не могут считаться эстуариями ни при каких обстоятельствах. И наоборот, многие эстуарии по своему происхождению не могут быть отнесены к лагунам — например, эстуарии в затопленных долинах рек, в вершинах морских заливов и т.п.

Лиманом, в соответствии с [Экологический..., 1999, с. 356], называется затопленная в результате повышения уровня моря часть речной долины. Лиман входит в состав УОР и является одним из подтипов эстуариев.

Что же касается дельты и эстуария, то в некоторых устьях рек есть либо одно, либо другое, в других же устьях эти объекты могут образовывать единые комплексы. Комплексы бывают двух типов: дельтово-эстуарный — если главный элемент УОР — эстуарий, а небольшая дельта формируется внутри него или примыкает к его вершине, и эстуарно-дельтовый — в том случае, если главный элемент УОР — дельта, в рукава которой проникают морские воды. В последнем случае эстуарий может рассматриваться как часть дельты, во всех остальных случаях дельта и эстуарий — разные объекты.

1.1.7. Существующие классификации эстуариев

В научной литературе встречается большое количество разнообразных классификаций эстуариев, основанных на разных подходах и нередко противоречащих друг другу. Обычно используют пять принципов подразделения эстуариев на классы или типы [Михайлов, 1997 (1)]: 1) по морфологическим

признакам; 2) по характеру продольного изменения солености воды; 3) по характеру вертикального распределения солености воды; 4) по величине приливных колебаний уровня воды; 5) по характеру циркуляции вод.

Морфологические классификации эстуариев рассматривались в [Одум, 1975; Сафьянов, 1996; 1987; Ketchum, 1983; Officer, 1976; Pritchard, 1967] и наиболее просты. Обобщение этих классификаций позволяет выделить следующие классы эстуариев: 1. Затопленные речные долины, или эстуарии береговых равнин (drowned river valleys, coastal plain estuaries; в отечественной литературе этому классу эстуариев соответствует понятие «лиман» [Щукин, 1980; Экологический..., 1999]). Эстуарии этого класса возникли в результате затопления нижних участков речных долин во время последней (голоценовой) морской трансгрессии. 2. Лагуны-эстуарии (bar-built estuaries, lagoons) — эстуарии, образующиеся в прибрежных водоемах, отчлененных от моря морскими волноприбойными формами (пересыпями, косами, береговыми барами, барьерными островами и т.п.). 3. Фьорды — затопленные глубокие долины ледникового происхождения, которые считаются эстуариями только при наличии впадающих в них рек. 4. Риасы — затопленные речные долины неледникового происхождения в гористых районах (эстуариями следует считать лишь привершинные части риасов и фьордов, в которых под влиянием речного стока формируется зона смешения речных и морских водных масс [Evans, 2003]). 5. Русла рек и дельтовых рукавов, куда проникают морские водные массы.

Начиная с работ [Pritchard, 1967; 1952], многие исследователи [Михайлов, 1997 (1); Day, 1981; Dyer, 1986; 1973] выделяют две группы эстуариев *по характеру продольного изменения солености воды*: «положительные» и «отрицательные» (или «обратные»). В «положительном» («нормальном», «классическом») эстуарии поступление пресной речной воды и атмосферных осадков превышает потери воды на испарение. В этих эстуариях соленость воды меньше солености в смежном районе моря; вдоль эстуария величина солености монотонно уменьшается от его устья к вершине. Во многих случаях (особенно в эстуариях с умеренной или сильной стратификацией вод) в эстуариях этой группы под влиянием горизонтальных градиентов давления возникает

так называемая эстуарная циркуляция, при которой результирующий (осредненный за приливный цикл) поток в поверхностном слое направлен в сторону моря, а в придонном слое — в сторону реки. Большинство эстуариев на Земле «положительные». В «отрицательном» («обратном», гиперсоленом) эстуарии, наоборот, потери воды на испарение превышают суммарный объем речного стока и осадков; в этих эстуариях соленость воды может оказаться значительно больше солености морской воды. В таких случаях в эстуарии формируется зона максимальной солености, которая становится барьером на пути пресных речных вод в море. В ряде эстуариев рек Австралии и Африки в периоды сильной засухи соленость воды в «обратных» эстуариях может повышаться до 100‰ и более, а зона максимальной солености воды распространяться в реку на сотни километров [Михайлов, 1998; Михайлов, Исупова, 2008].

В большинстве работ [Михайлов, 1998; 1997; Одум, 1975; Dyer, 1986; 1973; Guidelines..., 1991; Hansen, Rattray, 1966; Ketchum, 1983; Officer, 1976; Pritchard, 1967; 1952] все эстуарии *по степени вертикального перемешивания и стратификации* подразделяются на: 1) эстуарии со слабым перемешиванием по вертикали, с «клином» осолоненных вод; 2) эстуарии с частичным (умеренным) перемешиванием, с умеренной стратификацией; 3) эстуарии с сильным перемешиванием, со слабой стратификацией. Здесь отметим три важных обстоятельства, касающихся этой классификации: во-первых, разные авторы дают весьма различные названия для упомянутых типов, хотя на описание сути процесса это обычно не влияет; во-вторых, нельзя говорить о безусловном отнесении того или иного эстуария к упомянутым типам, можно лишь отметить преобладание какого-либо конкретного типа в данной эстуарии (типы перемешивания и стратификации могут изменяться как вдоль эстуария, так и во времени — от половодья к межени, в зависимости от фазы прилива и цикла сизигия-квадратура); в третьих, для количественного выделения того или иного типа перемешивания и стратификации применяют разнообразные гидрофизические критерии [Guidelines..., 1991]. Учитывая, что некоторые из этих критериев использованы в диссертации, необходимо сказать о них подробнее. Хорошие результаты при оценке типа смешения реч-

ных и морских вод в эстуариях дает слоевое число Ричирдсона $Ri_L = gh\Delta\rho/V^2\rho_{cp}$, где $\Delta\rho = \rho_m - \rho_p$, $\rho_{cp} = 0.5(\rho_p + \rho_m)$, ρ_m и ρ_p — плотность морской и речной вод в зоне смешения, V — средняя скорость течения в верхнем слое, h — средняя глубина в русле, g — ускорение свободного падения. Условиям полного и частичного перемешивания соответствуют значения $Ri_L < 2$ и $2 < Ri_L < 20$ соответственно. При клине осолоненных вод $Ri_L > 20$ [Dyer, New, 1986]. Ri_L обратно квадрату так называемого плотностного числа Фруда (Fr_p), используемого для расчета дальности проникновения осолоненных вод ($L_s = ah Fr_p^{-b}$, где a и b — эмпирические параметры) и критического расхода воды, при котором осолоненные воды начинают проникать в эстуарий ($Q_{кр} = Bh(gh\Delta\rho/\rho_{cp})^{0.5}$) [Михайлов, 1998]. Формальным признаком типа проникновения осолоненных вод (и типа стратификации в эстуарных водоемах) является параметр стратификации $n = \Delta S/S_{cp}$, где $\Delta S = S_{дно} - S_{пов}$, $S_{cp} = 0.5(S_{дно} + S_{пов})$, $S_{дно}$ и $S_{пов}$ — соленость воды у дна и на поверхности. Согласно [Guidelines..., 1991; Hansen, Rattray, 1966] случаю хорошего перемешивания по вертикали отвечает условие $n < 0.1$, случаю частичного перемешивания — n от 0.1 до 1.0, случаю слабого перемешивания («клин» осолоненных вод или устойчивая стратификация) — условие $n > 1.0$.

По величине приливных колебаний уровня воды все эстуарии подразделяются [Dyer, 1986] на микроприливные (величина прилива ΔH до 2 м), мезоприливные (ΔH от 2 до 4 м), макроприливные ($\Delta H > 4$ м). Иногда среди макроприливных эстуариев выделяют гиперприливные с $\Delta H > 6$ м. Важно заключение К. Дайера [Dyer, 1986] о том, что величина прилива определяет характер перемешивания и стратификации: микроприливным эстуариям обычно свойственно наличие «клина» осолоненных вод, мезоприливным — частичное перемешивание и умеренная стратификация, макроприливным эстуариям — сильное перемешивание и слабая стратификация. На связь формы и ширины устья реки с величиной прилива обращено внимание в [Лупачев, 1984].

Согласно [Officer, 1976], наилучшим образом *характер циркуляции вод* в эстуариях может быть описан с помощью так называемых стратификационно-циркуляционных диаграмм, предложенных Д. Хансеном и М. Раттри

[Hansen, Rattray, 1966]. Эти диаграммы построены на сравнении величин упомянутого выше параметра стратификации n и отношения результирующей (осредненной за приливный цикл) поверхностной скорости течения к осредненной по поперечному сечению эстуария результирующей скорости течения, обусловленной речным стоком. С помощью таких диаграмм можно оценить влияние на циркуляцию вод приливов и речного стока.

Для аналогичной цели применяют также так называемый приливный параметр Х. Симмонса $\alpha = Q\tau/P_t$, где, $Q\tau$ —объем речной воды, поступившей в эстуарий за период τ прилива (Q — средний за это время расход воды реки), а P_t — объем приливной призмы, т.е. воды, входящей в эстуарий в период от малой воды при отливе до полной воды при приливе. Согласно [Guidelines..., 1991; Officer, 1976] степень воздействия приливов на процессы в эстуарии велика, когда $\alpha < 0.1$; случаю «клина» осолоненных вод отвечает величина $\alpha > 1$, частичному перемешиванию — α в пределах от 0.1 до 1.0, хорошему перемешиванию $\alpha < 0.1$.

1.2. Устьевая область реки и место в ней эстуария

Перефразируя известное изречение А.И. Воейкова, можно сказать, что устья рек — это продукт взаимодействия реки и моря. Именно эта мысль лежит в основе базового для российской устьевой науки понятия об устьевой области реки, обсуждению которого посвящен данный параграф.

В целом, в своих представлениях об устьях рек диссертант придерживается взглядов В.Н. Михайлова, изложенных им в работах [1997, 1998]. Вместе с тем, результаты собственных исследований автора диссертации позволили ему предложить некоторые дополнения в существующие теоретические положения.

1.2.1. Определение устьевой области реки

По-видимому, словосочетание «устьевая область реки» впервые употребил санкт-петербургский гидролог В.Н. Лебедев. Таким образом он хотел подчеркнуть специфичность гидрологических и морфологических условий в устье р. Камчатки, которые, как он справедливо считал, связаны с «совместным действием реки и моря» [Лебедев, 1911, с. 38; 1919, с. 416]. Таким образом, уже в начале XX в. в географической науке появилось основополагаю-

щее понятие будущей теории устьев рек. К сожалению, В.Н. Лебедев не почувствовал большой теоретической значимости собственного нововведения и ограничился использованием термина лишь в одном конкретном случае.

В качестве термина, обозначающего особый физико-географический объект, понятие «устьевая область реки» было введено в науку в 1952 г., когда в свет вышла монография И.В. Самойлова [1952]. В ней понятие устьевой области реки было центральным, и ему давалось следующее определение: *«устьевая область крупной реки состоит из части долины нижнего течения, смежного морского побережья и взморья — в пределах пространства, на котором происходят устьевые процессы»* [Самойлов, 1952, с. 33]. В последующие десятилетия в отечественной литературе шло непрерывное усовершенствование определения устьевой области реки (за рубежом полного аналога этого понятия нет), главным образом путем уточнения смысла, вкладываемого в «географический комплекс» этого объекта, границ устьевой области реки и устьевых процессов, определяющих ее формирование [Михайлов, 1997 (1), с. 9]. Последнее по времени и наиболее емкое по содержанию определение устьевой области реки было дано в работе В.Н. Михайлова [1997, с. 16]:

Устьевая область реки (сокр. УОР) — это особый физико-географический объект, охватывающий место впадения реки в приемный водоем (океан, море, озеро); состоящий из части нижнего течения реки — устьевого участка реки, включая дельту, если она имеется, и части прибрежной зоны приемного водоема — устьевого взморья; формирующийся в результате специфических устьевых процессов (динамического взаимодействия, смешения и трансформации водных масс реки и приемного водоема; отложения и переотложения речных и частично морских наносов, приводящих к образованию устьевого конуса выноса, а нередко и дельты); характеризующийся специфическим, часто азональным ландшафтом, переходным от речного к морскому гидрологическим режимом, резким изменением физических, химических и биологических свойств водных масс и повышенной биологической продуктивностью и представляющий собой седиментологиче-

ский, морфологический, геохимический и гидробиологический барьер между рекой и приемным водоемом.

С точки зрения автора диссертации, у приведенного определения есть два недостатка:

- 1) в нем нет места эстуарию (в данном определении эстуарий относится к устьевому взморью, но, как будет показано в следующих главах, эстуарии могут обладать отличающимся от морского гидрологическим режимом и поэтому подобный подход не всегда оправдан);
- 2) в определении ничего не сказано о берегах эстуариев (за исключением дельты, в состав которой они входят). Между тем, процессы переформирования берегов могут приводить к очень существенным изменениям в морфологическом строении всей устьевой области реки и соответствующим изменениям гидрологического режима устьевых водных объектов (как, например, в эстуариях рек Большой и Камчатки, см. гл. 2 и 4).

Эти недостатки легко устранить, включив упоминания о соответствующих объектах в определение УОР. Если в обоснование такого предложения привести примеры эстуариев Камчатки (см. гл. 2–4) или Сахалина и Корякии, то вряд ли это вызовет серьезную критику. Но помимо этого, в определение УОР предлагается внести и некоторые другие, менее значительные, поправки:

- 3) наряду с указанием на специфику гидрологического режима и ландшафтов УОР, указать на особенности ее морфологического строения;
- 4) сократить определение УОР, разбив его на основную часть (с акцентом на системообразующее свойство УОР — взаимодействие речных и морских водных масс) и пояснительную.

С учетом предлагаемых поправок, определение УОР будет выглядеть следующим образом: *устьевая область реки (сокр. УОР, син. «устье реки») — это особый физико-географический объект, сформировавшийся, существующий и развивающийся благодаря процессам взаимодействия речных и морских водных масс между собой, с дном и берегами водных объектов.*

УОР охватывает область впадения реки в приемный водоем (океан, море, озеро) и может состоять из части нижнего течения реки с берегами (под-

верженного воздействию приливов и нагонов устьевого участка реки), эстуария и его берегов, дельты, а также из части прибрежной зоны моря и его берегов (устьевого взморья), находящихся под действием устьевых процессов — прежде всего динамического взаимодействия, смешения и внутримассовой трансформации речных и морских водных масс, отложения и переотложения речных и морских наносов. Взаимодействующие в устьевой области реки водные массы (речная и морская) отличаются друг от друга по своим физическим, химическим и биологическим свойствам. Это предопределяет то, что в сравнении с рекой и морем для водных объектов УОР характерны специфичность их морфологического строения и гидрологического режима; ландшафты в пределах устьевой области реки также обладают рядом специфических свойств и в той или иной степени азональны. Благодаря этому, в пределах УОР могут формироваться особые сообщества живых организмов, отличающиеся по своему составу и трофической структуре от сообществ, характерных для реки и моря. УОР является своеобразным морфологическим, седиментологическим, геохимическим и биологическим барьером между рекой и морем.

Понятие «устье реки», в зависимости от контекста может пониматься в широком и узком смыслах: в первом случае оно является сокращенным вариантом и синонимом понятия «устьевая область реки», во втором случае служит синонимом термина «устьевой створ реки» и обозначает место впадения реки в приемный водоем или в другую реку. Если же термин «устье» не относится к впадающей в приемный водоем реке, то он всегда употребляется в узком смысле: «устье рукава», «устье залива», «устье эстуария». (В двух последних случаях под устьем понимается место выхода из полузакрытой акватории на относительно открытое водное пространство).

1.2.2. Состав устьевой области реки

Хотя в пояснении к новому определению УОР охарактеризован ее состав, имеет смысл вернуться к этому вопросу и обсудить его подробнее. Изначально И.В. Самойловым было предложено трехчленное деление устьевой области реки, при котором выделялись приустьевой участок реки (часть реки, в пределах которой в межень ощущается влияние морских приливов и на-

гонов), устьевой участок реки (дельта или эстуарий или и то и другое вместе) и предустьевое взморье (часть моря, в пределах которой идет аккумуляция речных наносов) [Самойлов, 1952, с. 35]. С 1970-х гг. предпочтение стали отдавать двучленной схеме деления УОР, в соответствии с которой выделялись устьевой участок реки и устьевое взморье [Михайлов, 1997 (1); Океанология, 1973; Руководство..., 1972], при этом дельту относили к речной части УОР, а эстуарий к морской.

Выделение в пределах УОР устьевого участка реки и устьевого взморья сомнений не вызывает, следует только дать их определения. *Устьевой участок реки — это часть нижнего течения реки (вместе с берегами), подверженная влиянию устьевых процессов (прежде всего, динамического взаимодействия речных и морских водных масс).* На устьевом участке реки действие устьевых процессов заметнее всего проявляется в колебаниях уровня воды, связанных с морскими приливами и нагонами. *Устьевое взморье — это прибрежная часть моря (вместе с берегами), находящаяся под заметным влиянием устьевых процессов (прежде всего, смешения речных и морских водных масс, отложения и переотложения речных и морских наносов).* Действие устьевых процессов на устьевом взморье хорошо заметно по величине солености воды, которая здесь меньше, чем в море, а также по наличию аккумулятивных форм рельефа — устьевой косы, подводного продолжения дельты (устьевого шельфа) и т.п. Устьевой участок реки и устьевое взморье с равными основаниями могут рассматриваться и как части устьевой области реки и как части более крупных объектов — реки и моря соответственно. Устьевое взморье есть во всех устьях рек. Что касается устьевого участка реки, то в некоторых устьях возможна ситуация, когда он отсутствует. Во-первых, это бывает в «висячих» устьях, когда небольшая река впадает в море водопадом (довольно распространенное явление на берегах Российского Дальнего Востока [Атлас..., 2002; Каплин, 1962]), а во-вторых, когда влияние моря внутри УОР не распространяется за пределы эстуария или современной дельты.

В двучленной схеме деления УОР очень сложно найти место эстуарию, поскольку в большинстве случаев его нельзя отождествить ни с устьевым участком реки (как это сделано в [Лупачев, 1984]), ни с устьевым взморьем

(даже полузамкнутым, как было предложено в [Михайлов, 1998, 1997; Океанология, 1973]). Например, эстуарий в виде устьевой лагуны или лимана вряд ли можно считать входящей в УОР частью реки или моря. Кроме этого, при делении УОР на две упомянутые части не очень понятно и место дельты — устьевым взморьем она не является по определению, а устьевым участком реки не может считаться хотя бы потому, что включает в себя как сложную систему водотоков с отличным от речного гидрологическим режимом, так и водоемы, некоторые из которых даже не имеют постоянной связи с рукавами дельты. Учитывая вышесказанное, предлагается пересмотреть двучленную схему деления УОР на устьевой участок реки и устьевое взморье и выделять между ними промежуточные объекты — эстуарий, дельту, или их комплексы. Таким образом, в УОР может входить до четырех основных частей: устьевой участок реки, дельта, эстуарий и устьевое взморье.

1.2.3. Классификации устьевых областей рек

И.С. Щукин [1980] делил УОР на три типа: простые, дельты и эстуарии. По нашему мнению, такой подход требует уточнения. Так, эстуарий и дельта — лишь части УОР, поэтому сами по себе не могут быть ее типами. Соответственно, УОР, в которых есть либо одно, либо другое, целесообразно называть эстуарными или дельтовыми. Наряду с этим, во многих устьях рек одновременно находятся и дельта и эстуарий; здесь они образуют сложные комплексы, в которых главным морфологическим элементом может быть как первый, так и второй объекты. Свойства этих комплексов в силу принципа функциональной интеграции — при усложнении структуры возникают дополнительные свойства [Одум, 1975], — должны отличаться от свойств как дельты, так и эстуария. Такие УОР предлагается называть дельтово-эстуарными (в них главный элемент эстуарий, а уже в нем формируется дельта); и эстуарно-дельтовыми (главный элемент в УОР дельта, а эстуарий (или несколько эстуариев) сформировался в ее водотоках или проточных водоемах). Что касается тех УОР, в которых нет ни дельты, ни эстуария, то их вслед за И.С. Щукиным, можно называть простыми. Таким образом, предлагается выделять пять типов УОР (такая схема очень близка к типизации УОР, предложенной В.Н. Михайловым [1997]).

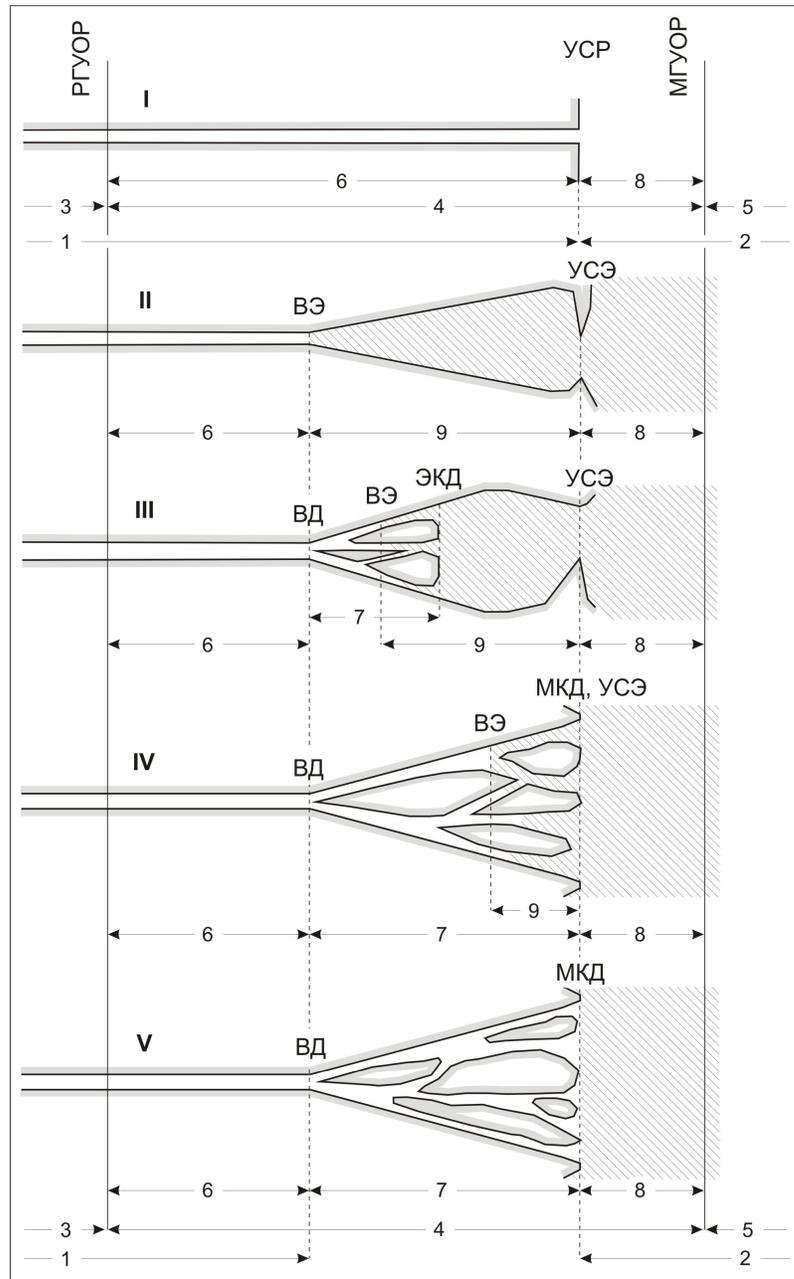


Рис. 1.1. Схема типизации и районирования устьевых областей рек (УОР). Типы УОР: I — простая; II — эстуарная; III — дельтово-эстуарная (с дельтой выполнения); IV — эстуарно-дельтовая (с дельтой выдвижения); V — дельтовая; 1 — река; 2 — море; 3 — приустьевой участок реки; 4 — устьевая область реки; 5 — приустьевой участок моря; 6 — устьевой участок реки (УУР); 7 — дельта (Д); 8 — открытое устьевое взморье (ОУВ); 9 — эстуарий (Э); РГУОР — речная граница УОР; МГУОР — морская граница УОР; ВД — вершина дельты; ВЭ — вершина эстуария; МКД — морской край дельты; ЭКД — эстуарный край дельты; УСЭ — устьевой створ эстуария; УСР — устьевой створ реки. Штриховкой выделена зона смешения речных и морских вод

1.2.4. Границы устьевой области реки

Большую важность имеет вопрос о выделении внутренних и внешних границ УОР. В случае простой УОР внутренняя граница одна, и она проходит по устьевому створу реки. В других случаях внутренние границы УОР совпадают с пределами эстуария, дельты или их комплексов и обычно хорошо выражены морфологически. Вопрос о границах эстуария обсуждался выше; что же касается дельты, то согласно [Михайлов, 1997 (1), с. 53] ее верхняя граница соответствует створу, в котором начинается деление русла реки на дельтовые рукава, переносящие речные воды транзитом в приемный водоем, а нижняя граница дельты проходит по ее внешнему (морскому, озерному или эстуарному) краю.

(Здесь необходимо пояснить понимание автором термина «дельта», так как в российской устьевой науке есть два подхода к ее определению. Первый — В.Н. Михайлова — можно назвать гидрологическим: в этом случае дельтой называется *«сформировавшаяся в результате современных процессов дельтообразования часть устьевой области реки, включающая верхнюю подверженную руслоформирующей деятельности речного потока толщу устьевого конуса выноса реки и надводную аллювиальную сушу, обычно имеющую сложную и динамичную гидрографическую сеть (систему водоемов и водотоков) и специфический ландшафт»* [Михайлов, 1997 (1), с. 25]. Второй подход — геолого-геоморфологический, в соответствии с ним под дельтой понимается *«комплекс субэзральных и субаквальных аллювиальных и береговых аккумулятивных и эрозионных форм рельефа, слагающие их отложения и система взаимосвязанных водотоков с общим узлом разветвления (вершиной дельты), сформированных рекой и морем за определенный исторический интервал времени в пределах устьевого конуса выноса»* [Коротаев, 1991]). Принципиальное различие между двумя определениями заключается в том, что во втором случае в состав дельты включаются отмершая дельта (часть суши, сформированная дельтообразующими процессами в голоцене или даже в плейстоцене и в настоящее время не имеющая в своих пределах действующих дельтовых водотоков), авандельта (часть шельфа, на которой происходит интенсивное осадконакопление) и толща голоценовых дельтовых

отложений. Но отмершая дельта не может включаться в устьевую область реки, так как в ее пределах никаких современных гидрологических процессов, свойственных УОР, не протекает. Авандельту (т.е. дно устьевого взморья) также вряд ли можно включать в состав дельты, поскольку гидрологические процессы (динамическое взаимодействие и смешение водных масс) на открытом устьевом взморье имеют мало общего с гидрологическими процессами в руслах дельтовых рукавов. Поэтому в рамках настоящей работы, геолого-геоморфологический подход к определению дельты и ее границ мало применим. И наоборот, гидрологический подход в этом смысле является оптимальным).

Вернемся к основному вопросу. В определении УОР устьевые процессы рассматриваются как системообразующие, пределы действия которых ограничивают этот объект в пространстве. Согласно [Михайлов, 1998; 1997], внешние границы УОР определяются по проявлениям тех *современных* устьевых процессов (гидрологических или морфологических) которые действуют на большее расстояние от своего источника. Так, за нижнюю (морскую) границу УОР принимается либо граница зоны опреснения морских вод на устьевом взморье, либо внешний край современного устьевого конуса выноса (о последнем писал еще И.В. Самойлов [1952]). При наличии устьевого участка реки в качестве верхней (речной) границы УОР принимается створ, соответствующий максимальной дальности проникновения в реку колебаний уровня воды, связанных с морскими нагонами или приливами. Сложность заключается в том, что пределы действия отдельных процессов непостоянны, поскольку зависят от сочетания многих гидрологических факторов. Чтобы ограничить размеры УОР и придать критериям такого выделения большую определенность, В.Н. Михайлов [1997] предложил ввести некоторые ограничения: внешней границей устьевого взморья считать положение поверхностной изогалины равной 90% средней солености воды в море во время половодья (при расходах воды в реке 10% обеспеченности); за внешнюю границу устьевого участка реки принимать створ, до которого в период летней межени (при расходах воды в реке 90% обеспеченности) доходят колебания уровня, связанные с морскими нагонами 10% обеспеченности. В некоторых случаях

бывает, что колебания уровня приливного происхождения распространяются выше по течению реки, чем нагонные. В этом случае за внешнюю границу устьевого участка реки можно принять створ, до которого в период летней межени (при расходах воды в реке 90% обеспеченности) доходят колебания уровня воды, обусловленные сизигийными приливами в море. Если же в составе УОР нет устьевого участка реки (то есть приливы и нагоны не распространяются дальше вершины дельты или эстуария), то за верхнюю границу УОР принимается вершина дельты или эстуария.

1.3. Устьевые процессы

В параграфе дается определение устьевых процессов (УП), поясняется их сущность и свойства, рассматриваются определяющие их факторы.

1.3.1. Определение устьевых процессов

В данной работе под устьевыми процессами понимается *совокупность гидрологических, морфологических и биологических процессов, связанных с взаимодействием речных и морских водных масс между собой, с атмосферой, дном и берегами водных объектов, благодаря действию которых формируется, существует и развивается экосистема устьевой области реки (ее гидрологический режим, рельеф и сообщества гидробионтов)*. В этом определении отражена как сущность устьевых процессов — взаимодействие первичных (речной и морской) водных масс, так и их результат — специфические гидрологический режим, морфологическое строение и ассоциации сообществ гидробионтов, населяющих УОР. Также в определении отражено то важное обстоятельство, что рельеф УОР (во многом результат действия устьевых процессов) оказывает обратное влияние на устьевые процессы («взаимодействие ... водных масс с дном и берегами...»). При таком подходе, к устьевым гидрологическим процессам относятся:

- 1) транзит речных водных масс, приток и последующий отток морских водных масс во время приливов и нагонов (эти процессы обеспечивают поступление в УОР бóльшей части энергии и вещества извне);
- 2) динамическое взаимодействие первичных (речных и морских) водных масс (неконтактное — формирование гидравлического подпора или спада при сопряжении уровней воды в отдельных водных объектах УОР,

распространение и трансформация волн половодья, паводков, приливов, нагонов и т.п.; контактное — возникновение двухслойной циркуляции вод, проникновение осолоненных вод из моря, растекание речных вод на устьевом взморье);

- 3) динамическое воздействие атмосферы на водные массы внутри УОР (проявляется в возникновении ветровых течений, волнения и нагонов);
- 4) трансформация водных масс (вплоть до образования вторичных ВМ) при смешении, а также под действием внутренних процессов и при тепло- и массообмене с атмосферой и дном (проявляется в изменении объемов ВМ, их гидрофизических свойств, количества и состава содержащихся в них растворенных и взвешенных веществ, а также в продольной и вертикальной динамике ВМ);
- 5) ледовые процессы в УОР (формирование, динамика и разрушение ледяного покрова в верхней толще речных, морских и вторичных ВМ).

К устьевым морфологическим процессам относятся эрозия дна и берегов, абразия берегов, транспорт и отложение наносов. Эти процессы проявляются в динамике дна и берегов — формировании и переформировании характерных для устьев рек аккумулятивных форм рельефа (устьевых конусов выноса, устьевых баров и кос, а также пересыпей, дельт и т.п.), образовании форм русел и руслового рельефа, русловых деформациях и переформировании дна водоемов.

Сущность устьевых биологических процессов заключается в формировании специфических устьевых сообществ гидробионтов, отличных по своему составу и трофической структуре от сообществ реки и моря.

В формировании УОР есть доля участия биологических факторов, но ведущую роль играют все-таки не они, а абиотические процессы. В настоящей диссертации, эти процессы называются устьевыми гидролого-морфологическими и под ними понимается *совокупность природных явлений, связанных с взаимодействием речных и морских водных масс между собой, с атмосферой, дном и берегами водных объектов, под действием которых формируются, существуют и трансформируются гидрологический режим и*

рельеф устьевой области реки. (Другие толкования этого термина см. в [Михайлов 1997, с. 15] и [Полонский и др., 1991, с. 9]).

1.3.2. Факторы устьевых процессов

Устьевые гидролого-морфологические процессы определяются такими внешними по отношению к УОР факторами, как:

- 1) речные факторы — свойства речных водных масс и их закономерные изменения (режим стока речной воды и наносов, включая уровенный режим, термический, гидрохимический, ледовый режимы в реке и т.п.);
- 2) морские факторы — свойства морских водных масс и их закономерные изменения (уровенный, волновой, термический, гидрохимический, ледовый режимы прибрежной части моря, режим морских течений и режим перемещения наносов на подводном береговом склоне и т.п.);
- 3) климатические факторы — радиационный, термический, ветровой режимы, средние величины и изменчивость атмосферных осадков, испарения, влажности воздуха и атмосферного давления;
- 4) факторы коренного (не преобразованного современными устьевыми процессами) рельефа — строение и современная динамика рельефа, обусловленные климатом, вещественным составом и агрегатным состоянием подстилающих пород, а также геологическими структурами и процессами (например, неотектонической просадкой грунта при его уплотнении, вертикальными движениями блоков земной коры во время землетрясений и т.п.).

Характерной особенностью устьевых процессов является то, что их результат может оказывать обратное влияние на сами процессы (т.е. быть фактором устьевых процессов). Так, в некоторых эстуариях Камчатки в результате смешения и длительной трансформации первичных — речных и морских — водных масс образуются вторичные водные массы (ВМ). Поэтому речные и морские ВМ в этих эстуариях могут не соприкасаться друг с другом и взаимодействовать опосредовано, через вторичные ВМ. Причем результат такого взаимодействия в немалой степени зависит от свойств вторичных ВМ. Можно привести и другие примеры. Так, удлинение пересыпей в эстуариях Камчатки (в результате действия устьевых процессов) приводит к соответст-

вующему смещению зоны контакта речной и морской ВМ. Зарастание дна и берегов водных объектов высшей водной растительностью часто усиливает аккумуляцию наносов на дне и ограничивает абразию эстуарных берегов.

Таким образом, результат действия внешних факторов УП создает факторы внутренние, к числу которых относятся:

- 1) внутренние гидрологические факторы — свойства вторичных (образованных внутри УОР) ВМ;
- 2) внутренние морфологические факторы — строение и современная динамика форм рельефа, находящихся под действием устьевых процессов;
- 3) внутренние биологические факторы — состав и структура сообществ гидробионтов внутри УОР.

В современном мире, на устьевые процессы оказывают влияние не только природные факторы, но и антропогенные, подразделяемые на прямые и косвенные [Михайлов, 1997 (1)]. К первой группе относятся все виды хозяйственного воздействия на саму УОР. К косвенным факторам относятся хозяйственные мероприятия в бассейне реки, а также в смежных с УОР частях моря и морских берегов: регулирование, изъятие и переброска речного стока; сброс в реку и море сточных вод; берегоукрепление; строительные работы на морских берегах и т.п. Роль антропогенных факторов может быть настолько значительной, что в некоторых случаях УОР полностью изменяются. Например, строительство водохранилищ на Днестре привело к уменьшению доли речных вод в водном балансе Днестровского лимана и увеличению солености его вод с 3.6 до 5.6‰ [Михайлов, 1997 (2)]. Во многих УОР проводятся дноуглубительные работы, вследствие которых морские воды стали проникать в эстуарии на значительно большее расстояние, чем в естественных условиях (УОР Яны, Дуная, Миссисипи, Эльбы, Луары и др.). Некоторые эстуарии отделены от моря гидротехническими сооружениями, которые сильно ограничивают их водообмен с открытыми устьевыми взморьями (например, приливная электростанция в губе Кислой и противонагонные барьеры (дамбы) в устьях Невы, Темзы, Рейна и Сенегала).

1.3.3. Изменчивость устьевых процессов

Одно из главнейших свойств устьевых процессов — их временная изменчивость, которая обусловлена как изменениями внешних факторов (климата, стока рек, уровня моря и др.), так и развитием самой УОР (например, наращиванием дельты). Согласно В.Н. Михайлову, [1997] все УП можно подразделить на: длительные (геологические, вековые и многолетние) и внутригодовые. В свою очередь, внутригодовые изменения бывают непериодическими (сезонные, синоптические (2–10 сут) и кратковременные (менее суток) изменения, связанные с колебаниями речного стока и атмосферными процессами) и периодическими (полумесячные, суточные и полусуточные изменения, связанные с морскими приливами). Процессы в устьях рек нередко подразделяют на обратимые — если устьевая система после завершения цикла возвращается в первоначальное состояние и необратимые (или направленные) — когда такого возвращения не происходит.

Помимо временной изменчивости, степень воздействия УП на устье реки изменяется в пространстве. Наиболее очевидная закономерность связана с тем, что в УОР влияние тех или иных факторов ослабевает по мере удаления от их источника — моря или реки.

1.4. Выводы

В главе рассмотрены общие вопросы изучения эстуариев как особых географических объектов. Автор попытался разобраться с имеющимися противоречиями в многочисленных определениях эстуария как природного объекта, и выявить то из них, которое можно было бы считать «классическим» (в качестве такового выбрано определение Д. Притчарда). Также была сделана попытка интеграции понятия «эстуарий» в отечественное учение об устьях рек, основанное на представлениях об устьевой области реки и формирующих ее устьевых процессах. В связи с этим было предложено новое, уточняющее классическое, определение эстуария, внесены предложения по уточнению определения и схемы районирования УОР и дополнение в классификацию устьевых областей рек.

В заключение необходимо сказать об авторском видении дальнейшего развития концепции устьевой области реки и формирующих ее устьевых про-

цессов. Большие перспективы могут быть связаны с разработкой идеи о том, что в пределах устьевой области реки формируются особые экосистемы, включающие в себя как абиотическую часть (отдельные части УОР как физико-географические объекты), так и населяющие ее живые организмы, объединенные в сообщества и их комплексы. В современной науке этот вопрос не разработан: российские экологи мало знакомы с отечественной гидрологической литературой по устьям рек, а за рубежом понятия УОР вообще отсутствует (там хорошо развита теория эстуариев, которые ни в коем случае не являются аналогом устьевой области реки (см., например, в [Одум 1975])). Разработка этой идеи, с одной стороны, должна помочь в решении некоторых гидрологических проблем (например, вопроса о внешних границах УОР, которые можно уточнить по гидробиологическим критериям), а с другой стороны, позволит внедрить в смежные с гидрологией науки (экологию и гидробиологию) основные понятия теории устьев рек.

ГЛАВА 2. ГИДРОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЭСТУАРИИ РЕКИ БОЛЬШОЙ

В этой главе рассматриваются гидролого-морфологические процессы в эстуарии р. Большой. Фактической основой исследования послужили результаты собственных полевых работ 2002–2006 гг., а также сведения из различных литературных и архивных источников.

2.1. Общие сведения об эстуарии

Эстуарий р. Большой находится на западном побережье Камчатки, в устье одной из крупнейших рек региона (рис. 2.1). Он представляет собой полузамкнутый водный объект, вытянутый вдоль берега Охотского моря на 34 км и на всем своем протяжении отделенный от моря песчано-галечной пересыпью («Октябрьской косой»). Помимо р. Большой в эстуарий впадают реки Амчигача, Первая речка, Вторая речка, Набережная и Удочка.



Рис. 2.1. Эстуарий р. Большой в 2005 г. (расстояния указаны от оконечности косы)

В состав эстуария входят два водоема — Микояновский лиман и оз. Большое, а также эстуарный водоток, через который водоемы сообщаются с Охотским морем (рис. 2.1). Средняя глубина в водоемах очень мала: при максимальном годовом уровне воды она не превышает 2 м, обычно же меньше 1 м. Максимальные глубины в эстуарном водотоке достигают 5–7 м. Устье эстуарного водотока преграждается баром, глубины над которым в отлив не превышают 0.5 м. Некоторые морфометрические характеристики эстуария приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Некоторые морфометрические характеристики эстуария р. Большой
(по состоянию на 2005 г., расчеты автора)

Часть эстуария	Площадь поверхности, км ²	Длина, км	Средняя ширина, км	Наибольшая ширина, км
Микояновский лиман	8.5	8	1.1	1.7
Оз. Большое	45.2	17	2.7	~5
Эстуарный водоток	15.0	26	0.6*	1.1*
Весь эстуарий	68.8	34	–	–

* с учетом разветвления около о. Томилава

Эстуарий р. Большой — это удобная гавань для прибрежного промышленного флота, а также место добычи лососей — горбуши, кеты, кижуча, нерки и чавычи. Поэтому в эстуарии базируется до 60 судов типа МРС, а на его берегах расположено несколько рыбоперерабатывающих заводов и крупный поселок («Октябрьский»), насчитывающий ~2 тыс. постоянных жителей. В настоящее время Октябрьский рыбопромышленный центр является одним из крупнейших в крае, и имеет очень большое значение для экономики всей Камчатки.

2.2. Исходные материалы

В этом параграфе кратко охарактеризованы все материалы, использованные в работе над главой. В связи с этим сделан историко-географический анализ архивных и литературных данных, поясняются методы полевых работ.

2.2.1. Письменные свидетельства об эстуарии за весь период его изучения (с середины XVIII в. по настоящее время)

Первым исследователем эстуария был выдающийся русский ученый, академик С. П. Крашенинников. Будучи участником Второй Камчатской экс-

педиции В. Беринга, он в 1737–1741 гг. работал на Камчатке и неоднократно бывал в устье р. Большой. Результаты своей работы он обобщил в монографии «Описание земли Камчатки» [Крашенинников, 1755], ставшей образцом географического описания на столетия вперед. Помимо прочего, в этом труде сообщается о размерах, конфигурации и взаиморасположении отдельных частей эстуария р. Большой, есть некоторые сведения о приливных изменениях уровня воды.

В первой половине XVIII в. устье р. Большой служило гаванью для приходящих из Охотска кораблей, и через него осуществлялась связь внутренней Камчатки с «большой землей»¹. Именно этим объясняется высокая степень внимания, которая была уделена эстуарию С.П. Крашенинниковым. Но из-за того, что вход в эстуарий был очень опасным для парусных судов и многие из них здесь погибали [Де-Ливрон, 1907], порт в этом месте находился недолго — уже в середине XVIII в. он был перенесен в более удобную и безопасную Петропавловскую гавань.

После С.П. Крашенинникова эстуарий р. Большой не исследовался более полутора столетий — отчасти из-за утраты его транспортного значения, отчасти из-за общего спада интереса к Камчатке, оставшейся в «тылу» освоения Русской Америки и Амура. В результате, от этого периода (с середины XVIII в. до конца XIX в.) осталось лишь четыре сообщения, в которых есть сведения о гидролого-морфологических процессах в эстуарии:

- 1) в историческом исследовании А. Сгибнева на основе документов середины XVIII в. говорится о смещении устья эстуария в 1748–1750 гг. [Сгибнев, 1869, с. 72 (раздел 1650–1742)];
- 2) в описании экспедиции капитанов Левашева и Креницына есть косвенные сведения о положении устья эстуария в 1766 г. [Экспедиция..., 1852, с. 83];
- 3) в книге известного натуралиста К. Дитмара со слов местных жителей сообщается о смещении устья эстуария в 1850-х гг. [Дитмар, 1901, с. 560–561];

¹ С.П. Крашенинников писал: «(река) Большою для того называется, что из всех рек впадающих в Пенжинское (т.е. Охотское) море по ней одной от устья до самой вершины можно ходить батами...» [Крашенинников, 1755, с. 27]

- 4) в составленной С. Де-Ливроном первой лоции Охотского моря в краткой форме обобщены все имевшиеся к началу XX в. сведения по гидрологии и морфологии эстуария р. Большой [Де-Ливрон, 1907, с. 225–227].

Также известно, что в XVIII–XIX вв. были сделаны еще три описи Западного берега Камчатки, в которые мог попасть эстуарий р. Большой: в 1759 г. штурман Елагин описал морской берег от Большерецка до м. Лопатки [Западный берег..., 1852, с. 136]; в 1766 г. капитан Хмитевский работал от устья р. Тигиль до м. Лопатки [Атлас..., 1826]; в 1853 г. прапорщик Большунин исследовал побережье Камчатки от м. Лопатки до р. Тигиль [Сгибнев, 1869, с. 72 (раздел 1816–1856)]. Однако ни одной из этих описей автору диссертации найти не удалось.

В начале XX в., после того, как Россия проиграла войну с Японией и потеряла часть своих дальневосточных территорий, государственный и научный интерес к Камчатке заметно возрос. На полуострове одна за другой проводятся несколько крупных экспедиций, причем некоторые из них работали в эстуарии р. Большой. Так, в 1909 г. эстуарий исследовала экспедиция Министерства путей сообщения под руководством инженера П. Крынина. В отчете экспедиции приведены некоторые сведения о морфологическом строении и гидрологическом режиме самого эстуария, а также р. Большой [Крынин, 1913]. Пять лет спустя, в 1914 г., устье р. Большой посетила Гидрографическая экспедиция Восточного океана под командованием Б.В. Давыдова, которая выполнила подробное описание эстуария с акцентом на его навигационные условия [Давыдов, 1923].

Экспедицией Б.В. Давыдова закончился почти двухвековой период гидрографических исследований эстуария. В середине 1920–х гг., в первые годы Советской власти, началось активное освоение Камчатки, и прежде всего ее биологических ресурсов. С тех пор исследования в камчатских эстуариях неразрывно связаны с интересами рыбной отрасли.

Создание рыбной промышленности в довоенный период потребовало соответствующего научного обоснования. В 1920–х гг. исследования в эстуариях проводились силами отдельных специалистов рыбной отрасли, в трудах которых остались хотя и отрывочные, но ценные сведения по гидрологии и

морфологии интересующего нас объекта [Воронов, 2000] и [Правдин, 1928]). В середине 1930-х гг. на Камчатке работали большие комплексные экспедиции. Одна из них, экспедиция НКПП, в 1936 г. проводила изыскания для строительства автогужевой дороги вдоль Западного побережья Камчатки и реконструкции расположенного на Октябрьской косе рыбокомбината. (Микояновский рыбокомбинат и поселок при нем были построены в 1933 г.; в 1957 г. поселок переименовали в Октябрьский [Кусков, 1967]). В отчете экспедиции есть ценные сведения о гидрологическом режиме эстуария и морфологических процессах в нем [Эскизный..., 1937].

В конце 1930-х гг. на Дальнем Востоке прокатилась волна репрессий в среде научных работников. Затем началась война. Разрушились целые научные коллективы, были закрыты многие исследовательские институты и их филиалы. Поэтому в 1940-е и 1950-е гг. научная деятельность на Камчатке свелась к минимуму. Но исследования в устьях камчатских рек все-таки продолжались — в частности, Камчатским управлением гидрометслужбы велись работы по описанию главнейших рек Камчатки, результаты которых впоследствии вошли в издания ГВК. В рамках этих работ, в сентябре 1949 г. было выполнено рекогносцировочное обследование р. Большой и ее эстуария, отчет о котором дает общее представление о гидролого-морфологических процессах в эстуарии на тот период [Материалы..., 1950; Ресурсы..., 1973].

В 1957 г. выездная комиссия по проблемам Севера СОПС АН СССР признала неоправданно низким уровень развития научных исследований на Камчатке. В результате этого была создана стационарная Камчатская комплексная экспедиция (а затем и нескольких научных институтов на ее основе), работа которой сыграла огромную роль в изучении края и общей активизации научной деятельности на Камчатке. Но исследования в устьях рек так и остались вспомогательными при решении проблем рыбного хозяйства. Гидрологические работы здесь были крайне редки, и проводились лишь по инициативе отдельных исследователей. Наибольший вклад в изучение устьев камчатских рек внес сотрудник КамчатНИРО И.И. Куренков, который работал в эстуарии р. Большой в начале 1960-х гг. [Куренков, 2005].

В 1960–х гг. рыбная промышленность Камчатки активно развивалась, росли поселки при рыбокомбинатах, в том числе на Октябрьской косе. И в это время на косе возникла одна из главнейших (и не решенных до сих пор) проблем — морские волны во время штормов разрушали находящиеся на косе постройки. По инициативе местного руководства были проведены специальные исследования, направленные на организацию берегозащитных мероприятий: в 1967–1970 гг на Октябрьской косе работала экспедиция географического факультета МГУ [Динамика..., 1971; Зенкович и др., 1971]), а в 1982–1983 гг. — экспедиция Дальморниипроекта [Разработка..., 1982]. В трудах этих экспедиций содержатся детальные сведения о некоторых морфологических процессах на Октябрьской косе и ее морском склоне, есть хорошие описания гидрологического режима ближайшей к косе части Охотского моря и некоторые данные по режиму эстуария. Кроме этих экспедиций, проблемой прогнозирования штормовых переливов через Октябрьскую косу активно занимались специалисты Гидрометслужбы — из ДВНИГМИ, Камчатского УГМС и ГОИНа. Их работа была направлена на исследование гидрометеорологических условий в море, а результаты были обобщены в монографии по Охотскому морю [Гидрометеорология..., 1998].

Завершая это краткое историческое описание, остается сказать, что в 2002–2006 гг. благодаря совместным усилиям КамчатНИРО, ВНИРО и Проекта ПРООН-ГЭФ «Сохранение биоразнообразия лососевых Камчатки и их устойчивое использование» под руководством и при участии автора диссертации в эстуарии р. Большой были проведены самые подробные гидрологические и морфологические исследования за всю его историю, некоторые результаты которых были опубликованы в [Горин, Тембрел, 2006; Горин, 2007; 2008 (2)].

2.2.2. Изображение эстуария на картах и снимках

Картографические изображения. В соответствии с принятыми в XVIII–XIX вв. правилами, карты составлялись по словесным описаниям местности («геодезическим описям»), причем часто бывало так, что описи и карты делали разные люди. Поэтому к картографическим изображениям того периода следует относиться как к схемам, иллюстрирующим исходные описания. Что

же касается эстуария р. Большой, то до середины XIX в. все карты составлялись по материалам нескольких описей 1700-х годов [Сгибнев, 1869], и поэтому эстуарий на них изображался одинаково (рис. 2.2). Более того, судя по имеющимся изображениям, эта практика сохранялась до начала XX в.



Рис. 2.2. Устье р. Большой на картах XVIII–XX вв. (с сайта «Встреча на границах», <http://hdl.loc.gov/loc.ndlprcoor/mfxfmp.nmap043>): 1 — с «карты Курильских островов с околележащими местами» (вторая половина XVIII в.); 2 — с немецкой карты Камчатки (Бонн, 1838 г.); 3 — с «меркаторской карты Восточного океана и южной половины Охотского моря» (Гидрографический департамент, 1852 г.); 4 — с карты Н.В. Слюнина (Гидрографический департамент, 1909 г.)

Впервые достоверное, основанное на геодезической съемке, изображение эстуария р. Большой появилось на карте, приложенной к лоции Б.В. Давыдова [1923]. На ней эстуарий показан по состоянию на 1914 г., когда в нем работала Гидрографическая экспедиция Восточного океана. Вплоть до 1940 г. эта карта без всяких изменений переиздавалась Гидрографическим управлением РКВМФ (пример см. на рис. 2.3).



Рис. 2.3. Эстуарий р. Большой в 1914 г. Фрагмент «карты южной части полуострова Камчатки», Гидрографическое управление РКВМФ, 1940 г. Из архива ГУНиО МО РФ

В 1923 г. была опубликована карта известного шведского ученого Э. Хультена, экспедиция которого в 1920–1922 гг. работала на Камчатке. Карта примечательна тем, что на ней впервые был изображен весь эстуарий, включая оз. Большое (рис. 2.4). В вышедшей позже карте Н.Г. Келля (участника экспедиции Ф.П. Рябушинского 1908–1910 гг.) эстуарий выглядел похожим образом, но его устье изображалось севернее, чем у первого автора (рис. 2.4). По нашему мнению, большего доверия заслуживают сведения Э. Хультена, поскольку он лично посещал эстуарий, тогда как ни один из отрядов экспедиции Ф.П. Рябушинского там не работал (см. [Комаров, 1912] и [Келль, 1928]).

Как уже говорилось, в середине 1930-х гг. планировалось строительство автомобильной дороги по Западной Камчатке. Под этот проект в 1936 г. были проведены изыскания и составлен план эстуария в масштабе 1:1 000 [Эскизный проект..., 1937]. В настоящее время этот план хранится в областном архиве.

Около трех десятков лет (с начала 1920-х до конца 1940-х) изображение эстуария р. Большой на картах не изменялось. В 1950-х гг. на Камчатке была сделана аэрофотосъемка, позволившая обновить навигационные и топографические карты на все побережье полуострова. В рамках этой работы, Управление Гидрографической службы ВМФ СССР в 1958 г. издало карту устья р. Большой, несомненным достоинством которой был крупный масштаб (1:25 000). С тех пор и до настоящего времени эта карта ежегодно переиздается без внесения каких-либо изменений (хотя за это время устье эстуария переместилось на 8 км к ЮЮВ). Аналогичная ситуация сложилась и с картами, в течение полувека выпускаемыми Главным управлением геодезии

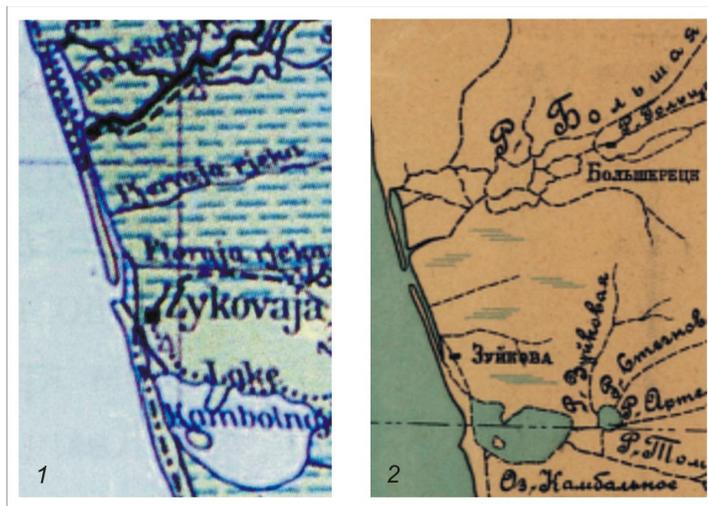


Рис. 2.4. Устье р. Большой в начале 1920-х гг.: 1 — фрагмент «карты южной Камчатки» Э. Хультена [Хультен, 1925]; 2 — фрагмент «карты вулканов Камчатки» Н. Г. Келля [Келль, 1928]

и картографии, а также Генеральным штабом, — их содержание (по крайней мере, для устья р. Большой) до сих пор остается неизменным и соответствует середине XX в.

Аэрофото- и космические снимки эстуария. Наибольшей достоверностью в изображении рельефа (по крайней мере, его плановых очертаний) обладают аэрофото- и космические снимки. В распоряжении автора имеются изображения эстуария р. Большой на аэрофотоснимках 1950 г. (в масштабе 1:60 000, из архива ИВиС ДВО РАН), а также на нескольких космических снимках 1972 и 2001–2007 гг., размещенных в интернете.

2.2.3. Материалы собственных полевых исследований

Полевые работы в эстуарии р. Большой были выполнены под руководством автора в летние сезоны 2002–2005 гг. Кроме этого, в начале декабря 2006 г. состоялось рекогносцировочное обследование Октябрьской косы в зимних условиях. Натурные исследования были направлены на:

- 1) изучение пространственно-временной изменчивости основных гидрологических характеристик эстуария (уровня, солености, температуры воды, скоростей и направления течений);
- 2) изучение характеристик водного режима впадающих в эстуарий рек (прежде всего, уровня и расходов воды);
- 3) определение морфометрических характеристик эстуария, Октябрьской косы и ее подводного склона;
- 4) изучение берегов Охотского моря в районе эстуария.

Уровенный режим эстуария исследовался с помощью 5–7 самописцев, которые в июне–июле 2003 и 2005 гг. устанавливались по всей длине эстуарного водотока, а также в оз. Большом. Приборы непрерывно проработали от 20 до 40 сут. С помощью нивелирования отметки большинства постов были привязаны к высотным пунктам ГГС. Кроме этого, в августе 2004 г. было детально исследовано оз. Большое — в нем было размещено 5 самописцев, которые проработали ~1 недели. Увязка нулей постов здесь была сделана по среднему уровню высоких полных вод. Точность измерения уровня воды самописцами оценивается в 1–2 см, точность отсчета времени 10–15 мин.

Температура и соленость воды измерялись гидрологическими зондами Hydrolab MiniSonde (до 2003 г.) и YSI-6 (в 2004–2005 гг.). Точность измерения глубины оценивается в 0.1 м, температуры воды (T) 0.1°C, солености (S) — от 0.2‰ в пресных до 1–2‰ в соленых водах (последнее было определено при сопоставлении результатов зондирования и химического анализа проб воды).

В зависимости от решаемой задачи T и S воды измерялись либо с заякоренной лодки в течение 25 ч (суточные станции), либо с помощью серии продольных гидрологических разрезов. И то и другое делалось в сизигию и квадратуру, при высоком и низком речном стоке.

Скорости и направление течений определялись одновременно с измерениями температуры и солености воды. При этом использовалась морская вертушка с магнитным компасом.

Водный режим р. Большой. В 5 км от места впадения реки в эстуарий находится наблюдательный пункт КамчатНИРО, на котором в весенне-летний период с периодичностью от 1 до 10 сут измеряется уровень воды. Здесь на подъеме, пике и спаде половодья были измерены расходы воды (всего четыре измерения). Измерения были сделаны стандартным методом (по тросу, с помощью ГР-21, по 3–5 вертикалям), точность определения расходов воды оценивается в 5%. На основании полученных данных для этого створа была построена зависимость $Q=f(H)$, позволившая рассчитать гидрограф р. Большой для весенне-летних сезонов 2003 и 2005 г. В малых реках измерения расходов воды были сделаны по одному разу, что было признано достаточным для определения соотношения между их суммарным стоком и стоком р. Большой.

Морфометрические характеристики эстуария и морского склона Октябрьской косы были определены по результатам эхолотных промеров прибором GARMIN GPSMAP 188 Sounder. Точность определения глубины оценивается в 5–10 см, планового положения промерных точек в 5–10 м. В эстуарии промеры делались по косым галсам, расстояние между которыми не превышало 100–300 м. Морской склон косы промерялся по нормальям к бере-

гу, до глубин в 15–20 м (всего 23 промерных профиля). Все измеренные глубины были приведены к единой системе отсчета.

Морфометрические характеристики Октябрьской косы и части морского берега у м. Левашева были определены нивелированием, с привязкой к высотным пунктам ГГС. Всего было выполнено 14 поперечных профилей.

Типы берегов в районе эстуария р. Большой были выделены с помощью пешеходного обследования, в ходе которого визуально определялись характер берегов (абразионный или аккумулятивный) и состав слагающих их отложений. С помощью GPS и фотоаппарата фиксировалось положение основных элементов берега (вершин и подножий клифов и эрозионных уступов, границ активного пляжа, вершин штормовых валов, границ высоких приливов и т.п.).

2.3. Физико-географические условия в районе эстуария

В параграфе рассматриваются внешние геоморфологические, климатические и гидрологические условия, в которых существует эстуарий р. Большой. Отдельные вопросы освещаются с той степенью подробности, которая необходима для последующего анализа.

2.3.1. Рельеф суши

Эстуарий р. Большой находится в южной части Западно-Камчатской равнины, приморское пространство которой покрыто безлесными болотами, лугами и тундрами. Для района эстуария характерны два морфогенетических типа равнинного рельефа — низкая приморская и аккумулятивная увалистая равнины [Новейшие..., 1978]. Приморская низменность протягивается неширокой полосой вдоль берега моря и состоит из трех террасовидных поверхностей, самая низкая из которых выходит к берегу эстуария (рис. 2.5). Сразу же за приморской низменностью тянется аккумулятивная увалистая равнина, которая в отдельных местах выходит к берегу эстуария или моря. Севернее эстуария увалистая равнина представляет собой плоское водораздельное пространство высотой до 50 м, обрывающееся 10–15 м уступом к морю и 15–30 м уступом к р. Амчигаче. Исторически это место называется мысом Левашева — со стороны моря оно открывается раньше, чем прилегающая низменность, и поэтому выглядит как выступ берега. Между р. Вторая речка и

оз. Большим увалистая равнина представляет собой цепь холмов высотой до 40–50 м («Зуйковские высоты»). На обращенных к морю склонах первого увала заметны следы некогда происходившей здесь абразии.

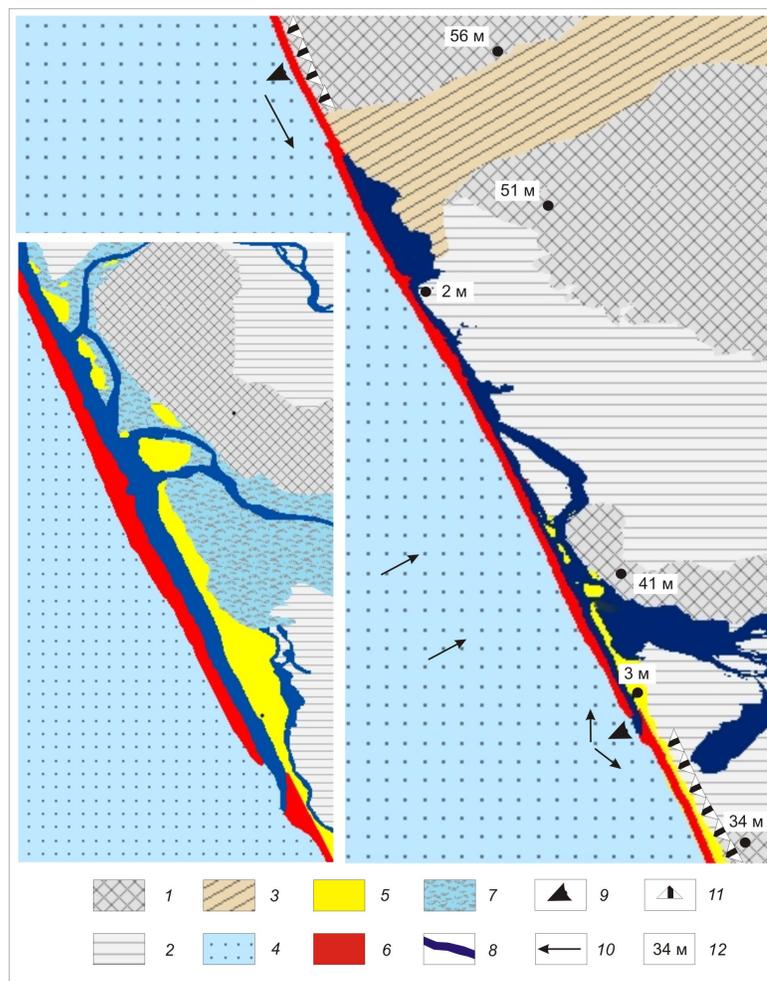


Рис. 2.5. Геоморфологическая схема района эстуария р. Большой (составлено автором по описанию в [Новейшие..., 1978]): 1 — моренные холмы (увалы); 2 — полигенетическая аккумулятивная террасовидная поверхность; 3 — поймы и дельты рек; 4 — аккумулятивный подводный склон; 5 — голоценовые морские аккумулятивные террасы (береговой бар); 6 — современные морские аккумулятивные формы; 7 — аккумулятивные равнины дна эстуария; 8 — эрозионные ложбины; 9 — поступление наносов в береговую зону; 10 — направление перемещения наносов; 11 — абразионно-денадационные уступы на морском берегу; 12 — отметки высот (в БС)

2.3.2. Морские берега

Эстуарий р. Большой находится в Южном береговом районе Западной Камчатки, береговая линия которого отличается простотой очертаний: пересяпи здесь непрерывно чередуются с небольшими участками коренного берега [Берега..., 1967].

Севернее Октябрьской косы находится 6-км абразионный участок морского берега [Динамика..., 1971], величина отступления которого не превышает 0.5–0.7 м/год [Арчиков и др., 1982; Владимиров, 1958]. Высота современного клифа у м. Левашева достигает 15 м, но к северу она снижается до минимума (И.И. Тембрел, устное сообщение). Клиф выработан в толще алевритовых (с прослоями разнозернистого песка и валунов) отложений водноледникового происхождения, сверху перекрытых торфяниками (Е.А Кравчуновская, устное сообщение; см. фото 2.1 и рис. 2.5). Подножье клифа находится на ~1.5 м выше летнего сизигийного прилива, поэтому летом на этом участке берега преобладают процессы денудации (фото 2.1). Зимой уровень моря заметно повышается (см. 2.3.6), поэтому узкий пляж не в состоянии защитить берег, и в районе м. Левашева развивается абразия. Вообще, такая сезонность в береговых процессах характерна для всех участков морского берега севернее и южнее Октябрьской косы.



Фото 2.1. Морской берег в районе эстуария р. Большой (июль 2005 г.): 1 — морской склон Октябрьской косы в районе Микояновского лимана; 2 — оконечность косы; 3 — морской берег южнее Октябрьской косы; 4 — современный клиф и морской пляж у м. Левашева

К подножью клифа примыкает пляж, который у м. Левашева имеет ширину 20–30 м, а к северу постепенно увеличивается до 50–60 м. Пляж сложен

валунно-галечными отложениями (И.И. Тембрел, устное сообщение), осенью и зимой он сильно деформируется под влиянием волнения и представляет собой выровненную площадку. Севернее абразионного участка начинается морская аккумулятивная форма, обладающая генетическими чертами берегового бара [Динамика..., 1971]. Бар примыкает к низкой морской террасе, а местами напользает на ее болотистую поверхность.

Октябрьская коса имеет длину ~34-х км (по состоянию на 2005 г.), ориентирована с ССЗ на ЮЮВ и сложена песчано-галечным материалом. Средняя ширина косы 180 м, ее гребень выше среднего уровня моря на ~6 м (рис. 2.6). Ближе к оконечности косы ее ширина и высота заметно уменьшаются (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Морфометрические характеристики Октябрьской косы (расчеты автора)

Часть Октябрьской косы	Расстояние от оконечности косы, км	Средняя ширина, м	Наибольшая ширина, м	Наименьшая ширина, м
Северная	19–34	193	430	105
Южная	8–19	150	220	110
	0–8	214	280	140

По особенностям строения, косу можно разделить на две части — северную и южную — граница между которыми проходит в 19–20 км от современного устья эстуария. Южная часть косы в поперечном сечении выглядит как одновершинный вал асимметричной формы (рис. 2.6): морской склон у нее крутой и короткий (не более 50–60 м), а тыловой склон наоборот, пологий и длинный (100–200 м). Северная часть косы на отдельных участках состоит из двух валов: гребень ближайшего к морю вала имеет ту же высоту, что и в южной части, а вершина второго вала на 1–3 м ниже (рис. 2.6). Особенно хорошо второй вал выражен в районе пос. Октябрьский, между 20 и 24 км от оконечности косы. В северной части косы ширина морского склона составляет 50–60 м, в редких случаях она достигает 80 м. Отдельные участки пляжа севернее пос. Октябрьский регулярно нарушаются тяжелой техникой (материал с пляжа сгребается к насыпи проходящей по косе дороги). Крупность отложений в северной части косы больше, чем в южной: в первом слу-

чае на пляже преобладают галечно-гравийные отложения, во втором — песчано-гравийные ([Динамика..., 1971], см. также фото 2.1).

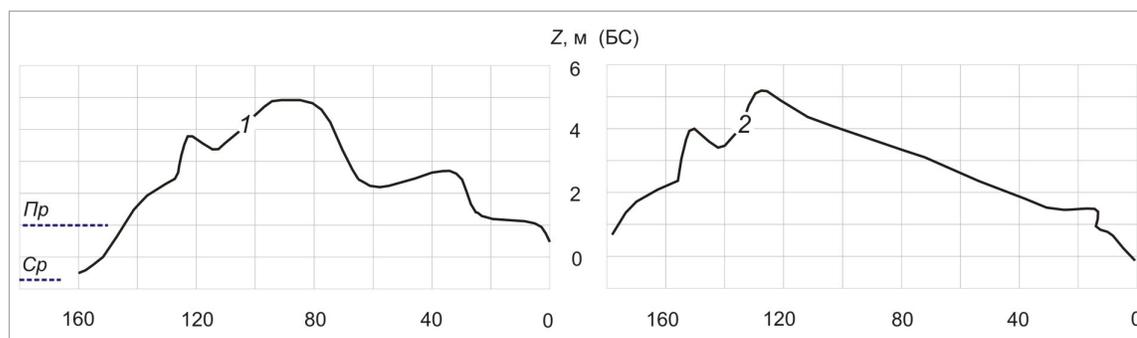


Рис. 2.6. Поперечные профили Октябрьской косы (июль 2005 г.): 1 — в 23.5 км от оконечности косы; 2 — в 10 км от оконечности косы; Ср — средний за лето уровень моря; Пр — уровень сизигийных приливов в море

Летом 2005 г. по всей длине косы был хорошо заметен штормовой вал высотой 1–1.5 м, подножье которого находилось на 1.5 м выше уровня летнего сизигийного прилива (рис. 2.6). Вероятно, этот вал образовался осенью и зимой предыдущего года во время обычных здесь сильных штормов при повышенном уровне моря. Вообще, пляж на Октябрьской косе очень сильно деформируется в течение года: осенью и зимой он размывается, а летом здесь обычна аккумуляция (по годичным наблюдениям Дальморниипроекта, годовые величины вертикальных деформаций пляжа составляют 1–2 м [Разработка..., 1982]). По всей видимости, подобные процессы на пляже характерны и для участков морского берега севернее и южнее Октябрьской косы.

Также по всей длине косы заметны поперечные промоины, образовавшиеся во время сильных штормов. Со стороны эстуария они оканчиваются конусами выноса длиной до 100 м. На 26-ом км косы есть конус выноса, отличающийся от всех других своими большими размерами — он выступает в Микояновский лиман примерно на 300 м (см. рис. 2.1).

Трехсотметровый дистальный участок косы в приливную фазу покрывается водой, а в отливную фазу сохнет. От него начинается устьевой бар, который по выпуклой дуге отделяет устье эстуарного водотока от моря. Южная оконечность бара подходит к надводной аккумулятивной форме (аккумулятивному выступу), причлененной к материковому берегу (см. рис. 2.5).

Южнее Октябрьской косы к берегу подходит приморская низменность (рис. 2.5). В узкой полосе берега между р. Набережная и морем она сложена песчано-гравийными отложениями и вероятнее всего, является частью берегового бара, о котором говорилось выше. От моря бар отделяется пляжем шириной 50–60 м, который прислонен к современному клифу (см. фото 2.1). По нашим оценкам, этот участок берега отступает с интенсивностью 0.2–0.3 м/год.

Подводный береговой склон в районе Октябрьской косы имеет достаточно ровный и пологий профиль. Промеры 2005 г. показали, что у оконечности косы он слабовогнутый, у Зуйковских высот прямой, а у м. Левашева выпуклый. Поверхность берегового склона у оконечности Октябрьской косы осложнена поперечными валами, высота которых быстро уменьшается по направлению на север. При общей пологости подводного склона косы, в его верхней части заметен свал глубин (изобата 5 м проходит очень близко к берегу, см. табл. 2.3), который отсутствует только на пятикилометровом участке около оконечности косы. Поскольку наличие подобного уступа характерно для приливных морей [Попов, 1961], его отсутствие у оконечности косы может быть связано только с невыработанностью профиля берегового склона (например, из-за аккумуляции наносов, выносимых из эстуария). В целом, подводный береговой склон сложен тонким и плотным песком [Динамика..., 1971].

Таблица 2.3

Удаленность морских изобат от берега Октябрьской косы, км (расчеты автора)

Место	Расстояние от оконечности косы, км	Глубина (относительно среднего уровня моря за лето 2005 г., –0.75 м БС)		
		5 м	10 м	15 м
У м. Левашева	36–37	0.2–0.3	2.0	3.2
В северной части косы	27–33	~0.1	2.1	3.2
В южной части косы	9–13	0.1–0.2	1.9	3.4–3.7
В южной части косы	3–4	0.3–0.4	2.2	4.0
У оконечности косы	0	0.5	2.2	4.0

Перемещение наносов в береговой зоне. В работе [Динамика..., 1971] на основе анализа петрографического и гранулометрического состава отложений пляжа делается вывод об общем дефиците наносов у Октябрьской косы, который частично компенсируется слабым поступлением осадочного ма-

териала со стороны м. Левашева. О вдольбереговом потоке наносов можно сказать следующее. Севернее Октябрьской косы в береговых отложениях преобладают мелкие фракции: в разрезе у р. Утка, где к берегу подходят те же увалы, что у м. Левашева, глинистая составляющая достигает 18–30%, а содержание алевритов доходит до 67–84% [Новейшие..., 1978]. Большая часть этих наносов (мелкие фракции) оседает на подводном склоне в районе мыса, а оставшаяся часть (более крупные фракции) вовлекается в направленный к оконечности косы вдольбереговой поток, имеющий местный характер [там же]. Судя по тому, что отложения на пляже в северной части косы значительно крупнее, чем в южной, поток от м. Левашева ограничен первыми 15–25 км (т.е. оконечности косы он не достигает).

Как говорилось выше, на подводном склоне и пляже Октябрьской косы есть валы, что свидетельствует о поперечном поступлении материала к берегу. Судя по динамике пляжа, поперечное перемещение наносов имеет реверсивный характер и изменяет свое направление в зависимости от сезонов: осенью и зимой преобладает отток наносов от берега, весной и летом наоборот, их приток. Результирующая поперечного потока, скорее всего, направлена в сторону берега, ведь существующая стабильность формы большей части Октябрьской косы должна поддерживаться поступлением наносов из внешних источников, в данном случае, песка с подводного склона.

Анализ космических снимков показал, что в отливную фазу из устья эстуария выходит облако мутной воды с радиусом 6–8 км. Следовательно, из эстуария в море поступают наносы, которые отлагаются в ближайшей части подводного склона (подробно это явление будет рассмотрено в разд. 2.4.1).

2.3.3. Берега и дно эстуария

Берега. Между реками Большая и Вторая речка прибрежная низменность ограничена эрозионным уступом, выработанным эстуарным потоком в толще водно-ледниковых суглинков и песков, перекрытых слоем торфяников толщиной ~2 м [Динамика..., 1971]. Южнее озерных протоков берег эстуария образован древним песчано-галечным баром, по всей длине которого выработан эрозионно-абразионный уступ. Высота и активность уступа постепенно возрастают по направлению от озерных протоков к устью эстуария.

В эстуарии есть три группы островов (рис. 2.1, 2.5). Первая из них находится в Микояновском лимане и принадлежит дельтам рек Большая и Амчигача. Вторая размещается в средней части эстуария, против Зуйковских высот. Самый большой из островов этой группы — о. Томилова — сложен валунным суглинком под торфяным покровом, поэтому возможно, что он когда-то был частью низменности между реками Первая и Вторая речки. Малые же острова южнее о. Томилова сформированы теми же отложениями и имеют ту же высоту, что и морская терраса южнее озерных протоков, и поэтому можно говорить об их принадлежности к некогда размытой части берегового бара. И, наконец, острова третьей группы находятся в оз. Большом. Они сложены валунным суглинком с торфом на поверхности, и скорее всего, имеют то же происхождение, что и прибрежная низменность в средней части эстуария.

Дно. В Микояновском лимане и оз. Большом дно представляет собой почти горизонтальные аккумулятивные равнины, прорезанные глубокими эрозионными ложбинами (см. рис. 2.5). В лимане глубина вреза эрозионных ложбин достигает 2 м, а в озере — 3–4 м (вблизи устьевых створов рек глубина вреза не превышает 0.5 м).

Форма русла эстуарного водотока напоминает правильную призму с крутыми бортами (рис. 2.7). Средняя ширина водотока на его верхнем (19.5–25.5 км на рис. 2.1) и нижнем (ниже озерных протоков) участках близка к 320 м, а в районе разветвления (7.5–19.5 км на рис. 2.1) увеличивается до 860 м.

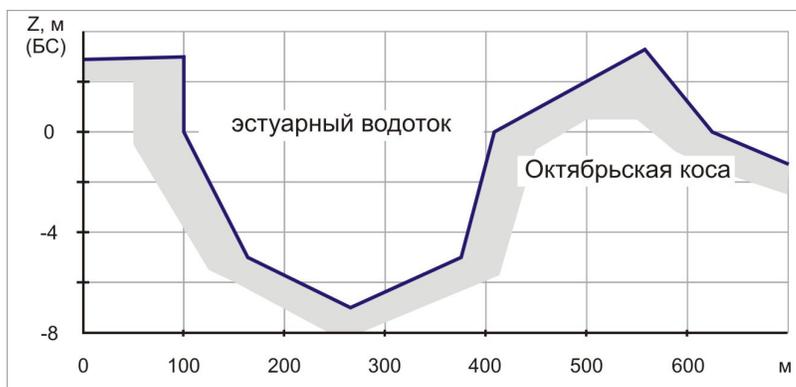


Рис. 2.7. Поперечные сечения эстуарного водотока и Октябрьской косы (осредненные для участка между озерными протоками и окончательностью косы)

Отметки дна по длине водотока сильно изменяются, но при этом хорошо заметно их понижение в сторону моря (рис. 2.8). Причем в наибольшей

степени это выражено в средней части эстуарного водотока, между квадратурным и сизигийным пределами распространения морской воды, проникающей в эстуарный водоток в приливную фазу. Углубление приморской части водотока, по-видимому, связано с влиянием приливов. Через поперечное сечение верхней части водотока за сутки проходит объем воды, равный суточному стоку рек Большая и Амчигача. В нижней части водотока, в зоне проникновения морской воды, за это же время проходит в полтора раза больший объем воды (см. разд. 2.5.2). Поэтому площадь сечения здесь должна быть больше, чем в верхней части водотока, а при сохранении постоянной ширины это достигается увеличением глубины.

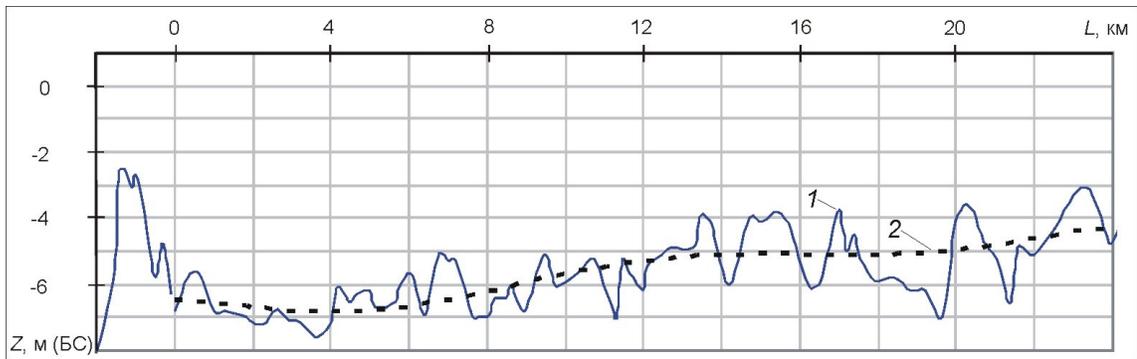


Рис. 2.8. Продольный профиль эстуария р. Большой: L — расстояние от оконечности Октябрьской косы; 1 — продольный профиль дна эстуария по фарватеру водотока; 2 — линия, аппроксимирующая отметки дна

Со стороны моря выход из водотока преграждает устьевой бар. Отметки дна в эстуарном водотоке намного ниже минимального уровня Охотского моря (рис. 2.8).

2.3.4. Климат (по [Кондратюк, 1974; Научно-прикладной..., 2001])

Климат в районе эстуария р. Большой морской умеренный, холодный, с продолжительной, малоснежной и холодной зимой, непродолжительным и прохладным летом. Климат района хотя и не муссонный, но имеет такую тенденцию [Кондратюк, 1974]: зимой воздух переносится с внутренних районов Камчатки в сторону Охотского моря, летом наоборот. Сезонная циркуляция нарушается вторжением циклонов, которые обычно приходят с юга или запада и особенно активны в холодный период года; максимум циклонической деятельности приходится на декабрь.

Среднегодовая температура воздуха в районе эстуария -0.2°C , а средняя величина сезонного изменения температуры воздуха 23.1°C . Наиболее холодный месяц февраль, самый теплый — август (-11.8 и 11.3°C соответственно). Безморозный период короткий, в среднем длится 4 мес. Температура воздуха переходит через 0°C в конце апреля – начале мая весной, и в конце октября – начале ноября осенью. В течение суток температура воздуха изменяется мало (в среднем на 2.7°C), ее максимум обычно бывает после полудня — в 15 ч, а минимум — перед восходом солнца, между 6 и 9 ч.

Осадки в районе эстуария умеренные — за год выпадает ~ 700 мм, из них $2/3$ в жидком виде в теплое время года (с мая по октябрь), а остальное в твердом и смешанном виде с ноября по апрель. Снежный покров обычно появляется в самом начале ноября, а сходит к середине мая.

Режим ветра в районе эстуария имеет хорошо выраженный сезонный характер: в мае–сентябре преобладают слабые З и ЮЗ ветры, а в декабре–марте более сильные С и СВ ветры. Ветер в основном дует от основания Октябрьской косы к ее оконечности, причем в холодное время года это выражено особенно сильно. Самый спокойный месяц в году июль (средняя скорость ветра 4.2 м/с), а самый ветреный — ноябрь (средняя скорость ветра 7.4 м/с, половину месяца ветер сильнее 15 м/с). Суточная изменчивость скорости ветра хорошо выражена летом (максимум в 18 ч и минимум ранним утром), зимой она почти не заметна.

2.3.5. Гидрологический режим впадающих в эстуарий рек

(по [Ресурсы..., 1973; 1966])

В эстуарий впадают реки Большая, Амчигача, Первая речка, Вторая речка, Набережная и Удочка (рис. 2.1), причем подавляющая часть речного стока из двух рек — Большой и Удочки (~ 89 и 10% суммарного речного стока соответственно).

Общие сведения и водный режим. Р. Большая (в верхнем течении р. Быстрая) берет начало на склонах Срединного хребта; имеет длину 275 км, площадь водосбора $10\,800$ км², крупнейший приток — р. Плотникова. В нижнем течении р. Большая через множество протоков соединяется с р. Амчигачей, образуя с ней единую русловую систему. По водному режиму

р. Большая относится к группе рек с весенне-летним половодьем и паводками в теплое время года. С мая по октябрь в реке проходит ~80% годового стока воды, с ноября по апрель — ~20%. Половодье начинается в первой половине мая, к середине июня уровень воды в низовьях реки поднимается до максимальных отметок (на 1.5–2 м выше меженных), в начале августа половодье заканчивается. Зимняя межень устойчивая (до 150 сут), летняя межень прерывистая, выражена только в маловодные годы. В течение всего теплого периода года на реке проходят дождевые паводки, особенно сильные в сентябре–октябре (в отдельные годы максимальные паводочные расходы воды превышают наибольшие половодные). По расчетам автора, среднегодовой расход воды в устьевом створе р. Большой 317 м³/с, а среднемаксимальный расход половодья ~1200 м³/с. Внутригодовое распределение стока р. Большой показано на рис. 2.3.7.

Р. Удочка стекает с южной части Срединного хребта, имеет площадь водосбора 1 900 км². Расчеты по рекам-аналогам показали, что среднегодовой расход воды р. Удочки 36 м³/с; доля водного стока этой реки в суммарном речном притоке в эстуарий в среднем за год составляет 10%, зимой эта доля уменьшается, а в мае и октябре повышается примерно до 20% (рис. 2.9).

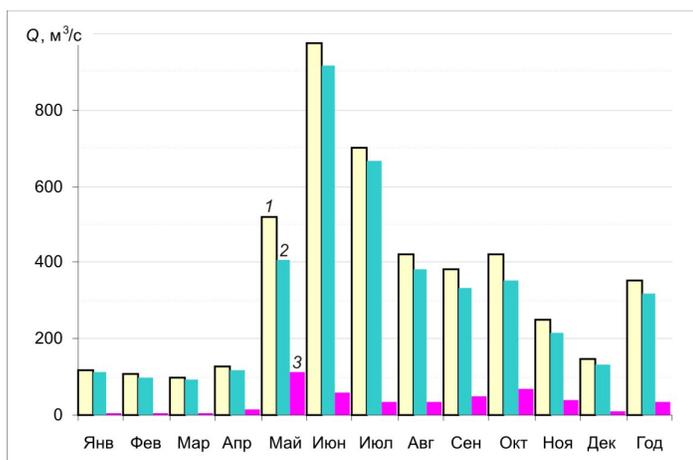


Рис. 2.9. Средние месячные и годовые расходы воды (расчеты автора):
1 — суммарный речной;
2 — р. Большая;
3 — р. Удочка

Температура воды и ледовые явления. Среднегодовая температура воды в р. Большой 4.4°C, а средняя величина ее сезонного изменения ~14°C. Среднемесячная температура речной воды достигает своего максимума в июле – августе (11.6°C), а среднесуточная — в первых числах августа (до 17°C). Через 0.2°C температура речной воды переходит на исходе марта и в

конце ноября. Первые ледовые явления на реке отмечаются в конце октября или начале ноября, через полмесяца река замерзает. Ледостав на реке неустойчивый и несплошной, чаще всего в виде заберегов. Вскрывается р. Большая в середине апреля, ледоход продолжается 1–3 дня.

Минерализация воды р. Большой при ее впадении в эстуарий обычно меньше 30–40 мг/л. Внутри года минерализация изменяется в обратной зависимости от расходов воды — минимумы обычны во время половодья, а максимумы — перед вскрытием реки. По своему химическому составу вода р. Большой относится к гидрокарбонатному классу и кальциевой группе вод.

Сток наносов. Поскольку на р. Большой никогда не было систематических наблюдений за стоком взвешенных наносов, можно воспользоваться данными по р. Большой Воровской — ближайшей достаточно крупной реке ($F=3660 \text{ км}^2$; $M_n=10.5 \text{ т/км}^2 \text{ год}$), протекающей в сходных физико-географических условиях. Используя модуль стока наносов реки-аналога получаем, что среднегодовой сток взвешенных наносов р. Большой составляет 113 тыс. т/год, а средние годовые величины расхода взвешенных наносов и мутности воды равны 3.6 кг/с и 11.4 г/м^3 соответственно. Судя по реке-аналогу, внутригодовое распределение стока взвешенных наносов очень неравномерно: примерно 90% годового объема наносов проходит с мая по октябрь, а оставшиеся 10% — с ноября по апрель.

Сток влекомых наносов на реках Камчатки не изучался (по крайней мере, об этом нет сведений). Но для ориентировочной оценки можно принять, что доля влекомых наносов в общем стоке наносов р. Большой такая же, как и у рек Приморья, т.е. 1–5% (таблица в работе [Степанова и др., 1979], см. данные для рек с площадью водосбора 3–17 тыс. км²). При таком подходе среднегодовой сток влекомых наносов р. Большой будет <6 тыс. т/год.

2.3.6. Гидрологический режим прибрежной части Охотского моря

Уровенный режим. Из-за малочисленности пунктов наблюдений за уровнем и непродолжительности их рядов, каких-либо надежных оценок вековых изменений уровня всего Охотского моря и его северо-восточной части не существует [Гидрометеорология..., 1998]. Геоморфологическими метода-

ми было установлено погружение берега Западной Камчатки, интенсивность которого за последние 12–17 тыс. лет в среднем оценивается от 0.8 [Зенкович и др., 1971] до 1.4 мм/год [Хершберг и др., 1982]. Учитывая, что извстатическое повышение уровня Мирового океана (УМО) в последние столетия составляет 1.0–1.5 мм/год [Гидрометеорология..., 1998], суммарную интенсивность трансгрессии Охотского моря у берегов Камчатки для последних столетий можно оценить в 1.8–2.9 мм/год. (В конце прошлого столетия эвстатическая составляющая повышения УМО увеличилась до 3.1 мм/год [Climate Change..., 2007]).

Величины межгодовых и сезонных колебаний уровня моря в районе Октябрьской косы не известны, так как не только здесь, но и на всем западном побережье Камчатки никогда не велось систематических наблюдений за уровнем воды. Однако имеются результаты наблюдений на Сахалинском и материковом побережьях Охотского моря, которые позволяют оценить масштабы рассматриваемых явлений. Так, на бóльшей части Охотского моря (за исключением Татарского пролива) величина многолетних колебаний среднегодового уровня моря не превышает 10–20 см (при этом нет общей для всего моря однонаправленной тенденции в изменении его уровня). Годовой ход уровня в большинстве береговых пунктов составляет 20–40 см с максимумом в декабре и минимумом в апреле [Гидрометеорология..., 1998].

У Октябрьской косы наибольшие по величине изменения уровня моря связаны с неправильными полусуточными приливами. В сизигии низкие полные воды (НПВ) и высокие малые воды (ВМВ) почти незаметны, поэтому приливы становятся похожими на неправильные суточные. В сизигии приливная фаза заметно короче отливной фазы (8–9 и 16–17 ч соответственно), а в квадратуры обе фазы продолжаются примерно одинаковое время. По наблюдениям автора, летом величина морских приливов достигает 2.6 м в сизигии, и 1.1 м в квадратуры. Максимально возможная по астрономическим причинам величина приливов в районе Октябрьской косы составляет 3 м [Гидрометеорология..., 1998].

Экстремально высокие уровни Охотского моря определяются сочетанием приливов и нагонов [Гидрометеорология..., 1998]. На всем западном

побережье Камчатки (и в районе Октябрьской косы тоже) значительные повышения уровня моря вызывают переливы морской воды через песчаные косы, что приводит к разрушению находящихся на них построек. Поэтому ГОИНам были проведены специальные исследования [Кабатченко и др., 2008], которые показали, что в районе Октябрьской косы ежегодные переливы случаются из-за подхода южных и западных циклонов [Герман, 1979], наиболее опасных в октябре – декабре [Гидрометеорология..., 1998]. Согласно расчетам ГОИНа, повышение нагонного уровня над приливным один раз в год может достигнуть 115 см, а один раз в пятьдесят лет — 170 см [Гидрометеорология..., 1998].

В Охотском море неоднократно наблюдались волны цунами. В большинстве случаев они проникали сюда из Тихого океана через Курильские проливы, поэтому были ослабленными и приводили к повышению уровня моря не более чем на 1 м. Но известны четыре случая, когда подъем уровня моря у побережья Камчатки достигал 2–5 м [Гидрометеорология..., 1998]. Один из них наблюдал С.П. Крашенинников: «...во время бывшего в 1737 году великого землетрясения и из него (из оз. Большого) в море и из моря в него вода переливалась» [Крашенинников, 1755].

Температура морской воды. Среднегодовая температура воды у берега Октябрьской косы равна 3.6°С [Атлас..., 1970]. Теплее всего морская вода в августе, холоднее — в январе–феврале (11°С и -1.7°С соответственно). Первый лед в прибрежной части моря чаще всего появляется в середине декабря. Сплошной ледяной покров в районе Октябрьской косы образуется только в суровые зимы, обычно здесь дрейфуют отдельные льдины и их скопления. За зиму поверхность моря многократно очищается ото льда, но окончательно лед сходит в самом начале апреля [Разработка..., 1982]. Припая у берегов Камчатки почти не бывает.

Соленость морской воды. Систематически эта характеристика в районе Октябрьской косы никогда не определялась, а эпизодические измерения были случайными и крайне редкими. Судя по имеющимся данным, в конце зимы соленость морской воды может достигать 32‰, а в период половодья она снижается до ~22‰ [Разработка..., 1982]. По всей вероятности, зона сильно-

го опреснения ограничивается очень узкой прибрежной полосой — наши измерения летом 2005 г. показали, что даже на пике половодья — а в этот год оно было очень высоким — в устье эстуария проникала морская вода с соленостью 26–28‰.

Волнение. Охотское море — одно из самых бурных морей нашей страны, и побережье Камчатки не исключение. По данным визуальных наблюдений, штелей около Октябрьской косы почти не бывает [Разработка..., 1982]. Наибольшая повторяемость сильного волнения обычна для октября и ноября, а спокойней всего море в феврале–марте и июне–августе. Максимум штормовой активности совпадает с нагонами, т.к. оба явления связаны с циклонами. Такое совпадение является дополнительным (по мнению некоторых авторов — основным [Гидрометеорология..., 1998]), условием возникновения переливов через Октябрьскую косу. Максимальные высоты волн, наблюдавшихся у берега косы, достигали 6 м [Гидрометеорология..., 1998]. В теплое время года штормы длятся меньше 1 сут; в холодный период 1.5—2 сут. В декабре и январе нередко бывают штормы продолжительностью более 4 сут.

В течение всего года у берега Октябрьской косы преобладают волны с СЗ (в среднем 37% всех случаев), фронт которых перемещается от основания косы к ее оконечности. Волны с З и ЮЗ подходят к косе почти по нормали и в среднем за год повторяются с одинаковой частотой ~27–28%.

Течения в море. В районе Октябрьской косы сложно взаимодействуют дрейфовые, приливные, волновые, стоковые, плотностные и т.п. течения. Наш анализ данных годовых наблюдений Дальморниипроекта [Разработка..., 1982] показал следующее. На глубинах 4–6 м результирующие течения почти весь год направлены от основания косы к ее оконечности. Летом, в период слабой волновой активности, скорость результирующих течений близка к нулю. Осенью она увеличивается до 0.05 м/с, а в начале зимы, при максимальном развитии волнения, достигает 0.10–0.15 м/с. Приливные течения имеют реверсивный характер: в приливную фазу они направлены на север, а в отливную фазу на юг. Средняя скорость приливных течений в приурезовой зоне оценивается в 0.2 м/с, а максимальная в 0.5–0.6 м/с. При сильном ветре в отливную фазу скорость вдольберегового течения может достигать 1.9 м/с.

2.4. Морфологические процессы

В этом параграфе рассматриваются морфологические процессы в эстуарии р. Большой. Особое внимание уделено удлинению Октябрьской косы — процессу, имеющему наибольшие гидрологические последствия для всего эстуария.

2.4.1. Удлинение Октябрьской косы

Во всех описаниях эстуария р. Большой, будь это научные труды или заметки случайных путешественников, непременно говорится об удлинении Октябрьской косы в южном направлении или, что в данном случае равнозначно, о смещении устья эстуария на юг. Этот процесс был замечен в XVIII–XIX вв. [Сгибнев, 1869 (раздел 1650-1772); Дитмар, 1901], наблюдался весь XX в. [Крынин, 1913; Материалы..., 1950; Разработка..., 1982], происходит и в настоящее время (рис. 2.10).

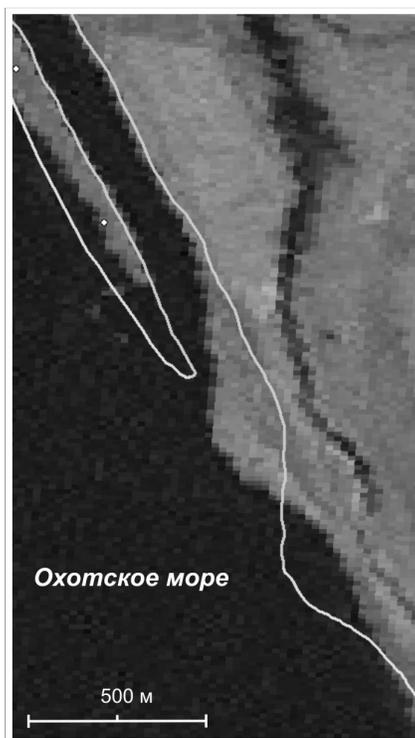


Рис. 2.10. Устье эстуария р. Большой в 2001 и 2005 г. (на космический снимок 2001 г. наложен контур береговой линии 2005 г.)

Характеристики удлинения Октябрьской косы. Для того чтобы оценить величину и интенсивность удлинения косы нужно иметь точные сведения о положении ее оконечности в разные годы. Для XVIII в. эти сведения ограничиваются двумя сообщениями: согласно первому из них р. Большая «пала устьем в Пенжинское море в ширине $52^{\circ}45'$ » [Крашенинников, 1755, с. 27], а по второму устье р. Большой было в ~ 7 км к югу от «Амчигачева яра» [Экспедиция..., 1852, с. 83]. Координаты оконечности косы по этим сообщениям расходятся на 5 км, но учитывая невысокую точность астрономических определений того времени, оба свидетельства приходится принимать во внимание в равной степени. В результате, можно утверждать лишь то, что в середине XVIII в.

устье эстуария было в районе современного Микояновского лимана (между 27 и 32 км на рис. 2.1). Для XIX в. достоверных сведений нет совсем. И на-

оборот, существует довольно много надежных свидетельств относительно динамики косы в XX в., самые точные из которых сведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Интенсивность удлинения Октябрьской косы в XX в. (расчеты автора)

Год	Длина косы, км	Величина, м / интенсивность прироста, м/год	Источник
1914	20.7	–	Лоция побережий РСФСР [Давыдов, 1923]
1936	24.3	3 600 / 164	Эскизный проект автогужевой дороги... [1937]
1950	26.4	2 100 / 150	Аэрофотоснимок (из фондов ИВиС ДВО РАН)
1972	29	2 600 / 118	космический снимок [http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp]
2007	34.5	5 500 / 157	космический снимок [Google Earth]

Исходя из данных табл. 2.4, оконечность косы с 1914 по 2007 г. переместилась к ЮЮВ на 13.8 км, а средняя интенсивность удлинения составила 150 м/год. (Развитие косы в XVIII–XIX вв. будет рассмотрено ниже).

Механизм удлинения Октябрьской косы в XX в. Ключ к пониманию процесса удлинения косы дает сравнение контуров береговых линий за 1950 и 2000-е гг. На рис. 2.11 видно, что удлинение Октябрьской косы сопровождалось размывом морской террасы на левом (материковом) берегу эстуарного водотока. Приблизительные расчеты показали, что:

1. В 1950–2005 гг. на удлинение косы потребовалось ~19.6 млн м³ песка и гравия (искомый объем получен умножением длины участка косы, образовавшегося за эти годы, на среднюю площадь поперечного сечения этого участка, вычисленную на основе нивелирования косы и промеров глубин на ее подводном склоне).
2. За тот же период ~18.2 млн м³, т.е. более 90% необходимого объема наносов (расчет объема сделан по аналогии с предыдущим случаем), могло поступить от размыва левого берега эстуария, сложенного песком и галькой (о механизме размыва см. ниже).
3. В 1950–2005 гг. в эстуарий поступило ~6.6 млн т речных наносов. В пересчете на объем² это составляет 3.3 млн м³, или ~17% объема материала, необходимого для удлинения косы. Однако если учесть то, что более

² при плотности 2 т/м³ (плотность печано-гравийного грунта на Октябрьской косе, величина принята по данным измерений изыскательской партии Камчатавтодора)

90% твердого стока рек приходится на мелкие взвешенные наносы, полученная оценка роли речного стока в формировании Октябрьской косы выглядит сильно завышенной.

4. Абразия морского берега севернее м. Левашева за последние 60 лет могла привести к поступлению в береговую зону не более 3.6 млн м³ наносов (и то, если использовать максимальную оценку отступления берега — 0.7 м/год). Из этих наносов менее 10% приходится на песчано-галечные фракции (см. разд. 2.3.2). Следовательно, абразия севернее мыса могла обеспечить не более 2% объема материала, необходимого для удлинения косы.

Помимо упомянутых источников, некоторое количество материала для формирования косы могло поступить с подводного берегового склона.

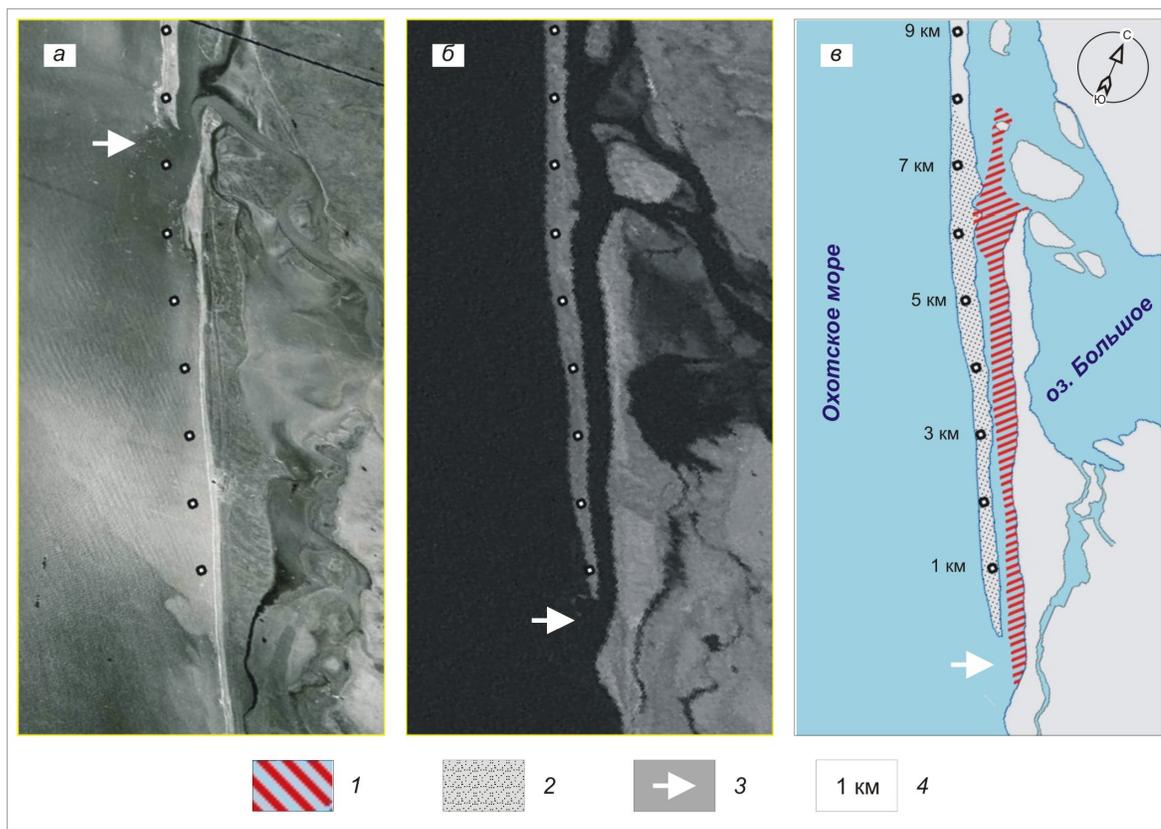


Рис. 2.11. Приморская часть эстуария р. Большой (*а* — аэрофотоснимок 1950 г. [из архива ИВиС ДВО РАН]; *б* — космический снимок [<http://glcfapp. umiacs. umd.edu:8080 /esdi/index.jsp>]; *в* — карта, составленная по GPS-съемке автора, 2005 г.): 1 — размывтая за 1950–2005 гг. часть материкового берега; 2 — сформировавшаяся за тот же период часть Октябрьской косы; 3 — положение устья эстуария; 4 — расстояние от оконечности Октябрьской косы в 2005 г. (пространственное положение точек на снимках и карте одинаковое)

Исходя из вышесказанного, размыв морской террасы на левом берегу эстуария следует признать основным источником наносов для удлинения косы. Сделанный вывод вполне согласуется с наблюдениями других исследователей: В.П. Зенкович отмечал тот факт, что на Камчатке малые реки выносят песок, вымываемый из морских отложений в устьевых лагунах [Зенкович, 1962], а в работе [Поротов, Селиванов, 1997] в отношении берегов Корякии сказано, что «основная часть речных выносов, поступающих в море, формируется в результате размыва сточными течениями бортов лагун». Конечно, реальный вклад размыва террасы в формирование Октябрьской косы несколько меньше расчетной величины — часть поступивших в береговую зону наносов теряется на истирание в прибрежной зоне или уносится морскими течениями и волнами.

Теперь попробуем разобраться с тем, как именно удлиняется Октябрьская коса. Поскольку этот вопрос спорный, сначала опишем комплекс эрозионно-аккумулятивных форм в районе устья эстуарного водотока, а затем предложим свою трактовку исследуемой проблемы. Промеры 2005 г. показали, что у оконечности косы находится довольно обширная область аккумуляции наносов, которая от материкового берега отделяется эрозионной стоково-отливной ложбиной (рис. 2.12). Как будет понятно из дальнейшего описания, эта область представляет собой полигенетическое образование, помимо прочего, сочетающее в себе черты устьевого бара и устьевой косы (для простоты, всю эту форму мы будем называть устьевым баром). Часть устьевого бара постоянно находится под водой, а часть сохнет в отливную фазу. Мористая граница устьевого бара выпуклая, идет по дуге от оконечности косы до материкового берега, к которому подходит южнее аккумулятивного выступа. Мористее бара, на подводном склоне, были зафиксированы аккумулятивные валы. Визуальные наблюдения также показали, что правый берег эстуарного водотока не разрушается, в то время как левый (материковый) берег наоборот, активно размывается; причем, чем ближе к морю, тем сильнее. Размыв материкового берега обусловлен действием морских волн, которые в приливную фазу на 2–3 км проникают в эстуарный водоток (в отливную фазу этому препятствует устьевой бар и сильное стоково-отливное течение).

Основываясь на вышесказанном, предположим следующую схему удлинения Октябрьской косы. Продукты разрушения материкового берега увлекаются стоково-отливным потоком, который выносит их из эстуарного водотока в море (рис. 2.12). Здесь, в непосредственной близости от оконечности косы, наносы отлагаются под действием встречного волнения и уменьшения скорости течения стоково-отливного потока. Часть наносов сразу же идет на формирование устьевого бара, а другая часть поступает на подводный склон. Затем начинается следующий этап переотложения наносов, когда они с подводного склона перемещаются морскими волнами обратно к берегу (при этом эрозионная ложбина эстуарного водотока служит естественной границей перемещения аккумулятивных валов). В результате, гребень устьевого бара постепенно повышается. Благодаря значительным приливам, наносы на устьевом баре могут отлагаться выше отливного уровня моря, поэтому часть гребня бара рано или поздно выходит на поверхность. С этого времени начинается формирование пляжа полного профиля — нового участка косы. Поскольку коса наращивается от границы эрозионной ложбины в сторону моря, ее тыловой склон становится значительно длиннее морского (в отличие от тех пляжей, за которыми находится спокойная лагуна или ровное пространство [Сафьянов, 1996]). Коса растет в ширину и высоту до тех пор, пока, с одной стороны, на подводном береговом склоне не иссякнут запасы продуктов разрушения эстуарного берега, а с другой стороны, не выработается профиль равновесия берега, при котором форма пля-

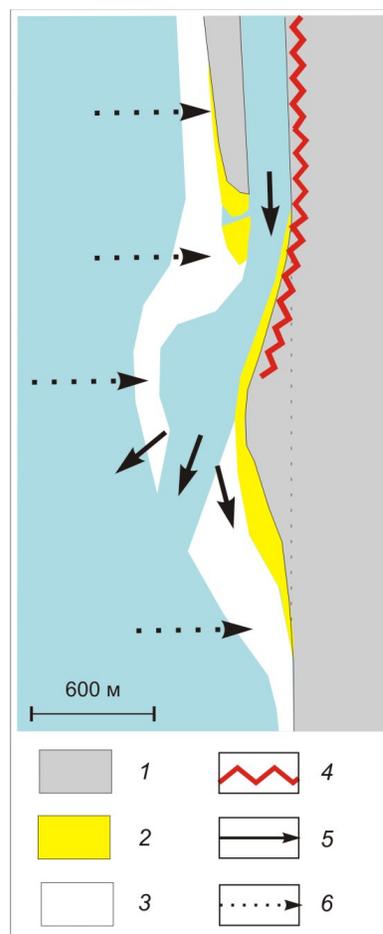


Рис. 2.12. Схема устья эстуария р. Большой: 1 — Октябрьская коса и материковый берег; 2 и 3 — область волновой аккумуляции наносов (включая устьевой бар); 4 — размываемый берег; 5 — перемещение наносов стоково-отливным потоком; 6 — перемещение наносов под действием волн

жа и подводного берегового склона будут соответствовать характеристикам морского волнения [Зенкович, 1962].

Одновременно с удлинением косы смещается аккумулятивный выступ, передняя (северная) сторона которого размывается стоково-отливным потоком, а тыльная нарастает благодаря аккумуляции наносов, поступающих из эстуария (рис. 2.12). (Возможно, что наличие подобной аккумулятивной формы — асимметричного выступа одностороннего питания по В.П. Зенковичу [1962] — может служить признаком того, что коса удлиняется описанным выше образом, а не благодаря существованию вдольберегового потока наносов в море).

Важно подчеркнуть, что в данном случае речь идет не просто об удлинении косы, а о направленном смещении единой морфологической системы, состоящей из оконечности косы, устьевого бара, аккумулятивного выступа, подводных валов на береговом склоне, эрозионной ложбины и участка размыва материкового берега в эстуарном водотоке. Система существует не менее ста лет (см. описания в лоциях [Давыдов, 1923; Де-Ливрон, 1907]), и все это время она непрерывно и с почти одинаковой интенсивностью смещается на ЮЮВ. По нашему мнению, главная движущая сила этого процесса — совместная деятельность стоково-отливного потока и морского волнения, а необходимое условие — морские приливы. Также можно предположить, что направление смещения системы обусловлено действием вдольбереговых течений в море, отклоняющих к югу стоково-отливный поток из эстуария.

Если исходить из предположения, что в последние 60 лет коса формировалась по одной схеме и с приблизительно одинаковой интенсивностью, то с помощью морфологического анализа рельефа можно дать оценку продолжительности отдельных этапов этого процесса. Примерно за два года на месте эрозионной ложбины образуются осыхающие в отливную фазу мелководья (формируется устьевой бар). В последующие два года отметки «новой» части бара повышаются на 3 м, ее гребень выходит на поверхность моря и начинается формирование пляжа полного профиля. Вскоре после этого на «новой» части косы появляются первые очаги луговой растительности. Затем ~25 лет требуется на то, чтобы ширина и высота косы увеличились вдвое

(рис. 2.13), а ее тыловой склон полностью зарос луговой растительностью. По-видимому, все эти годы коса формируется из тех наносов, которые попали на подводный склон из размытого берега эстуарного водотока. И, наконец, еще 30–40 лет требуется для завершения процесса формирования «нового» участка косы. Скорее всего, в этот период велика роль поступления наносов с подводного склона.

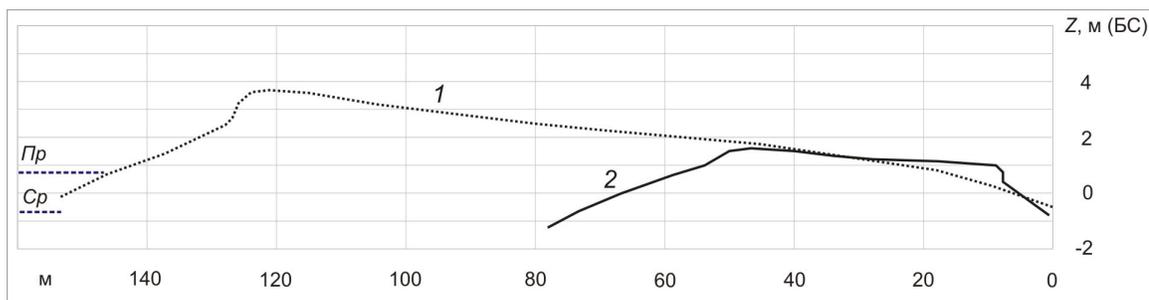


Рис. 2.13. Поперечные профили Октябрьской косы (июль 2005 г.): 1 — в 3,7 км от оконечности косы; 2 — в 50 м от оконечности косы; *Cp* — средний за лето уровень моря; *Pr* — уровень сизигийных полных вод в море

О механизме формирования косы в первой половине XX в. можно судить по следующим признакам: 1) средняя интенсивность удлинения косы в этот период была такой же, как в 1950–2007 гг. (табл. 2.4); 2) образовавшийся участок косы по своему строению идентичен более позднему (см. разд. 2.3.2); 3) в средней части эстуарного водотока обнаруживаются остатки размытой морской террасы (цепь островов, см. разд. 2.3.3); 4) в начале XX в. в устье эстуарного водотока были точно такие же формы рельефа — аккумулятивный выступ, эрозионная ложбина, устьевой бар — что и в настоящее время (см. [Давыдов, 1923; Крынин, 1913]). Совокупность этих фактов свидетельствует в пользу того, что в 1914–1950 гг. Октябрьская коса удлинялась по описанной нами схеме. Единственное отличие заключалось в том, что размытая в те годы терраса, по-видимому, была неширокая, поэтому образовавшийся участок косы оказался уже, чем более поздний (см. табл. 2.2).

Механизм удлинения Октябрьской косы в XVIII–XIX вв. Как говорилось выше, этот период в развитии косы и эстуария освещен крайне скудно. Помимо двух сообщений о положении устья в середине XVIII в., мы имеем только указания на то, что коса удлинялась: «...устье реки с 1748 г. стало отходить к югу, а прямое старое в 1750 г. вовсе было замыто» [Сгибнев, 1869,

с. 72 (раздел 1650–1742)] и «...проток из залива в море ... с каждым годом уходит все больше к югу» [Дитмар, 1901, с. 561]. Осложняют анализ имеющиеся сообщения о возможном прокопе косы у ее основания в «дорусские времена» [Дитмар, 1901, с. 560] и во второй половине XIX в. [Воронин, 1924]. Оба сообщения переданы со слов старожилов, отчего их достоверность сомнительна (особенно если принять во внимание то, что постоянное поселение на косе появилось только в XX в.). Поэтому здесь мы выскажем лишь несколько предположений о динамике косы, которые основаны на простом анализе ее морфологии.

От Первой речки до середины о. Томилова (19.5–13 км, рис. 2.1) форма косы аналогична таковой на более южном участке. Также в этом районе эстуарного водотока есть отмели, которые могут быть остатками размытого берегового бара (морской террасы). Исходя из этого можно предположить, что этот участок косы формировался по той же схеме, что и в XX в. А если это так, то его образование можно датировать 1870–1914 гг.

На участке 26–19.5 км коса состоит из двух валов: мористый имеет обычную для всей косы высоту, а тыловой ниже. Схема развития косы на этом участке не ясна, однако можно предположить, что в его пределах было не только равномерное удлинение косы, но и резкое изменение ее длины в результате присоединения отдельных частей размытого ранее берегового бара (морской террасы). Также возможно, что на этом участке коса многократно переформировывалась. По всей вероятности, этот участок образовался раньше, чем предыдущий, но позже посещения эстуария экспедицией Левашева (см. выше), т.е. в 1770–1870 гг.

В районе Микояновского лимана коса на отдельных участках состоит из двух валов, однако бережной имеет очень малую высоту и скорее всего возник под действием волнения в лимане. Здесь полностью отсутствуют условия для исследованного нами процесса размыва и переотложения наносов из морской террасы, поэтому вероятно, что данный участок является частью древнего берегового бара, перекрытого современными отложениями с подводного склона. Здесь уместно вспомнить, что С.П. Крашенинников, очень пытливый и скрупулезный исследователь, в своей книге не отметил факта

смещения устья эстуария, хотя ко времени его работы Большерецкая гавань уже 20 лет принимала корабли, и подобное явление должно было быть заметным. Исходя из перечисленных доводов, можно предположить, что в тот период, когда здесь было устье эстуария, длина косы была стабильна или изменялась в незначительных пределах (подобно многим другим западнокамчатским устьям [Динамика..., 1971, с. 122]).

Возможные варианты развития Октябрьской косы. Удлинение Октябрьской косы рано или поздно закончится ее прорывом: чем больше аккумуляющая емкость эстуария и дальше его устье от реки, тем меньше способность стоково-отливного потока поддерживать устье эстуария в свободном состоянии (например, из-за уменьшения уклонов водной поверхности в эстуарном водотоке). Пока мы не можем оценить длительность периода, остающегося до возможного прорыва, но можем предположить, что прорыв случится: а) со стороны эстуария (как в устье р. Камчатки, см. параграф 4.1); б) в период повышенного речного стока (в половодье или сильный паводок); в) на ослабленном хозяйственной деятельностью участке косы в районе Микояновского лимана, на котором во время ежегодного ремонта автодороги систематически нарушается форма морского пляжа (см. разд. 2.3.2). Также непонятно как будет развиваться «новая» коса после прорыва «старой» (т.е. современной). Если новое устье эстуария образуется в районе Микояновского лимана, то в силу отсутствия условий, необходимых для описанного выше процесса удлинения косы, положение устья эстуария может стабилизироваться на неопределенный срок. Но если косу прорвет ниже лимана, то возможно повторение современного цикла удлинения косы. При этом «старую» косу полностью размывает.

Гидрологические последствия удлинения Октябрьской косы. Удлинение косы приводит к соответствующему смещению пределов действия морских факторов в эстуарии — приливов, волнения, нагонов и т.д. В результате этого гидрологический режим отдельных частей эстуария сильно изменяется: во времена С.П. Крашенинникова Микояновский лиман в прилив заполнялся морской водой [Крашенинников, 1755, с. 28], а теперь вода в нем всегда пресная. Кроме этого, из-за удлинения Октябрьской косы сильно изменяется

форма эстуария: в середине XVIII в. он ограничивался пределами Микояновского лимана [там же], а теперь в его состав входит оз. Большое.

2.4.2. Смещение Октябрьской косы к берегу

Многие исследователи побережья Охотского моря писали о смещении пересыпей (аналогичных Октябрьской косе аккумулятивных форм) к берегу [Каплин и др., 1991; Поротов, Селиванов, 1997]. Обычно этот вывод основывался на том, что на Западной Камчатке пересыпи залегают на погребенных торфах [Динамика..., 1971]. Причиной надвигания пересыпей считаются сильные шторма, в период которых морские волны перекачиваются через гребни пересыпей и перемещают большое количество наносов на их тыловой склон [Зенкович, 1962].

Таким образом, надвигание пересыпей на берег считается закономерным явлением в процессе их развития, имеющим определенные последствия для расположенных за ними эстуариев. Но в случае с эстуарием р. Большой и Октябрьской косой это не совсем так, и вот почему. В районе эстуария есть все перечисленные выше признаки смещения тела пересыпи в сторону материкового берега: на морском пляже в северной части Октябрьской косы присутствуют выходы торфов, бурение на косе выявило их залегание под толщей морских отложений [Динамика..., 1971], по всей длине косы видны следы перемещения морских наносов на ее тыловой склон. Но при этом, сравнение снимков эстуария за 1950 и 2007 г. показало, что видимое положение эстуарного берега косы за этот период практически не изменилось. Иными словами, за последние 60 лет коса если и сместилась в сторону берега, то не более чем на 10–15 м. На первый взгляд, вывод об отсутствии смещения косы в сторону берега вступает в противоречие с наличием в ее теле погребенных торфов. Но все становится на свои места, если исходить из того, что Октябрьская коса является частью берегового бара, протянувшегося на сотни километров вдоль берега Западной Камчатки. Таким образом: 1) коса изначально образовалась на погребенных торфах и лагунных отложениях, которые выходят на поверхность при размыве морского края косы; 2) срок жизни косы, как формы, отделяющей эстуарий от моря, настолько мал, что продолжающееся медленное надвигание бара на берег на ней почти не отражается.

В сравнении с только что описанным явлением, для современного эстуария р. Большой гораздо важнее то, что за последние 60 лет на некоторых участках косы ее морской край отступил на 20–30 м. Очевидно, что уменьшение ширины косы повышает вероятность ее прорыва, т.е. приближает конец современного периода развития эстуария. В целом, морской край косы отступает с той же интенсивностью, что и на смежных с ним участках морского берега, поэтому это можно считать частью общего процесса, характерного для всего берега Западной Камчатки.

2.4.3. Осадконакопление в эстуарии

Учитывая, что специальных полевых работ по изучению осадконакопления в эстуарии р. Большой никем не проводилось, данный вопрос мы рассмотрим лишь в самых общих чертах.

В Микояновском лимане и оз. Большом должна осаждаться бóльшая часть речных наносов, поскольку при втекании в обширные и мелководные водоемы транспортирующая способность стоковых потоков сильно уменьшается. К тому же, осадконакоплению в лимане и озере способствуют заросли высшей водной растительности (как в лагунах Сахалина [Бровко, 1990]). Об отложении речных наносов свидетельствует наличие дельтовых островов и очень малые глубины вреза эрозионных ложбин в непосредственной близости от устьевых створов рек (см. разд. 2.3.3). Также в эстуарий могут попадать морские наносы: часть со штормовыми переливами через Октябрьскую косу, а часть — с морской водой в приливную фазу.

Накопление отложений в эстуарных водоемах приводит к их постепенному заполнению, особенно интенсивному в Микояновском лимане (на космических снимках хорошо видно, что низменность севернее лимана представляет собой заполненную отложениями бывшую часть эстуария). Возможно, что когда-нибудь лиман полностью заполнится наносами (как, например, некоторые лагуны Сахалина [Бровко, 1990]), и относительная доля русловой части эстуария сильно увеличится.

2.5. Гидрологические процессы

В этом параграфе исследуются процессы взаимодействия водных масс в эстуарии р. Большой в теплое время года³.

2.5.1. Неконтактное взаимодействие водных масс

Разделение процессов взаимодействия водных масс на неконтактные (распространяющиеся за пределы зоны соприкосновения водных масс) и контактные (локализованные в этой зоне) предложено в [Лупачев, 1984]. Согласно этому подходу, к «неконтактным» относятся все процессы, которые связаны с распространением в эстуариях длинных волн речного и морского происхождения, и под влиянием которых формируются уровенный режим и динамика вод в эстуариях.

Согласно нашим наблюдениям, сезонные колебания уровня воды в эстуарии р. Большой в теплую часть года обусловлены соответствующей изменчивостью речного стока (рис. 2.14). Из-за расплывания волн речного половодья и паводков, величина сезонных колебаний уровня воды уменьшается от верхней границы эстуария к нижней с ~2 до 1 м (табл. 2.5). (Отметим, что сезонные колебания уровня воды в Микояновском лимане больше, чем в р. Большой. Ниже будет показано, что это связано с влиянием приливов).

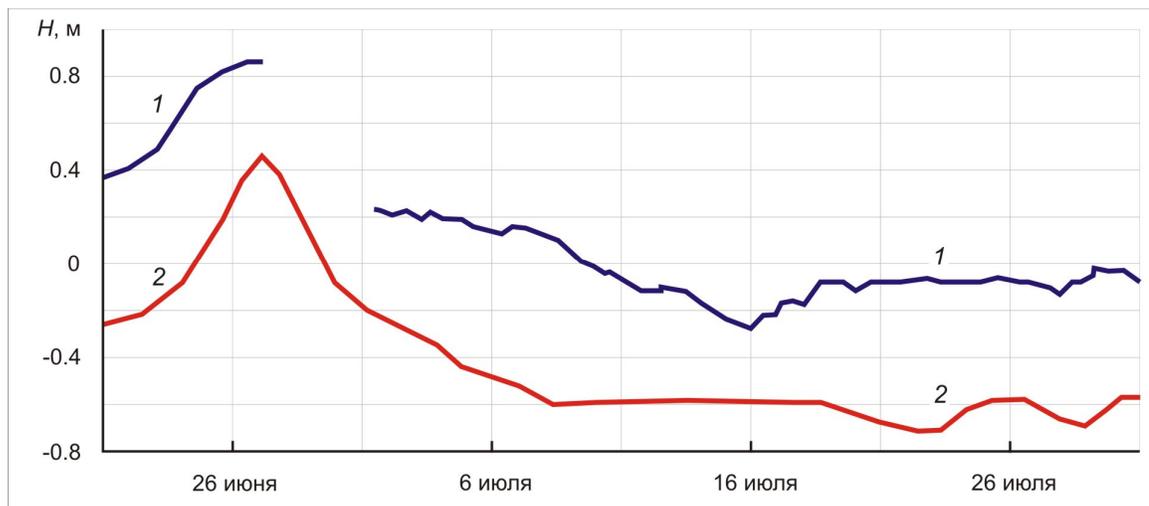


Рис. 2.14. Изменения уровня воды летом 2005 г.: 1 — в эстуарии р. Большой в 8.5 км от оконечности косы (суточные колебания уровня исключены методом 25 часового скользящего осреднения, отметки в БС); 2 — в р. Большой на посту Усть-Большерецк (отметки в условной системе высот)

³ в холодное время года полевых работ не проводилось — см. разд. 2.2.3

Таблица 2.5

Характеристики изменений среднего приливного уровня воды в эстуарии
р. Большой в теплое время года (расчеты автора диссертации)

Водный объект (в скобках — расстояние от оконечности косы до пункта наблюдений, км)	Отметки среднего приливного уровня воды в периоды сизигийных приливов, м (БС)		Величина сезонного изменения уровня, м
	при $Q=1450 \text{ м}^3/\text{с}^*$ (26 июня 2005 г.)	при $Q=350 \text{ м}^3/\text{с}^*$ (15 июля 2003 г.)	
Р. Большая (Усть-Большерецк)	–	–	1.8
Микояновский лиман (26 км)	2.1	0.0	2.1
Эстуарный водоток (3.7 км)	0.6	–0.4	1.0
Оз. Большое (о. Птичий, 13 км)	0.8	0.1	0.7

*р. Большая вместе с р. Амчигачей

Судя по данным наблюдений Дальморниипроекта (табл. 2.6), в холодную часть года (с ноября по апрель) сезонные изменения уровня воды в эстуарном водотоке достигают 0.8 м. Скорее всего, эти колебания обусловлены влиянием ежегодных осенне-зимних нагонов в море (см. разд. 2.3.6) и никак не связаны с колебаниями речного стока. Величины сезонных колебаний уровня в оз. Большом и Микояновском лимане не известны, но из-за удаленности водоемов от источника воздействия — моря они вряд ли превышают 0.8 м.

Таблица 2.6

Характеристики изменений среднего приливного уровня воды в эстуарии
р. Большой в холодное время года*

Водный объект	Отметки, м (БС)		Величина изменения уровня, м
	наибольшая	наименьшая	
Эстуарный водоток (1 км от оконечности косы)	0.12	–0.64	0.8

*рассчитаны автором диссертации на основе данных наблюдений Дальморниипроекта за январь–апрель и ноябрь–декабрь 1982 г. [Разработка..., 1982]

При сравнении данных таблиц 2.5 и 2.6 видно, что минимальные отметки среднего приливного уровня воды в эстуарном водотоке в теплое и холодное время года очень близки. И это несмотря на то, что в зимнюю межень сток р. Большой в несколько раз меньше, чем летом (см. рис. 2.9). Отсюда можно сделать три вывода: 1. Приведенные в табл. 2.5 характеристики сезонных колебаний среднего приливного уровня воды в эстуарии являются экстремальными для всего года. 2. При уменьшении расходов воды в реке до некоторой характерной величины (примерно до $300\text{--}350 \text{ м}^3/\text{с}$), средний при-

ливный уровень воды в эстуарии перестает зависеть от водного стока р. Большой и определяется только средним приливным уровнем Охотского моря. 3. Сезонные колебания среднего приливного уровня воды в эстуарии в течение всего года происходят над относительно постоянным горизонтом, определяемым средним годовым уровнем моря.

Под действием приливов средний приливный уровень воды в эстуарии р. Большой изменяется с полумесячной периодичностью. В периоды пониженного речного стока эти колебания хорошо заметны по всей эстуарии и составляют ~0.2 м; в периоды повышенного речного стока они могут маскироваться волнами половодья и паводков. Общей закономерностью для всего эстуария является то, что в периоды сизигийных приливов средний приливный уровень выше, чем в периоды квадратурных приливов (при постоянном речном стоке). Это явление объясняется тем, что в сизигийные приливы эстуарий наполняется водой, а в квадратурные приливы его объем частично сбрасывается (подробнее о водообмене см. в разд. 2.5.2).

Морскими приливами в эстуарии р. Большой возбуждаются значительные суточные и полусуточные колебания уровня воды, величина которых уменьшается по мере удаления пункта наблюдений от моря (рис. 2.15, табл. 2.7).

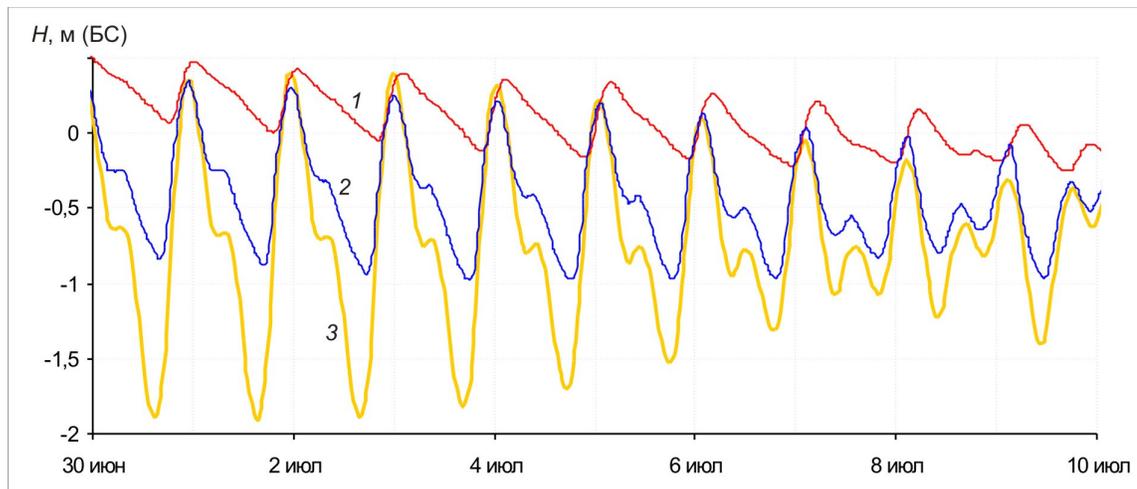


Рис. 2.15. Изменение уровня воды в 2003 г.: 1 — в Микояновском лимане (26 км от оконечности косы); 2 — в эстуарном водотоке (3.7 км); 3 — в Охотском море

Как видно из табл. 2.7, помимо расстояния от моря, размах изменений уровня воды в эстуарии зависит от величин речного стока и приливов в море:

в межень суточные колебания уровня воды больше, чем в половодье, а в сизигии больше, чем в квадратуры.

Таблица 2.7

Характеристики приливных колебаний уровня воды в эстуарии р. Большой в теплый период года (расчеты автора)

Место, расстояние от оконечности косы	Расход воды в р. Большой, м ³ /с			
	1450	950	625	350
Величины приливов в квадратуру и сизигию, м				
Охотское море	1.1–2.6			
Эстуарный водоток (3.7 км)	0.3–0.7	0.4–1.0	0.5–1.3	0.8–2.0
Микояновский лиман (26 км)	0	0	0.1–0.2	0.2–0.5
Оз. Большое (о. Птичий, 13 км)	0.1–0.2	0.2–0.4	0.2–0.5	0.2–0.4
Коэффициенты приливов*				
Охотское море	1			
Эстуарный водоток (3.7 км)	0.25	0.37	0.49	0.75
Микояновский лиман (26 км)	0	0	0.09	0.20
Оз. Большое (о. Птичий, 13 км)	0.06	0.15	0.21	0.15

*в сизигию и квадратуру коэффициенты одинаковы

По особенностям трансформации приливной волны в эстуарии р. Большой можно выделить несколько характерных участков: устье эстуария (район устьевого бара), эстуарный водоток и эстуарные водоемы (табл. 2.8).

Таблица 2.8

Характеристики затухания приливной волны на разных участках эстуария р. Большой в период сизигийных приливов (лето 2003–2005 гг., расчеты автора)

Место	Расстояние от устья эстуария, км	Расход воды в р. Большой, м ³ /с		
		1450	625	350
Величина затухания, см				
Устье эстуария (устьевой бар)	0	110	72	40
Интенсивность затухания, см/100 м				
Эстуарный водоток	4–25.5	0.50	0.46	0.43
Оз. Большое (от входа в озеро до о. Птичий)	6.5–12	0.54	0.93	2.4

В районе устьевого бара приливная волна теряет от 15% (в межень) до 40% (на пике половодья) своей величины, причем все потери приходятся на период времени, близкий к низким малым водам (см. рис. 2.15). Это можно объяснить следующим. Когда уровень моря выше некоторой критической величины (во второй половине прилива и в первой половине отлива), глубины над устьевым баром достаточны, чтобы приливная волна свободно проникала в устье эстуария, и поэтому отметки полных вод в море и в приморской части

эстуарного водотока близки (рис. 2.16). Но тогда, когда уровень моря становится ниже критической величины (во второй половине отлива и в первой половине прилива), проникновению приливной волны препятствуют малые глубины над устьевым баром, вследствие чего отметки малых вод в море и в приморской части эстуарного водотока заметно различаются (рис. 2.16). Поскольку критическая величина уровня моря зависит от расхода стоково-отливного потока (при одной и той же глубине над устьевым баром бóльшему расходу потока соответствует бóльшая скорость его течения), регулирующая роль устьевого бара в половодье намного заметнее, чем в межень, а на пике половодья больше, чем на его подъеме или спаде (табл. 2.8, рис. 2.16).

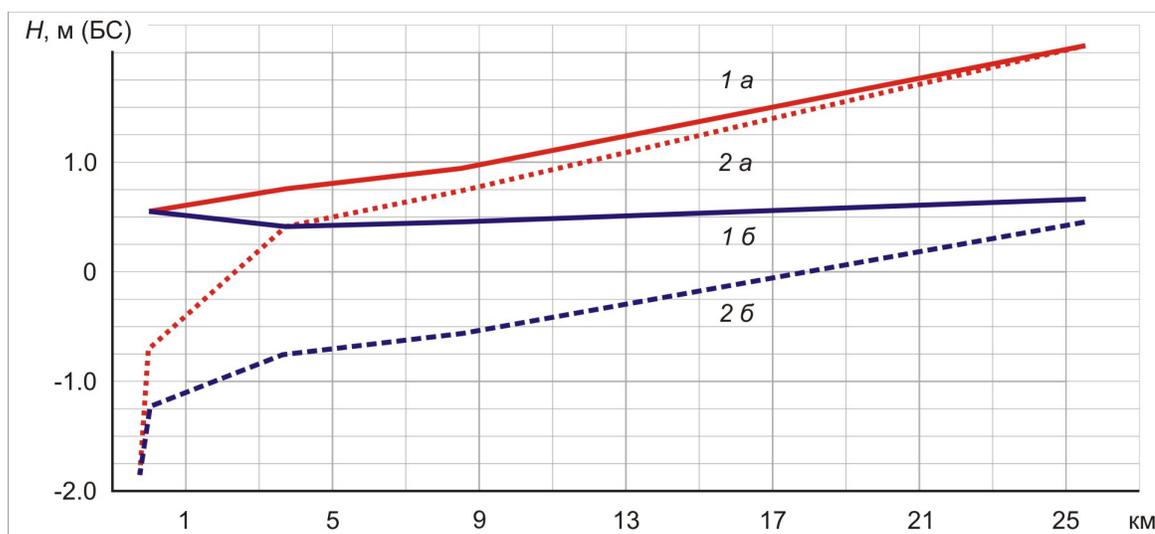


Рис. 2.16. Геометрическое место полных (1) и малых (2) вод в эстуарии р. Большой в периоды сизигийных приливов при различных расходах воды р. Большой (а — 1450 м³/с, б — 530 м³/с); расстояния даны от оконечности Октябрьской косы

В эстуарном водотоке приливная волна трансформируется под действием встречного стоково-отливного потока. В отличие от других участков эстуария, интенсивность затухания приливной волны в водотоке слабо изменяется по сезонам и составляет 0.4–0.5 см на каждые 100 м русла (табл. 2.8). Отсюда следует важная для всего эстуария закономерность: из-за неизменной величины пропускной способности эстуарного водотока, дальность проникновения приливов в эстуарии р. Большой определяется величиной затухания приливной волны в районе устьевого бара. Здесь же отметим, что пологая форма линии геометрического места полных вод и, наоборот, наклонная с

перегибом в приморской части форма линии геометрического места малых вод, которые заметны на рис. 2.16, типичны для приливных устьев рек при наличии в них устьевого бара [Михайлов, 1998].

В оз. Большом и Микояновском лимане приливная волна затухает из-за растекания вод на обширных и мелководных пространствах водоемов. В межень глубина на большей части водоемов не превышает 1 м, и поэтому интенсивность затухания приливной волны в этот период на порядок больше, чем при более высоком уровне воды в половодье (см. табл. 2.8). В целом, в водоемах приливная волна затухает интенсивней, чем в эстуарном водотоке.

И в эстуарном водотоке, и в эстуарных водоемах приливная волна сильнее всего трансформируется в отливную фазу (рис. 2.15). В водотоке это обусловлено отливным увеличением скорости стоково-отливного потока, а в водоемах — соответствующим уменьшением их глубины. Помимо прочего, трансформация приливной волны проявляется в ее перекашивании: чем дальше от морской границы эстуария находится створ наблюдений, тем короче приливная фаза и продолжительнее отливная фаза. Так, в море рост уровня в сизигийный прилив продолжается ~8 ч, а в озере и лимане — не более 5–6 ч. Перекашивание приливной волны и запаздывание времени наступления экстремумов уровня приводит к тому, что при полусуточных квадратурных приливах уровень воды в море и в наиболее удаленных частях эстуария изменяется в противофазе (рис. 2.15). При сезонном уменьшении стока р. Большой асимметрия приливов в эстуарном водотоке уменьшается, а в лимане и озере, наоборот, увеличивается.

Большой интерес представляет оценка вклада стоковой и приливной составляющих в формирование уровня режима эстуария. Поскольку изменчивость речного стока имеет сезонный характер, суточные и полумесячные колебания уровня воды в эстуарии связаны лишь с приливами в Охотском море. Что же касается сезонных колебаний, то они формируются при участии обоих факторов. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

На основе данных полевых наблюдений были рассчитаны, а затем сопоставлены между собой, продольные профили среднего приливного уровня воды и кривые свободной поверхности в эстуарном водотоке (рис. 2.17). Как

видно на рис. 2.17, влияние приливов на уровенный режим эстуария сказывается в том, что средний приливный уровень воды в эстуарном водотоке всегда выше стокового. Причем величина этого превышения непостоянна и изменяется в зависимости от: а) водного стока р. Большой (больше сток — больше превышение), и б) расстояния от устья эстуария (ближе к морю — заметней превышение). Таким образом, морские приливы вносят существенный вклад в сезонные колебания уровня воды внутри эстуария, «добавляя» к их стоковой составляющей 0.3–0.5 м (в Микояновском лимане это ~15% общей величины сезонных колебаний уровня, в оз. Большом ~40%, а в эстуарном водотоке от 15% в вершине до 100% в устье).

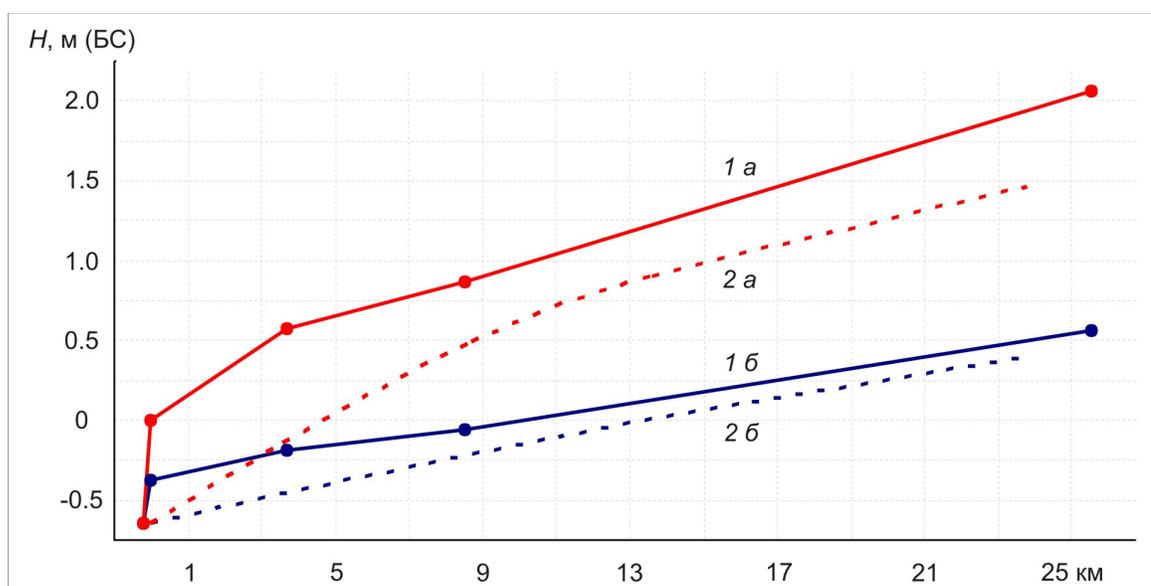


Рис. 2.17. Продольные профили среднего приливного уровня воды (1) и кривые свободной поверхности (2) для эстуария р. Большой при разных величинах водного стока р. Большой (а — $1450 \text{ м}^3/\text{с}$, б — $625 \text{ м}^3/\text{с}$); расстояния даны от оконечности Октябрьской косы; расчеты сделаны для двух сизигийных приливов на пике и спаде половодья 2005 г.

Кривые свободной поверхности рассчитаны при участии студента Д.В. Мишина с помощью метода Н.Н. Павловского [Чугаев, 1975]. При расчете кривых не учитывалось влияние разветвления эстуарного водотока в районе о. Томилова, а также влияние оз. Большого. Используемый в расчетах коэффициент шероховатости (0.025) был определен автором диссертации по фактическим данным о величинах и суточной изменчивости скорости течения, глубины и уклона водной поверхности на трех участках эстуарного водотока. Расходы воды в вершине эстуария задавались равными расходам р. Большой в те дни, для которых построены профили среднего приливного уровня воды. Уровень моря в течение суток считался постоянным и равным своему среднему для июля 2005 г. значению).

2.5.2. Контактное взаимодействие водных масс

Водообмен и водообновление. О водообмене через речную границу эстуария р. Большой следует сказать лишь то, что он односторонний и целиком определяется водным режимом р. Большой (характеристики водообмена см. в разд. 2.3.5). Что же касается водообмена через морскую границу эстуария, то, как показали наши наблюдения, он значительно сложнее: во-первых, он двусторонний, а во-вторых, его характеристики зависят как от речных, так и от морских факторов. Рассмотрим поподробнее различные аспекты этого процесса.

Наблюдения показали, что морская вода проникает в эстуарий только в приливную фазу, ближе к высоким полным водам. При этом объем морской воды, поступающей в эстуарий, обратно пропорционален величине речного стока, и прямо пропорционален величине морских приливов — следовательно, изменяется с сезонной и полумесячной периодичностью (рис. 2.18).

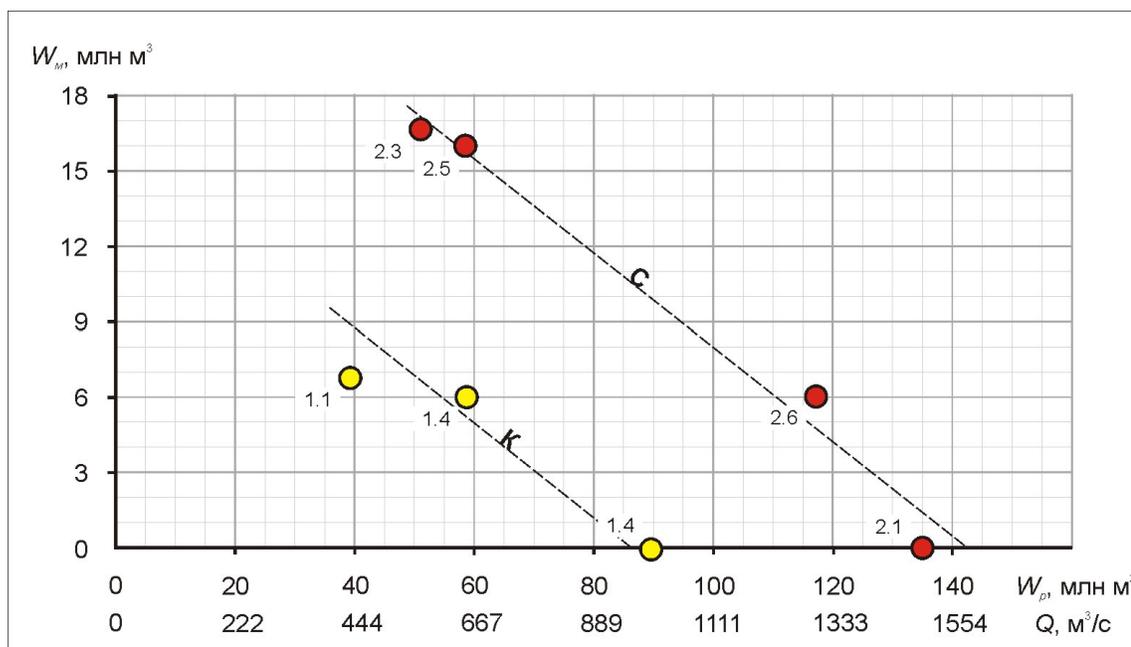


Рис. 218. Зависимость объема притока морских вод в эстуарий р. Большой от речного стока и приливов в Охотском море в теплое время года: подписи рядом с точками соответствуют величинам больших приливов в море (м); С — сизигийные приливы; К — квадратурные приливы; W_m и W_p — объемы морской и речной воды, поступившие в эстуарий за лунные сутки (25 ч); Q — суммарный речной расход

Из рисунка видно, что при $Q < 1000 \text{ м}^3/\text{с}$ морская вода с каждым приливом проникает в эстуарий; при $1000 \text{ м}^3/\text{с} < Q < 1500 \text{ м}^3/\text{с}$ это происходит лишь в

сизигии, а при $Q > 1500 \text{ м}^3/\text{с}$ это явление отсутствует вовсе. (Отметим, что в данном случае эмпирические данные подтверждают теоретические положения: расчет критического расхода воды по плотностному числу Фруда (см. разд. 1.1.7) дает величину $\sim 1550 \text{ м}^3/\text{с}$). Принимая в расчет характеристики водного режима р. Большой (см. разд. 2.3.5), можно сделать вывод, что ежедневное присутствие морской воды в эстуарии р. Большой — явление обычное, оно наблюдается в течение всего года и ограничивается только в короткие периоды максимума весеннего половодья (при этом отметим, что в теплый период года в отливную фазу осолоненная без остатка стекает в море).

Из-за отсутствия необходимых наблюдений, зависимости на рис. 2.18 нельзя распространить в область низких речных расходов, характерных для периода осенней межени. Но, учитывая, что в эстуарии р. Большой дальность проникновения морской (точнее, осолоненной) воды при $Q < 400\text{--}600 \text{ м}^3/\text{с}$ остается постоянной (см. ниже), можно предположить, что при малом речном стоке объем притока морской воды близок к тому, что зафиксирован при указанных речных расходах и отражен на рис. 2.18.

Приливный характер водообмена между эстуарием и морем находит свое отражение в рельефе эстуарного водотока — отметки дна в нем заметно понижаются в сторону моря (см. рис. 2.8). Это объясняется двумя взаимосвязанными процессами: 1. За лунные сутки через поперечное сечение приморской части эстуарного водотока проходит не только речная вода, но и морская, которая в приливную фазу проникает из моря в эстуарий, а в отливную стекает обратно в море. Причем количество морской воды, участвующей в водообмене, уменьшается по мере удаления створа наблюдений от моря (табл. 2.9). 2. Движение вод в приморской части эстуарного водотока неравномерно — в моменты смены вод оно останавливается, а ближе к полным и малым водам заметно ускоряется. Поэтому максимальный стоково-отливный расход воды превосходит стоковый, и величина этого превышения закономерно увеличивается от вершины эстуарного водотока к его устью (табл. 2.9). В итоге, для нормального пропуска максимальных стоково-отливных расходов воды, площадь поперечного сечения эстуарного водотока должна увеличиваться по направлению к морю, что в данном случае достигается уве-

личением глубины. Нельзя не отметить, что в этом явлении прослеживается аналогия с воронкообразными эстуариями, в которых участие морской воды в водообмене приводит к формированию устьевого расширения.

Таблица 2.9

Характеристики водообмена через эстуарный водоток по данным наблюдений 30.06.–10.07. 2003 г. (расчеты автора)

Приливы	В, м	Q, м ³ /с	Расстояние от устья водотока, км			
			4.5	22	4.5	22
			Q _{ср эст} /Q _р , КОЛ-ВО раз		Q _{макс эст} /Q _р , КОЛ-ВО раз	
С	2.3	564	1.7	1	2.6	1.3
К	1.1	435	1.4	1	2.8	1.2

В — большая величина прилива в Охотском море; Q — суммарный речной расход; Q_{ср эст} — средний за 25 ч расход воды в эстуарном водотоке вне зависимости от направления течения воды; Q_{макс эст} — максимальный стоково-отливный расход воды в эстуарном водотоке; С — сизигийные приливы; К — квадратурные приливы

Перейдем к общим вопросам водообмена эстуария с рекой и морем. Соотношение влияния речных и морских факторов на этот процесс можно оценить по долям притока речных и морских вод в приходной части водного баланса эстуария. Результаты соответствующих расчетов представлены в табл. 2.10. Из данных таблицы следует, что: 1. Приток речных вод всегда больше притока морских вод, т.е. влияние первого фактора более значимо, хотя и не подавляюще (в летнюю межень и сизигийных приливах объем притока морских вод достигает 1/3 суточного притока речных вод). 2. Соотношение долей притока речных и морских вод изменяется с сезонной и полумесячной периодичностью, что должно отражаться (и отражается) на всех гидрологических процессах внутри эстуария.

Таблица 2.10.

Относительные объемы поступления вод в эстуарий р. Большой (расчеты автора)

Дата	Приливы	В, м	Q, м ³ /с	Доли речных и морских вод в суммарном объеме поступивших вод, %
24.–25.06.2005	С	2.6	1300	95 и 5
02.07.2005	К	1.4	990	100 и 0
22.–23.07.2005	С	2.5	650	79 и 21
28.–29.07.2005	К	1.4	650	91 и 9
30.06.–01.07.2003	С	2.3	564	75 и 25
08.–09.07.2003	К	1.1	435	85 и 15

О результирующей водного баланса эстуария можно судить по изменениям уровня воды в нем. Как и все другие гидрологические характеристики внутри эстуария, эта величина (результирующая ВБ) изменяется с сезонной и

полумесячной периодичностью. Так, на подъеме волн половодья и паводков эстуарий наполняется речной водой (в сизигии более интенсивно, в квадратуры — менее), а на спаде этих волн объем воды в эстуарии срабатывается (в квадратуры больше, а в сизигии — меньше). При невысоком и стабильном речном стоке в летнюю межень эстуарий наполняется речной водой в периоды сизигий, а срабатывается в квадратуры.

Из-за большой величины суточного притока воды, в теплое время года вода в эстуарии р. Большой полностью обновляется не более чем 1–2 сут. В целом, для исследуемого эстуария оправдана модель водоема-вытеснителя, в соответствии с которой каждая новая порция воды вытесняет старую не смешиваясь с ней.

Динамика и структура зоны смешения. Анализ $T-S$ диаграмм (пример на рис. 2.19) показывает, что в эстуарии р. Большой между собой взаимодействуют только две первичные водные массы — речная и морская. И это закономерно, поскольку интенсивное водообновление и отсутствие замкнутых котловин в эстуарии препятствуют формированию вторичных водных масс.

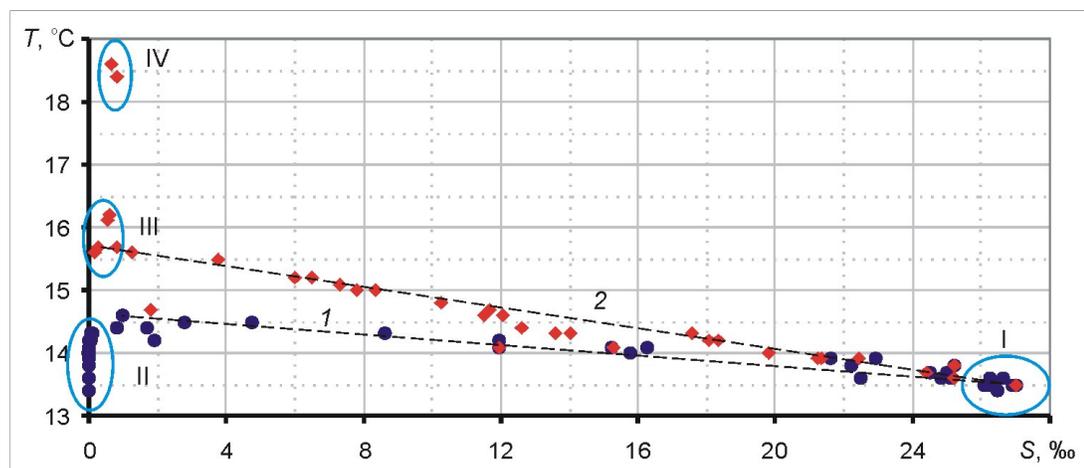


Рис. 2.19. $T-S$ диаграмма водных масс (ВМ) в эстуарии р. Большой: *I* — морская ВМ (устье эстуария); *II* — речная ВМ; *III*, *IV* — речные и смешанные воды, прогретые в приморской и средней частях оз. Большого; *1* — прямая смешения водных масс в водотоке; *2* — прямая смешения водных масс в оз. Большом

За тот небольшой интервал времени, который первичные водные массы находятся внутри эстуария, они успевают лишь немного нагреться и частично смешаться между собой. Рассмотрим этот вопрос подробнее. Наши наблюдения показали, что в период низких малых вод (НМВ) весь эстуарий за-

нят речной водой, а зона смешения водных масс (ЗС) находится на устьевом взморье. В приливную фазу, обычно через 3–4 ч после НМВ в море, морская ВМ проникает в эстуарий. По эстуарному водотоку она перемещается в виде «клина», средняя скорость движения которого составляет 2–2.5 км/ч (в квадратуры медленнее, а в сизигии быстрее). В большую часть года морская вода достигает оз. Большого, в котором она активно смешивается с речной водой под действием ветрового волнения. Кроме этого, ВМ смешиваются на фронте движения «клина» в эстуарном водотоке. После наступления высоких полных вод (ВПВ) движение «клина» прекращается, спустя еще некоторое время начинается отток морской и смешанной воды (для удобства объединим их термином «осолоненные воды») из эстуария. В отливную фазу в верхнем слое эстуарного водотока в море стекает речная вода, а в нижнем слое в том же направлении текут осолоненные воды. Благодаря смешению, объем осолоненных вод больше объема проникшей в эстуарий морской воды, поэтому их отток продолжается дольше, чем приток морской воды в приливную фазу.

Помимо суточных перемещений ЗС мигрирует с сезонной и полумесячной периодичностью. Так, на пике половодья мощный речной поток вытесняет эту зону на устьевое взморье. При среднем речном стоке и сизигийных приливах ЗС охватывает почти половину эстуарного водотока и приморскую часть оз. Большого (см. рис. 2.22) , а при квадратурных приливах она ограничивается лишь приморской частью водотока.

На рис. 2.20 в графическом виде представлена зависимость дальности проникновения «клина» осолоненных вод от речного стока и приливов в море. В целом, она имеет тот же характер, что и на рис. 2.18, однако есть и своя особенность: по мере уменьшения речного стока влияние квадратурных приливов приближается к влиянию сизигийных. Так, при $Q=650 \text{ м}^3/\text{с}$ осолоненные воды проникают в эстуарий на 5 км в квадратурные и на 10 км в сизигийные приливы, а при $Q\sim 500 \text{ м}^3/\text{с}$ уже на 10 и 11 км соответственно. При сопоставлении рис. 2.18 и 2.20 может возникнуть впечатление, что между ними есть противоречие — ведь получается, что при $Q\sim 500 \text{ м}^3/\text{с}$ дальность проникновения осолоненных вод в квадратуры и сизигии одинакова, а объемы притока морской воды в те же периоды различаются между собой в 2.5

раза. Но все становится на свои места, если учесть, что в сизигийные приливы морская вода полностью занимает приморскую часть водотока, а в квадратурные приливы она распространяется по его дну. Поэтому, при одинаковой длине участка осолонения, объем притока морской воды различен.

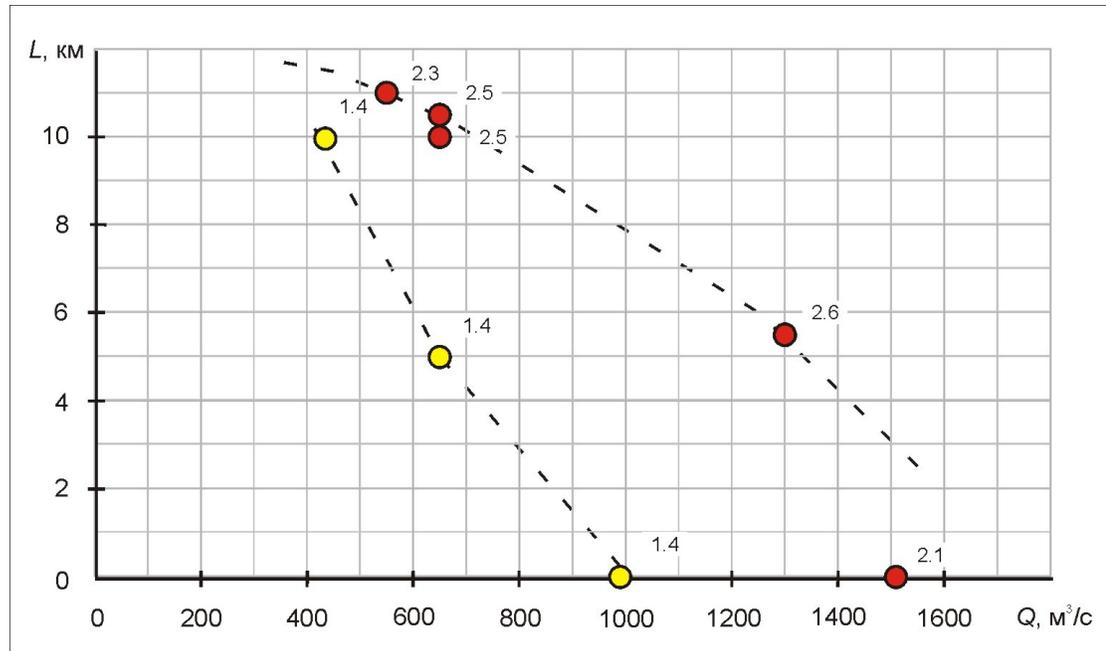


Рис. 2.20. Дальность проникновения осолоненной воды (L) в эстуарий р. Большой в зависимости от величин притока речной воды и приливов в Охотском море: подписи рядом с точками соответствуют величинам больших приливов в море (м); Q — суммарный речной расход

Большой практический интерес представляет собой оценка параметров a и b в формуле для определения дальности проникновения осолоненных вод $L_s = ahFr_p^{-b}$ (см. разд. 1.1.7). Для эстуария р. Большой величина b составляет - 2.93, что согласуется с величинами, полученными для других устьев рек [Михайлов, 1998], а величина a равна 0.55.

По нашим наблюдениям наибольшая дальность распространения осолоненных вод в эстуарном водотоке составляет ~11 км. Но, учитывая сообщения местных жителей, можно предположить, что при сочетании низкого речного стока, сизигийных приливов и морских нагонов дальность проникновения осолоненных вод может достигать 12–13 км.

Согласно нашим наблюдениям, сезонные изменения речного стока очень мало отражаются на средней скорости движения «клины» осолоненных вод по эстуарному водотоку. И наоборот, при различных расходах речной

воды неодинаково время начала движения осолоненных вод от устья эстуария: чем больше речной сток, тем позже (по отношению к НМВ в море) начинается движение «клина». Из этого следует, что в эстуарии р. Большой главным регулятором дальности проникновения осолоненных вод является устьевой бар. По-видимому, это связано с тем, что на баровых мелководьях вытекающий из эстуария поток имеет наибольший напор и скорость, и поэтому оказывает наибольшее сопротивление проникновению морской воды.

Зона смешения речной и морской водных масс в эстуарном водотоке почти горизонтальна — наклон изогалин здесь не превышает 1–3 м/км. (Температура речной и морской воды между собой различается не более чем на 3°C, поэтому градиенты плотности в ЗС возникают из-за различий в солёности воды). При этом существует закономерность, в соответствие с которой наклон изогалин в ЗС становится больше при уменьшении речного стока или увеличении приливов (рис. 2.21). Вертикальные градиенты солёности максимальны в средней части ЗС — ~25‰ на 2 м. Протяженность ЗС (горизонтальное расстояние между изогалинами 1и 25‰) в эстуарном водотоке составляет 1–2 км. В мелководном оз. Большом в процессе ветрового перемешивания ЗС размывается, и поэтому ее протяженность достигает 5–6 км.

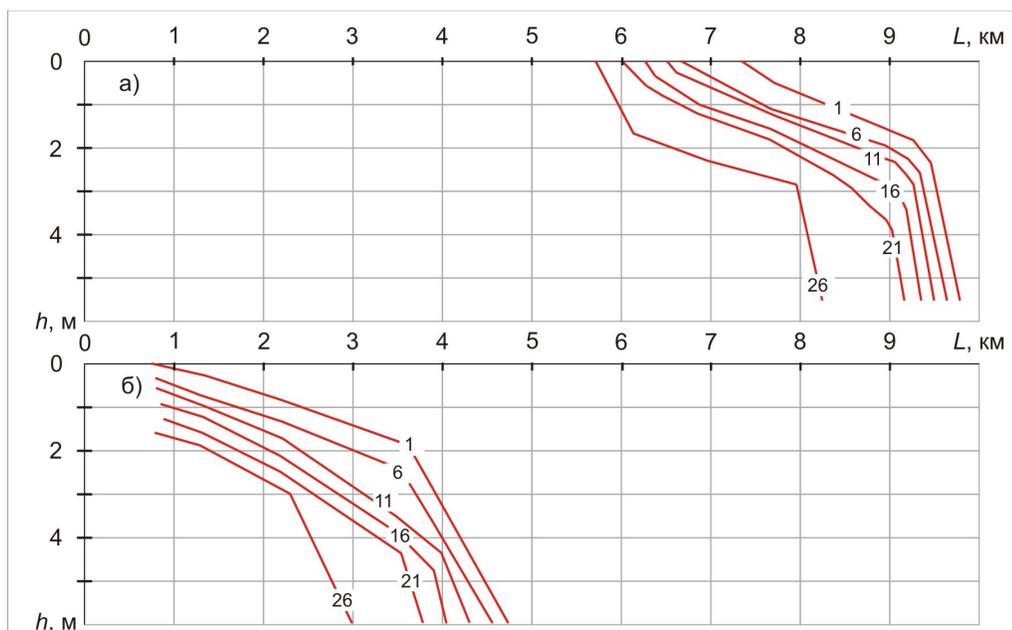


Рис. 2.21. Распределение солёности воды (‰) в эстуарии р. Большой в период времени, близкий к ВПВ: а) — в сизигийный прилив 22.07.2005 г.; б) — в квадратурный прилив 28.07.2005 г. (в обоих случаях при $Q=650 \text{ м}^3/\text{с}$); L — расстояние от оконечности Октябрьской косы; h — глубина

Приливные изменения гидрологических характеристик в эстуарном водотоке. Для более глубокого понимания изучаемых гидрологических процессов, целесообразно рассмотреть их проявления на отдельных участках эстуария. Ради упрощения задачи ограничимся анализом одного случая, относящегося к сизигийному приливу 30.06–01.07.2003 г. Суммарный речной расход в этот день составлял $560 \text{ м}^3/\text{с}$, величина прилива в море была $\sim 2.3 \text{ м}$, а дальность проникновения осолоненных вод $\sim 11 \text{ км}$.

Створ в 4.5 км от устья эстуария (рис. 2.22 и 2.23).

НМВ и ВПВ в этом створе наступили на $\sim 0.5 \text{ ч}$ позже, чем в море. В НМВ по эстуарному водотоку в море стекала хорошо перемешанная речная вода. По мере роста уровня V уменьшалась, а спустя 1.5 ч после НМВ ее направление сменилось на обратное. Еще через 1.5 ч у дна водотока появилась осолоненная вода. На короткое время в створе установилась сильная стратификация («клин» осолоненных вод, параметр стратификации $n > 1.0$). Перед наступлением ПВ соленость и обратная скорость течения воды — сначала у дна, а затем у поверхности — достигли своих максимумов. С этого момента вверх по руслу водотока текла хорошо перемешанная морская вода, скорость течения которой постепенно уменьшалась. Через 1.5 ч после ВПВ направление течения воды сменилось на прямое. Затем S стала постепенно уменьшаться (у поверхности бы-

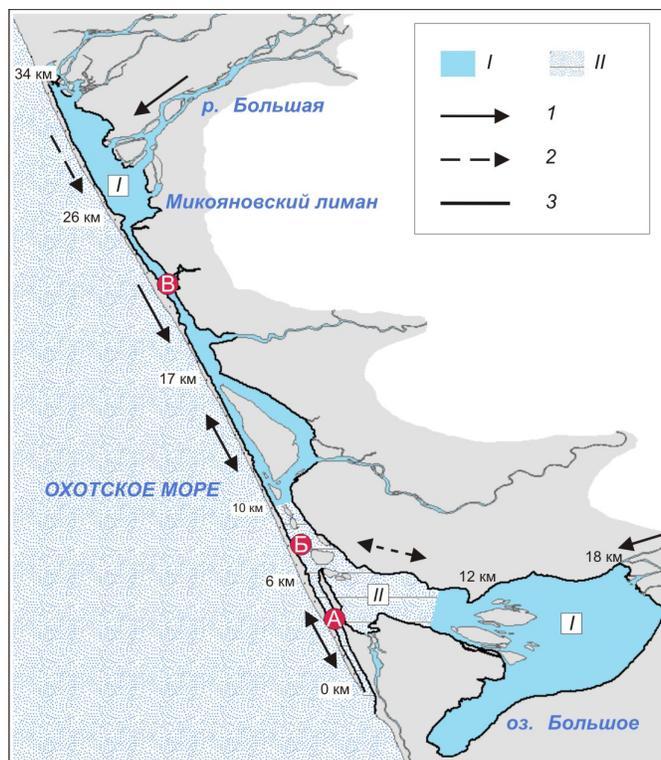


Рис. 2.22. Эстуарий р. Большой и его районирование по гидрологическим условиям: *I* — зона распространения речных вод; *II* — зона смешения речных и морских вод; А, Б, В — створы длительных наблюдений за гидрологическими характеристиками; *I* — стоковые и стоково-отливные течения в руслах водотоков; 2 — стоковые и стоково-отливные течения в водоемах; 3 — граница эстуария; 6 км, 10 км... — расстояния от устья эстуария (0 км)

С этого момента вверх по руслу водотока текла хорошо перемешанная морская вода, скорость течения которой постепенно уменьшалась. Через 1.5 ч после ВПВ направление течения воды сменилось на прямое. Затем S стала постепенно уменьшаться (у поверхности бы-

стрее, у дна медленнее) — через створ стекали смешанные воды из вышележащих участков эстуарного водотока и оз. Большого. Максимум прямой скорости течения наступил в конце первой трети отливной фазы. В продолжение всего времени стекания осолоненных вод в створе сохранялась сильная стратификация вод ($n > 1.0$). Перед НМВ S уменьшилась до минимума — через створ в море стекала хорошо перемешанная речная вода.

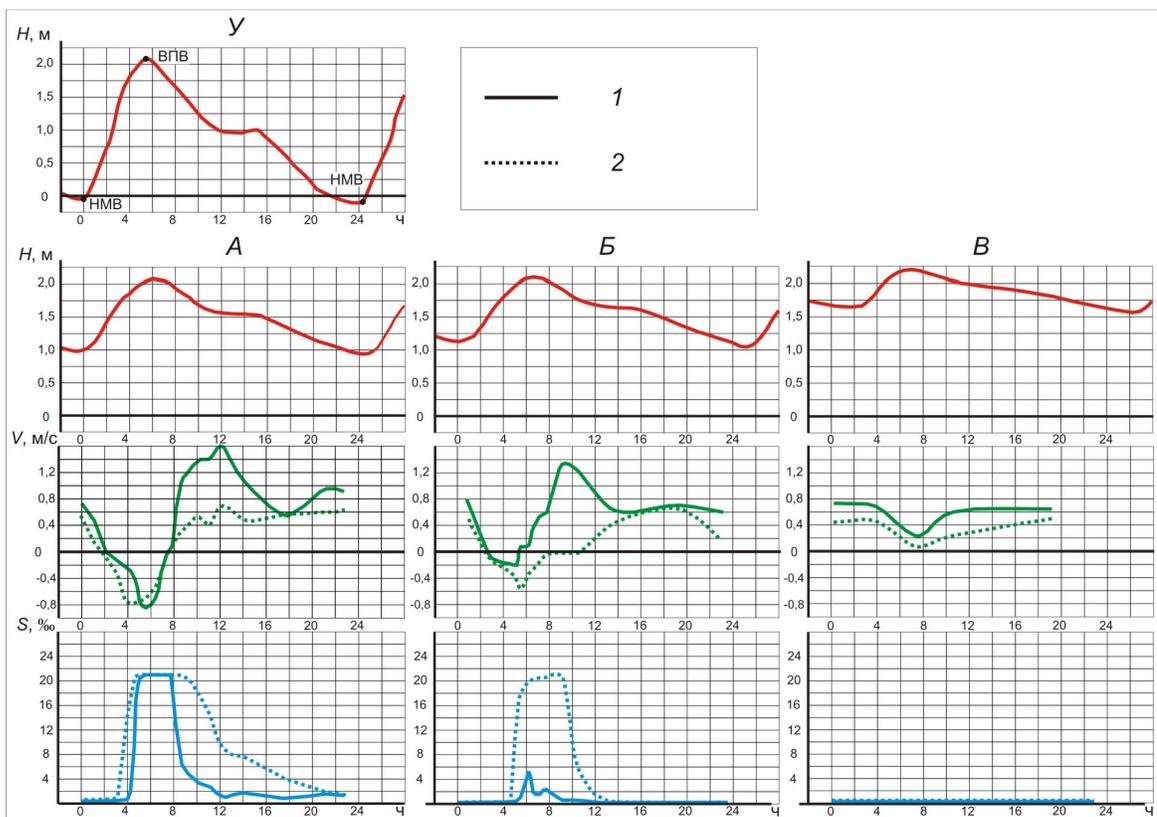


Рис. 2.23. Изменения гидрологических характеристик в эстуарии р. Большой за период прилива (отсчет времени от НМВ в устье эстуария): У — в устье эстуария; А — в 4.5 км от устья эстуария; Б — в 8 км от устья эстуария; В — в 22 км от устья эстуария; H — уровень воды, м усл.; V — скорость течения, м/с; S — соленость воды, ‰; 1 — в поверхностном горизонте; 2 — в придонном горизонте

Выделим характерные черты изменения гидрологических характеристик в рассматриваемом створе: В период приливного цикла направление течения воды менялось с прямого (в сторону моря) на обратное (в сторону реки), причем одновременно на всех горизонтах. Три четверти приливных суток направление течения воды было прямым (с максимумом у поверхности). Во время обратных течений максимум скорости находился у дна. У поверхности наибольшая величина прямой скорости (V_{max}^+) в два раза превышала максимальную величину обратной скорости (V_{max}), у дна $|V_{max}^+| \approx |V_{max}|$.

Результирующие течения на всех горизонтах были направлены в море. За период прилива S изменялась от речной до морской величины и обратно. В приливную фазу S увеличивалась значительно быстрее, чем уменьшалась в отливную фазу (2 и 12 ч, соответственно). Дважды за приливные сутки в створе наблюдалась сильная стратификация вод. В большую часть приливных суток (около 20 ч) в створе находились осолоненные воды.

Створ в 8 км от устья эстуария (рис. 2.22 и 2.23). НМВ и ВПВ в этом створе наступили на ~1.5 ч позже, чем в море. В НМВ через поперечное сечение эстуарного водотока в направлении моря стекала хорошо перемешанная речная вода. По мере роста прилива скорость течения уменьшалась, а спустя 2 ч после НМВ направление течения сменилось на обратное. Еще через 2 ч у дна водотока появились осолоненные воды. С этого момента в створе установилась сильная стратификация вод ($n > 1.0$). Скорость обратного потока быстро увеличивалась; одновременно увеличивалась соленость воды. Перед наступлением полных вод эти характеристики достигли своих максимумов (сначала у поверхности, а потом у дна). В этот период у поверхности в направлении реки текла осолоненная вода, а у дна — морская.

Затем обратная скорость начала уменьшаться — у поверхности очень быстро, у дна наоборот, медленно (в первом случае прямое течение восстановилось за 1 ч до наступления ВПВ, а во втором — через 4 ч после). То есть несколько часов в створе наблюдалась «эстуарная» циркуляция вод, при которой сильное течение у поверхности было направлено в море, а слабое течение у дна — в сторону реки. Вероятно, что это явление связано с втеканием в эстуарный водоток осолоненных вод из оз. Большого и возникновением в придонном горизонте водотока продольных градиентов плотности воды.

У поверхности максимум прямой скорости наступил в начале отливной фазы, а у дна — в конце ее второй трети. Так как за приливную фазу выше створа накопилось немного осолоненной воды, после восстановления прямых течений она довольно быстро стекла в сторону моря: уже через 6 ч после начала отлива в створе находилась хорошо перемешанная речная вода.

Итак, V в этом створе меняла свое направление на противоположное. При этом течения становились обратными одновременно на всех горизонтах,

а прямыми — сначала у поверхности, а потом у дна. Большую часть приливных суток направление течения воды было прямым (с максимумом у поверхности). В период обратных течений V_{max} находился у дна. Около 3–4 ч в створе существовала эстуарная циркуляция. У поверхности $V_{max}^+ \gg V_{max}$, у дна $|V_{max}^+| \approx |V_{max}|$. Результирующие течения на всех горизонтах были направлены в море. S у дна изменялась от речной до морской величины, а у поверхности повышалась лишь до 5%. В период присутствия осолоненных вод в створе наблюдалась сильная стратификация вод. В приливную фазу S увеличивалась значительно быстрее, чем уменьшалась в отливную фазу. В большую часть приливных суток (~16 ч) в створе текли речная вода.

Створ в 22 км от устья эстуария (рис. 2.22 и 2.23). НМВ и ВПВ наступили через 2 ч после экстремумов в море. В продолжение всего приливного цикла через поперечное сечение эстуарного водотока в море стекала хорошо перемешанная речная вода. Влияние приливной фазы проявилось в синхронном уменьшении скорости течения у поверхности и у дна. После начала отлива скорость течения вернулась к исходной величине.

2.6. Выводы

1. В настоящее время главным морфологическим процессом в эстуарии р. Большой является удлинение Октябрьской косы, отчленяющей этот объект от Охотского моря. Вследствие этого процесса изменяются как морфологическое строение эстуария, так и гидрологический режим его отдельных частей;
2. Неконтактное взаимодействие водных масс в эстуарии р. Большой проявляется в наличии значительных сезонных (в основном речного происхождения), полумесячных и суточных (возбуждаемых морскими приливами) колебаний уровня воды;
3. В эстуарии р. Большой главным следствием контактного взаимодействия речной и морской водных масс (собственные ВМ в эстуарии не формируются) является существование подвижной зоны смешения, положение которой в зависимости от сочетания речных и морских факторов изменяется с сезонной, полумесячной и суточной периодичностью.

ГЛАВА 3. ГИДРОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЭСТУАРИИ РЕКИ БОЛЬШОЙ ВИЛЮЙ

Глава посвящена гидролого-морфологическим процессам в эстуарии р. Большой Вилюй. Фактической основой исследования послужили результаты собственных полевых работ 2002–2007 гг., а также сведения из различных литературных и архивных источников.

3.1. Общие сведения об эстуарии

Эстуарий р. Большой Вилюй находится на гористом восточном (Тихоокеанском) побережье Камчатки, на берегу Авачинского зал. (рис. 3.1). Эстуарий принадлежит общей устьевой области рек Большой и Малый Вилюй, состоит из двух эстуарных водоемов (озер Большой и Малый Вилюй), а также водотока, соединяющего эти озера с океаном. От Авачинского зал. эстуарий отделяется песчаной косой-пересыпью шириной от 100 м в дистальной части до 700 м в прикорневой. Глубина в водоемах мала: в оз. Большой Вилюй она <6–7 м (средняя глубина в летнюю межень 2.9 м), а в оз. Малый Вилюй <1–1.5 м (средняя глубина при минимальном летнем объеме озера составляет 0.5 м). Площадь водной поверхности эстуария 6.4 км², длина 6.6 км (см. табл. 3.1). С эстуарием сообщается два пресноводных водоема — озера Пресное и Лиман.

Таблица 3.1

Морфометрические характеристики эстуария р. Большой Вилюй (расчеты автора)

Часть эстуария	Площадь поверхности, км ²	Длина, км	Ср. ширина, км	Объем*, тыс. м ³
Оз. Большой Вилюй	4.3	3.8	1.1	12 500
Оз. Малый Вилюй	1.4	3.8	0.35	670
Эстуарный водоток	0.7	2.7	0.25	344
Весь эстуарий	6.4	6.6	–	13 500

*в низкие малые воды квадратурного отлива в летнюю межень

В непосредственной близости от эстуария населенные пункты отсутствуют (раньше на берегу оз. Малый Вилюй находилось с. Вилюй, но в 1952 г. оно было разрушено цунами). На северном берегу оз. Большой Вилюй располагается Вилюйский лососевый рыбоперерабатывающий завод.

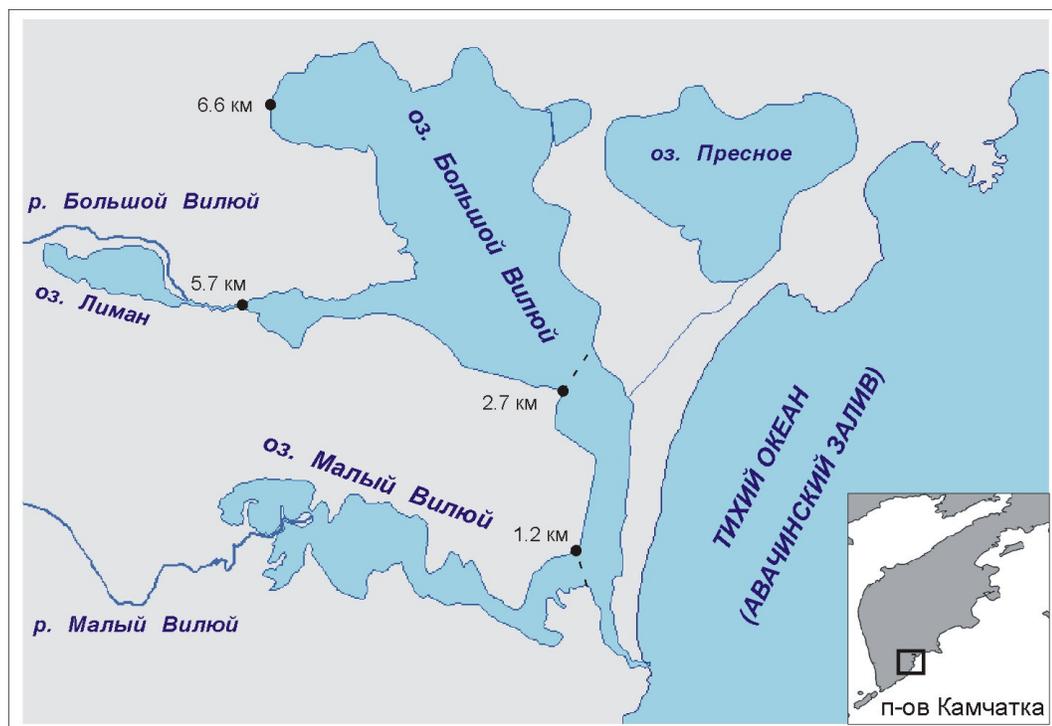


Рис. 3.1. Эстуарий р. Большой Вилюй (расстояния даны от устья эстуария, пунктиром показаны границы между отдельными частями эстуария)

3.2. Исходные материалы

Письменные и картографические свидетельства об эстуарии. Эстуарий р. Большой Вилюй никогда не имел большого хозяйственного значения для Камчатки — в нем не было (и не могло быть) порта; первый и единственный населенный пункт появился в начале 1930-х гг. и просуществовал всего два десятилетия; добыча рыбы в эстуарии всегда имела лишь местное значение. Поэтому неудивительно, что в истории изучения Камчатки эстуарий р. Большой Вилюй занимает очень скромное место.

Исходя из задач диссертации, внимания заслуживают следующие исследования в эстуарии: 1. Экспедиция КОТИРХа в 1934 г. (краткий отчет экспедиции [Фишман, Боль, 1934] — первое описание эстуария р. Большой Вилюй, в котором, помимо общих сведений, есть ценные данные по гидрохимии объекта). 2. Геодезическая съемка 1948 г., по материалам которой была составлена карта масштаба 1:50 000 (эта карта — первое достоверное картографическое изображение эстуария). 3. Экспедиции ГИН РАН в начале 1960-х гг. (в опубликованной по итогам экспедиции статье [Горшков, 1967] есть некоторые сведения о термальных источниках в районе эстуария).

4. Гидробиологические исследования ВНИРО и КамчатНИРО, выполняемые в эстуарии на протяжении последних десяти лет (основные результаты этих работ содержатся в научных отчетах институтов, часть из них была опубликована [Введенская, Мешкова, 2004; Горин, 2008 (1)]). 5. Экспедиция ИВиС ДВО РАН в 2006 г., результаты которой пролили свет на строение и динамику косы-пересыпи, отделяющей эстуарий от океана [Кравчуновская, устное сообщение].

Материалы собственных полевых исследований. Полевые работы в эстуарии р. Большой Виллой проводились под руководством автора диссертации летом 2002 и 2004 г., а также во все сезоны годового цикла с весны 2006 г. по лето 2007 г. включительно. Натурные исследования были направлены на: 1) определение морфометрических характеристик эстуария и косы-пересыпи; 2) изучение пространственно-временной изменчивости основных гидрологических характеристик эстуария и устьевого взморья (уровня, солености, температуры воды, содержания растворенного кислорода, скорости и направления течения); 3) изучение характеристик водного режима впадающих в эстуарий рек.

3.3. Физико-географические условия в районе эстуария

Рельеф суши. Эстуарий р. Большой Виллой находится в пределах Восточного вулканический района Камчатки — горной страны с большим количеством действующих вулканов и высокой сейсмической активностью [Горячев, 1960]. В этом районе преобладают две формы рельефа: нагорные плато и возвышающиеся над ними вулканические горы [Ресурсы, 1973]. Вблизи морского побережья рельеф плато сильно преобразован, и выглядит как системы небольших хребтов, ориентированных в различных направлениях (в районе эстуария р. Большой Виллой высота хребтов достигает 200–300 м над уровнем океана (рис. 3.2)).

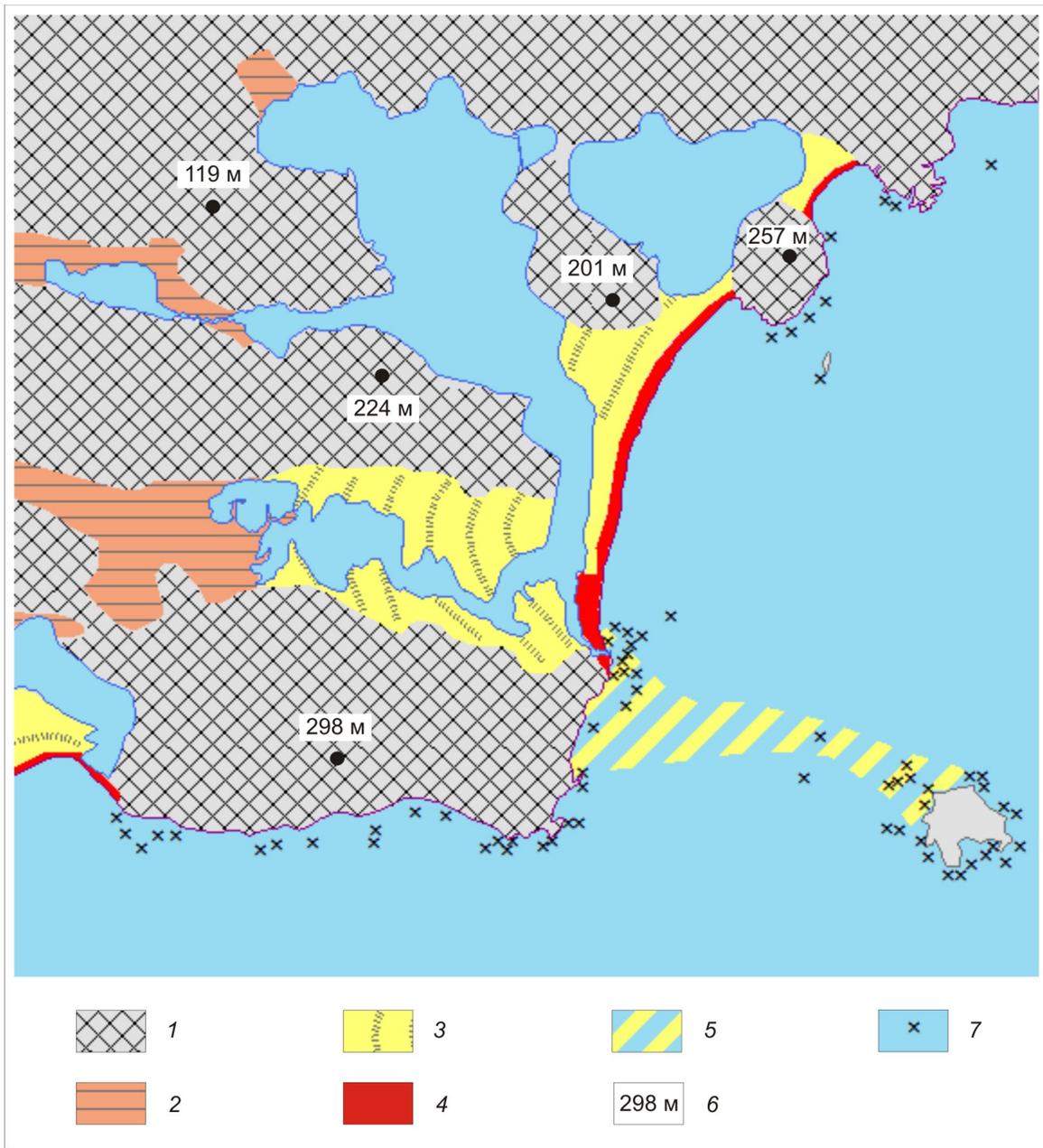


Рис. 3.2. Геоморфологическая схема района эстуария р. Большой Вилуй: 1 — возвышенности вулканического плато; 2 — поймы и дельты рек; 3 — морские аккумулятивные террасы с валами; 4 — современные морские аккумулятивные формы (пляжи); 5 — область аккумуляции наносов за о. Старичков; 6 — отметки высот (в м БС); 7 — камни и скалы на подводном береговом склоне

Морские берега. Берега Восточной Камчатки относятся к абразионно-денудационному типу [Бобыкина, 2000]. Доля аккумулятивных участков берега на восточном побережье Камчатки не превышает 20% [Берега, 1967], они представлены аллювиально-морскими береговыми равнинами, современными морскими террасами и пересыпями.

Берега Восточной Камчатки абрадируются под действием океанической зыби, ветрового волнения и приливов. Развитие склоновых процессов на береговых уступах связано с их приуроченностью к зоне тектонических нарушений, высокой сейсмической активностью побережья, а также климатическими особенностями этого района (большим количеством осадков и длительностью периодов с частой сменой положительных и отрицательных температур воздуха).

В районе эстуария р. Большой Виллой абразионно-денудационные участки морского берега находятся севернее и южнее косы-пересыпи, отделяющей эстуарий от океана (рис. 3.2). Эти участки представляют собой отвесные клифы, выработанные в береговых уступах высотой до 200–300 м. Пляжа у подножия клифов нет, здесь нагромождены обвалившиеся с береговых склонов крупные глыбы и валуны (фото 3.1). Аккумулятивный участок морского берега в районе эстуария представлен галечно-песчаной косой-пересыпью, о которой подробнее будет сказано в параграфе 3.4.



Фото 3.1. Эстуарий р. Большой Виллой: 1 — вид на эстуарий в сторону залива р. Большой Виллой (фото Е.А. Кравчуновской); 2 — оконечность косы-пересыпи (слева эстуарный водоток, справа Тихий океан; фото автора); 3 — абразионный берег (фото Е.А. Кравчуновской); 4 — камни у выхода из эстуария (фото автора)

Подводный береговой склон в районе эстуария приглубый — глубина в 1.2–1.5 км от берега достигает 20 м. Вблизи участков разрушаемого берега на подводном береговом склоне много камней, рифов и скал (их значительное скопление находится около устья эстуарного водотока (рис. 3.2, фото 3.1)). В 3 км от морского берега над поверхностью океана возвышается о. Старичков, в волновой тени которого к оконечности косы-пересыпи тянется широкая полоса мелководий с глубинами <10 м.

Берега и дно эстуария. Берега эстуария р. Большой Виллой — это либо высокие денудационные (в прошлом — абразионно-денудационные) уступы, выработанные в склонах прибрежных возвышенностей, либо заболоченные морские и аллювиальные равнины. Берега первого типа характерны для оз. Большой Виллой, второго — для оз. Малый Виллой (рис. 3.2).

Дно эстуария неоднородно. Так, оз. Большой Виллой занимает относительно глубокую котловину (рис. 3.3 и 3.4), которая от океана отделяется высоким порогом (скорее всего, образованным аккумулятивной деятельностью океана). Оз. Малый Виллой и эстуарный водоток находятся на поверхности морской террасы, их дно — это плоская аккумулятивная равнина, прорезанная эрозионной ложбиной. На своем нижнем 300-метровом участке русло эстуарного водотока врезано в поверхность современного морского пляжа («отливной осушки»). Следует отметить две важные особенности рельефа дна эстуария. Во-первых, многие особенности

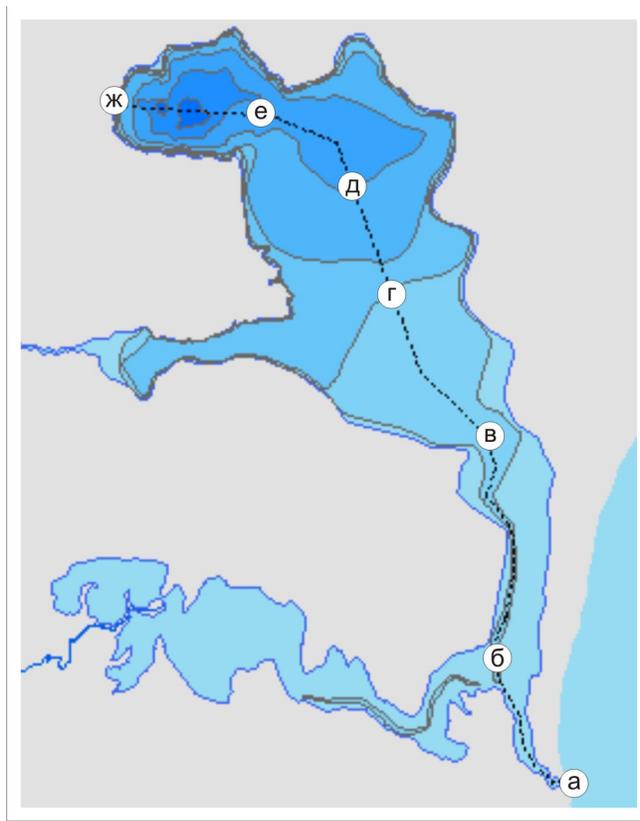


Рис. 3.3. Батиметрическая схема эстуария р. Большой Виллой (изобаты проведены через 1 м): а–ж... — линия продольного профиля глубин на рис. 3.4; а, б, в... — характерные точки на продольном профиле эстуария

во-первых, многие особенности

водообмена эстуария с Авачинским заливом связаны с тем, что отметки дна во внутренних (глубоководных) частях эстуария ниже минимального уровня в Авачинском зал., при этом максимальные отметки дна в эстуарной протоке близки к среднему уровню в заливе (рис. 3.4). Во-вторых, возможное существование термальных источников на дне эстуария обусловлено тем, что по долине р. Большой Вилюй, через оз. Лиман и далее на восток проходит линия тектонического нарушения северо-западного простирания [Поляк и др., 1965].

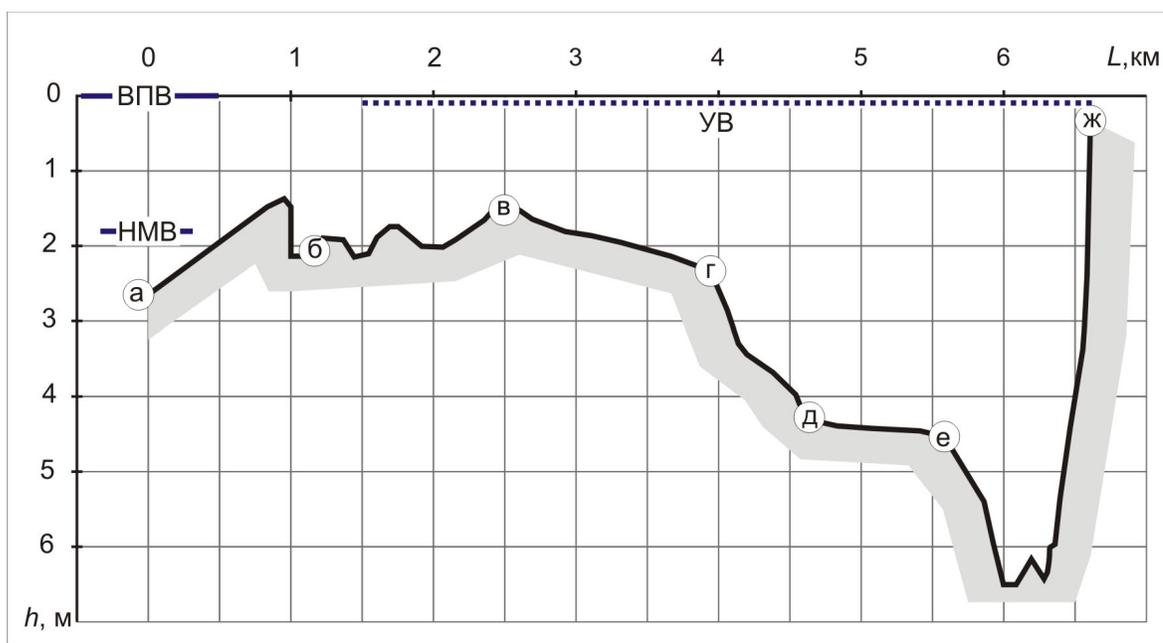


Рис. 3.4. Продольный профиль эстуария р. Большой Вилюй (расстояние от устьевого створа эстуария, глубина от сизигийных ВПВ в середине лета): а, б... — характерные точки на продольном профиле эстуария; УВ — уровень воды в эстуарии Большой Вилюй; ВПВ — уровень океана в сизигийные высокие полные воды; НМВ — уровень океана в сизигийные низкие малые воды

Донные отложения в глубоководной части оз. Большой Вилюй представлены водонасыщенными черными илами с сильным запахом сероводорода («жидкое» дно). Толстый слой ила залегает и на дне оз. Малый Вилюй, но запах сероводорода здесь значительно слабее. По нашим наблюдениям, в направлении океана содержание ила в донных отложениях озер уменьшается, одновременно в них становится больше песка. В эстуарном водотоке грунты состоят из морского песка с ракушей. Почти все дно эстуария (кроме его наиболее глубоководной части) покрыто зарослями зостеры.

Климат побережья Авачинского зал. морской умеренный, влажный [Кондратюк, 1974]. Интенсивная циклоническая деятельность над Беринговым морем обуславливает продолжительную, умеренно холодную, много-снежную и ветреную, с периодическими оттепелями зиму. Антициклогенез над Беринговым и Охотскими морями определяют короткое, умеренно теплое, облачное, с туманами и морозящими дождями лето. Из-за охлаждающего влияния Тихого океана весна на побережье затяжная, с неустойчивой погодой: нередко теплые и солнечные дни сменяются пасмурными и холодными. Осень короткая, но погода в это время года устойчивая, преобладают малооблачные, теплые и сухие дни. В отдельные дни возможны обильные осадки. Зима продолжается 4.5–5 мес (с середины ноября до первой половины апреля), весна — 2.5–3 мес, лето — 2.5–3 мес (со второй половины июня до второй половины сентября), осень длится 1.5–2 мес.

Среднегодовая температура воздуха в рассматриваемом районе 2.1°C, а средняя величина сезонного изменения температуры воздуха ~21°C (по метеостанции в г. Петропавловске-Камчатском [Научно-прикладной..., 2001]). Наиболее холодные месяцы года январь и февраль (-7.5°C), самый теплый — август (13.2°C). Зимой, особенно в ее начале, нередко бывают дни с положительной температурой воздуха. Безморозный период в среднем длится 5 мес (с середины мая до середины октября). Температура воздуха переходит через 0°C в середине апреля и в начале ноября. В течение суток температура воздуха изменяется мало: зимой и летом в среднем на 2.0–2.5°C, весной и осенью на 2.5–3.0°C. Максимальная за сутки температура воздуха обычно отмечается в 15 или 18 ч, а минимальная — в 6 или 9 ч (зимой экстремумы наступают позже, чем летом). Летом, в дни с выраженной бризовой циркуляцией, максимум температуры воздуха приходится на 10–11 ч, так как позже начинается перенос холодного воздуха с океана.

Осадки на побережье Авачинского зал. весьма обильные — за год выпадает около 1300 мм, из них по 40% в жидком и твердом видах, и 20% — в смешанном (по метеостанции в г. Петропавловске-Камчатском [Научно-прикладной..., 2001]). Жидкие осадки выпадают с апреля по декабрь, твердые — с октября по май. Наибольшее количество осадков приходится на на-

чало зимы (в ноябре 158 мм), наименьшее на начало лета (в июне 64 мм). Зимой, в сильные снегопады, может выпасть до 150 мм осадков в сутки [Кондратюк, 1974]. Снежный покров появляется в последних числах октября, через две недели он становится устойчивым. Сходит снег к середине мая. В начале зимы нередко выпадение смешанных осадков («ливневого снега»). Для района характерна большая высота снежного покрова — на защищенных участках до 1.5–2.0 м, а в низинах до 3 м и более [Кондратюк, 1974].

Скорость ветра на побережье Авачинского зал. отличается большими величинами — в среднем за год ~6 м/с, зимой возможны порывы до 40–50 м/с [Научно-прикладной..., 2001]. Ветренее всего зимой, спокойнее всего летом (средняя скорость ветра в декабре–марте 7–9 м/с, в июле–августе 3.7–4.7 м/с). Весной начинается бризовая циркуляция, летом она получает свое наибольшее развитие, а осенью заканчивается. В связи с этим, суточная изменчивость скорости и направления ветра летом хорошо выражена (с максимумом после полудня и минимумом ранним утром), а зимой почти не заметна.

Гидрологический режим впадающих в эстуарий рек. В эстуарий впадают реки Большой и Малый Вилюй, берущие начало на склонах г. Вилюй, а также несколько ручьев (рис. 3.1). Длина р. Большой Вилюй ~23 км, площадь водосбора ~65 км²; длина р. Малый Вилюй ~15 км, площадь водосбора ~27 км². Площадь водосбора всего эстуария ~115 км².

Поскольку притоки эстуария изучены слабо, об их гидрологическом режиме можно судить лишь в общих чертах. У большинства рек восточного побережья Камчатки основной фазой водного режима является весенне-летнее половодье, в которое проходит больше половины годового объема стока воды [Ресурсы..., 1973]. Половодье начинается в конце апреля или начале мая, своей наибольшей высоты достигает в первой половине июня. Спад половодья продолжается до конца августа. После окончания половодья на реках наступает сравнительно многоводная осенняя межень (сентябрь–ноябрь), в которую проходит 15–20% годового стока. Небольшие дождевые паводки обычно бывают на спаде половодья или осенью, по своему объему они не превышают десятой части годового стока. В отдельные годы возмож-

ны значительные паводки в ноябре или даже декабре. Зимняя межень (с декабря по апрель) многоводная, объем ее стока достигает 20–25% годового. Питание рек на восточном побережье Камчатки смешанное снеговое и дождевое.

Ориентировочные расчеты автора показали, что модуль стока в бассейне эстуария р. Большой Виллюй ~ 32 л/с км²; среднегодовой расход воды р. Большой Виллюй ~ 2.1 м³/с, р. Малый Виллюй ~ 0.8 м³/с, еще ~ 0.7 м³/с в эстуарий поступает из ручьев. Согласно нашим измерениям, на спаде половодья расход речных вод, поступающих в эстуарий составляет 3.5–4.5 м³/с.

По нашим данным, температура речной воды в течение лета постепенно растет с 5 до 10°C, а в особо жаркие дни вода в реках прогревается до 15°C. На космических снимках видно, что зимой 2002–2006 гг. реки не замерзали, хотя эстуарий покрывался льдом уже в самом начале зимы. Скорее всего, это свидетельствует о достаточно высокой температуре речной воды, что, в свою очередь, обусловлено поступлением в реки большого количества подземных вод. Вода в реках Большой и Малый Виллюй гидрокарбонатно-кальциевая, с минерализацией <100 мг/л.

Особо следует отметить, что в окрестностях оз. Большой Виллюй (на берегу оз. Лиман) есть термальный источник [Горшков, 1967]. Режим Лиманского источника имеет выраженную сезонность: максимум дебета приходится на осень (1.6 л/с в октябре 1965 г.), а минимум на конец зимы (0.2 л/с в марте 1966 г.). Температура воды в источнике изменяется от 17–18°C в марте–июне до 22–24°C в сентябре–октябре. В работах [Горшков, 1967; Фишман, Боль, 1934] предполагается наличие термальных источников и на дне оз. Большой Виллюй.

Гидрологический режим прибрежной части Авачинского зал. Приведенная ниже характеристика уровня режима дана нами по посту Петропавловск-Камчатский, термический и волновой режимы описаны по данным поста Петропавловский маяк [Атлас..., 1970], режим солености воды охарактеризован по материалам собственных наблюдений.

Сезонная величина колебаний уровня воды в Авачинском зал. составляет 20–40 см с зимним максимумом и летним минимумом. Приливы в при-

брежной части залива неправильные полусуточные, с продолжительным стоянием высокого уровня воды, обусловленным близостью отметок ВПВ, ВМВ и НПВ. Величина приливов зимой и летом достигает 1.7–1.9 м, весной и осенью — 1.3–1.6 м. Экстремумы уровня воды в заливе определяются сочетанием периодических и непериодических колебаний уровня, прежде всего приливов и нагонов. Нагоны чаще всего бывают осенью и зимой, весна и лето в этом отношении значительно спокойнее (судя по тому, что на гребне северной части косы-пересыпи нет свежих промоин (а он на 2 м выше уровня самых высоких в году ПВ), наибольшая величина нагонов в районе эстуария <2 м).

Среднегодовая температура воды в прибрежной части залива ~4°C. Летом вода прогревается до 12°C (в августе), зимой охлаждается до -1.5°C (в феврале). В особо теплые дни температура воды в заливе может достигать 20°C и более. Ледовые явления в Авачинском зал. отмечаются в январе–марте. Сплошного ледяного покрова в заливе не образуется, зимой в нем дрейфуют отдельные льдины и их скопления.

Соленость тихоокеанской воды в непосредственной близости от эстуария подвержена сезонной изменчивости — летом, при высоком речном стоке, она минимальна (~28‰), а в конце зимы, когда пресный сток с суши практически отсутствует, максимальна (до 31–32‰).

Океан у берегов Авачинского зал. почти никогда не бывает спокойным — даже если нет ветра, его поверхность взволнована зыбью. (На восточном побережье Камчатки среднегодовалый поток энергии зыби на три порядка больше потока энергии ветровых волн, поэтому в береговых процессах роль первого фактора гораздо важнее, чем второго [Бобыкина, 1981]). Штормовая активность в Авачинском зал. имеет сезонный характер: наибольшая повторяемость значительного и сильного волнения обычна для начала зимы, а наименьшая — для летнего периода. Максимальные высоты волн, которые были зафиксированы в прибрежной части залива, достигали 5–7 м и отмечались в декабре и январе [Атлас..., 1970].

Отметим также, что в Авачинском зал., вблизи эстуария, наблюдаются сильные приливные течения и сулои [Лоция..., 1938].

3.4. Морфологические процессы

Формирование и динамика косы-пересыпи. Проведенный нами в 2004 г. осмотр показал, что коса-пересыпь (в дальнейшем «пересыпь») состоит из нескольких генераций береговых валов, последовательно причленившихся друг к другу на протяжении длительного времени. (На местности граница между разными генерациями валов хорошо заметна по растительности, поскольку на древних валах растут береза и кедровый стланик, а молодые валы заселены травами и шиповником). Согласно исследованиям Т.К. Пинегиной и Е.А. Кравчуновской (ИВиС ДВО РАН, устное сообщение), самые древние из этих валов сформировались до 250 г. н. э, а самые молодые — в XX в. По мнению этих исследователей, за последние 1 500 лет пересыпь расширилась не более, чем на 50–150 м.

Если судить по внешним морфологическим признакам (дистальный конец пересыпи ориентирован на юг, причем в его районе находится значительное скопление морских наносов), то пересыпь образовалась благодаря вдольбереговому потоку наносов в Авачинском зал., направленному с севера на юг. Но автор диссертации склоняется к пока недоказанному мнению, что в формировании этой аккумулятивной формы (по крайней мере, ее «молодой», образовавшейся в последние столетия части) роль вдольберегового потока наносов второстепенна, а главным является поперечное поступление материала с подводного берегового склона. Вывод основан на отсутствии современного удлинения пересыпи, о чем можно уверенно судить на основе сравнения карт и космических снимков за последние 50 лет. Если вывод правильный, то: 1) аккумуляция наносов за о. Старичков (в том числе, и у оконечности пересыпи) объясняется уменьшением энергии восточного, т.е. нормального по отношению к пересыпи, волнения в «тени» этого острова; 2) современное положение устья эстуарного водотока связано не с динамикой пересыпи, а с тем, что это наиболее защищенное от морского волнения место в районе эстуария.

В большей части пересыпи воздействие морских волн ограничивается относительно узкой полосой прислоненного пляжа, что исключает саму возможность надвигания аккумулятивной формы на эстуарий. Лишь в дисталь-

ной части пересыпи ежегодно случаются переливания штормовых волн, забрасывающих наносы на ее тыловой склон. Однако и рассматриваемый участок пересыпи не смещается в сторону берега, поскольку этому препятствует эрозионная деятельность потока в эстуарном водотоке.

Необходимо обратить внимание на два фактора, характерные для Восточной Камчатки и воздействующие на пересыпь. Исходя из того, что составляющие пересыпь береговые валы имеют неодинаковую высоту (без закономерной связи между их возрастом и высотой) можно сделать вывод, что на протяжении всего времени существования этой аккумулятивной формы она подвергалась неоднократному воздействию разнонаправленных вертикальных движений земной коры (Е.А. Кравчуновская, устное сообщение). Последнее такое событие произошло в 1952 г., когда в результате девятибалльного землетрясения в Тихом океане обширный участок берега юго-восточной Камчатки

опустился примерно на 1 м [там же]. Кроме этого, возможно, что пересыпь неоднократно подвергалась воздействию волн цунами, о чем свидетельствует 2-х метровый перегиб на ее гребне (фото. 3.2).



Фото 3.2. Вид на пересыпь со стороны эстуарного водотока (южнее выхода из оз. Малый Вилюй, ~400 м от оконечности пересыпи. 2004 г., фото автора)

Динамика устья эстуарного водотока. Важно отметить, что в настоящее время направленного смещения устья эстуария не обнаружено. Но иногда, после особенно сильных штормов в Авачинском зал., устье водотока скачкообразно перемещается в сторону от своего первоначального положения на 50–100 м. Через несколько лет, после очередного очень сильного шторма, устье эстуария возвращается на прежнее место.

Опрос местных жителей показал, что почти ежегодно устье эстуарного водотока полностью заносится морскими наносами. Чаще всего это случается во время сильных осенне-зимних штормов в Авачинском зал. В этом случае

устье эстуария остается заблокированным вплоть до начала половодья, когда уровень воды в эстуарии быстро повышается и «плотина» в его устье прорывается. Таким образом, эстуарий почти каждую зиму оказывается изолированным от Авачинского зал. на срок до 3–5 мес. В теплое время года штормовые «замывы» (блокирование морскими наносами) устья эстуария случаются относительно редко и продолжаются недолго.

Разрушение материкового берега эстуарного водотока. Также как и в устье р. Большой, в приливную фазу морские волны проникают в эстуарий р. Большой Виллой и разрушают небольшой по протяженности участок материкового берега (древнюю морскую террасу) в приморской части эстуария. Затем продукты размыва террасы — песок и галька, — поступают в эстуарный водоток; часть из них приливными течениями переносится во внутренние районы эстуария (главным образом, в оз. Малый Виллой), а часть выносятся стоково-отливным потоком в Авачинский залив.

Заполнение эстуария отложениями. Судя по характеру рельефа и донных отложений в эстуарии, в его пределах активно осаждается вещество различного происхождения: приморская часть эстуария заполняется галькой и крупным морским песком, ближайшие к устьям рек части эстуария заносятся мелким речным песком, а в глубоководной части оз. Большой Виллой осаждается большое количество автохтонного органического вещества. Вероятно, что в отдаленном будущем (при условии отсутствия значительного повышения уровня океана) эстуарий может полностью заполниться отложениями.

3.5. Гидрологические процессы

В этом параграфе исследуются основные закономерности неконтактного взаимодействия, а также смешения и трансформации водных масс в эстуарии р. Большой Виллой на протяжении всех сезонов годового цикла.

3.5.1. Неконтактное взаимодействие водных масс

В свободное ото льда время года (с начала июня до начала декабря) в эстуарии р. Большой Виллой можно выделить периоды с повышенным и пониженным уровнем воды, связанные с основными фазами водного режима впадающих в него рек. Так, в первой половине июня средний приливный уровень воды в эстуарии начинает быстро повышаться, спустя 7–10 дней он

достигает своего максимума (на 0.2–0.5 м выше исходной величины), а затем также быстро падает (пример на рис. 3.5). Заканчивается половодье в первой декаде июля, его общая продолжительность составляет 15–30 сут. В июле–сентябре в эстуарии наблюдается устойчивая летняя межень, изредка прерываемая небольшими дождевыми паводками. В этот период средний приливный уровень воды в эстуарии на ~0.2 м ниже, чем перед началом половодья, и на 0.4–0.7 м ниже, чем на его пике. В период летних паводков средний приливный уровень воды в эстуарии поднимается не более чем на 0.15 м. В октябре–ноябре увеличивается количество осадков (а значит и приток пресных вод), поэтому средний приливный уровень воды в эстуарии повышается (в особо сильные паводки его величина может превысить уровень половодья). В период ледостава (с начала декабря и до конца мая) средний приливный уровень воды в эстуарии на 0.2 м выше, чем в летнюю межень.

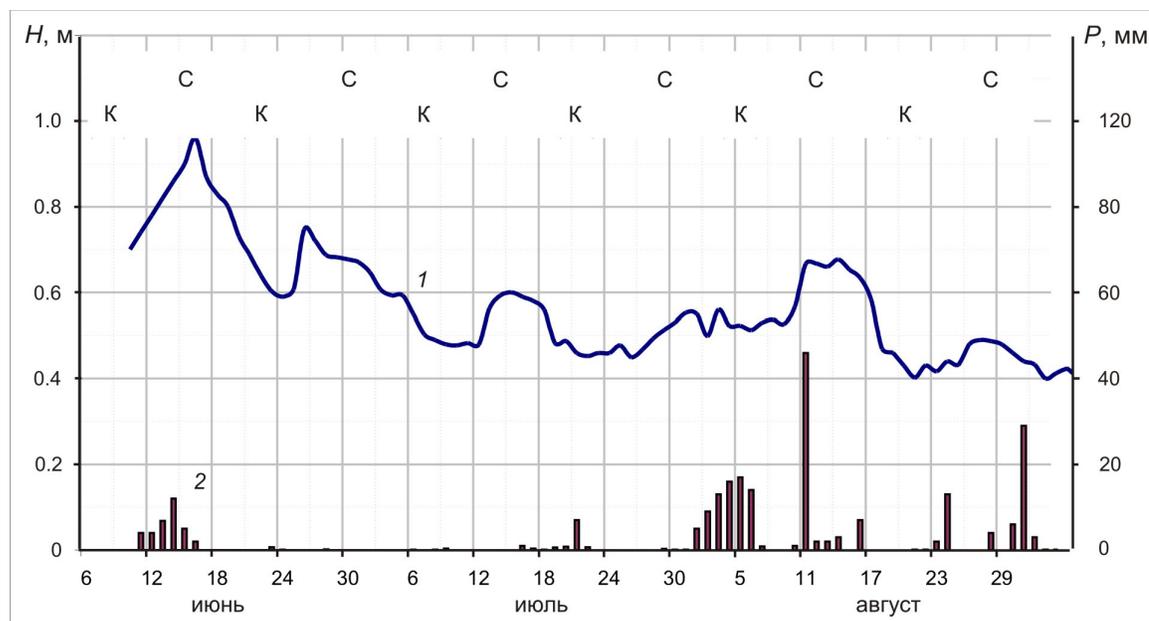


Рис. 3.5. График колебаний уровня воды в глубоководной части эстуария р. Большой Виллой в 2003 г. (6.6 км от устья эстуария; наблюдения Б.П. Смирнова): С — сизигия; К — квадратура; 1 — уровень воды, м усл.; 2 — осадки, мм

Как показали наши наблюдения, в период открытой воды максимальная величина колебаний уровня воды в эстуарии, обусловленных неравномерностью речного стока, невелика — не более 0.8 м. По-видимому, в этом проявляется важная особенность эстуария, состоящая в том, что небольшие по водоносности реки впадают в водоем с относительно большой аккумуля-

рующей емкостью (при средней многолетней величине речного стока объем суточного притока речной воды в эстуарий не превышает ~2% минимального объема эстуария (для сравнения, в эстуарии р. Большой ~30%)). Из-за небольшой площади эстуария сезонные колебания уровня воды в его отдельных частях одинаковы по величине.

В безледный период во всем эстуарии хорошо заметны полумесячные и суточные колебания уровня воды, возбуждаемые приливами в Авачинском зал. (рис. 3.6 и 3.7).

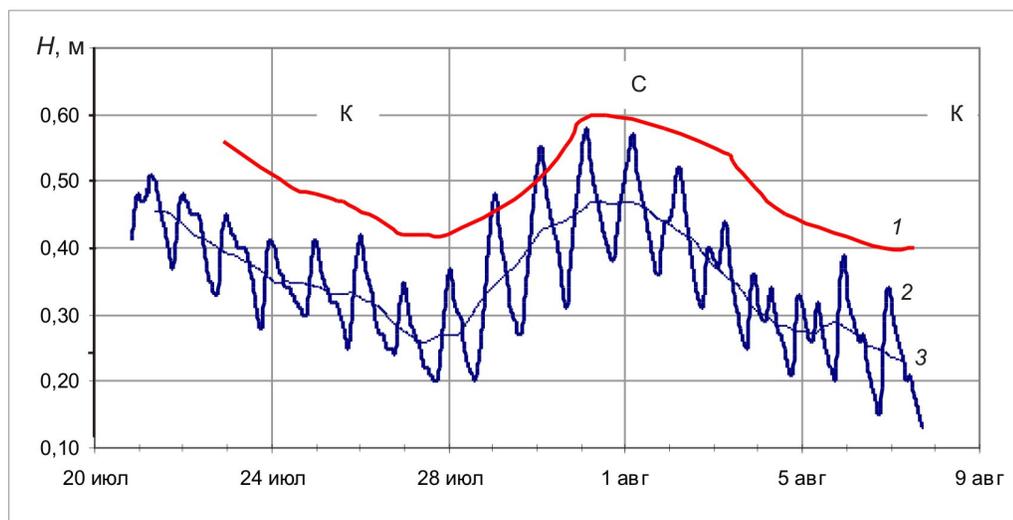


Рис. 3.6. График колебаний уровня воды в эстуарии р. Большой Вилюй в 2004 г.: С — сизигия; К — квадратура; 1 — уровень воды в 6,6 км от устья эстуария, м усл.; 2 — уровень воды в 1,2 км от устья эстуария, м усл.; 3 — средний приливный уровень воды в 1,2 км от устья эстуария, м усл.

Величина полумесячных колебаний уровня воды во всем эстуарии в безледный период одинакова и равна 0,1–0,2 м в зависимости от величины приливов в Авачинском зал. (точнее, от высоты их ВПВ). Полумесячное неравенство среднего приливного уровня воды в эстуарии связано с приливной накачкой, суть которой состоит в следующем. В периоды времени между квадратурой и сизигией, когда величина приливов в Авачинском зал. с каждым днем становится все больше, приходная составляющая водного баланса эстуария (сумма притока речной воды за приливный цикл и морской воды за приливную фазу) превышает расходную. Поэтому вода в эстуарии накапливается, уровень воды в нем растет. При переходе от сизигии к квадратуре, когда величина морских приливов с каждым новым днем уменьшается, процесс

становится обратным — расходная составляющая превышает приходную, объем воды в эстуарии срабатывается, уровень падает. Величина полумесячных колебаний уровня воды в эстуарии р. Большой Виллой столь велика, что в большей его части равна или даже превосходит величину суточных колебаний. В результате, в эстуарных водоемах отметки НМВ в сизигии могут быть выше отметок ВПВ в квадратуры (рис. 3.6).

Суточные колебания уровня воды в эстуарии определяются характеристиками приливов в Авачинском зал., поэтому максимальные величины приливных колебаний в эстуарии наблюдаются в сизигию, а минимальные в квадратуру (табл. 3.2). Из таблицы видно, что, несмотря на относительно слабое влияние речного стока и малые размеры эстуария, приливные колебания уровня воды в нем очень быстро затухают. Так, в период летней межени их величина уже в 1.2 км от устьевого створа в 6 раз меньше, чем в Авачинском зал. (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Характеристики суточных колебаний уровня воды в эстуарии р. Большой Виллой в летний период (июль–август 2004 г., расчеты автора)

Место (расстояние от устья эстуария, км)	Величины приливов, м		Средние коэффициенты затухания приливов
	С	К	
Авачинский залив (0)	1.9	0.8	–
Эстуарный водоток (1.2)	0.25	0.12	0.14
Оз. Большой Виллой (6.6)	0.03	0.01	0.01

В эстуарии р. Большой Виллой в период летней межени и сизигийных приливов ~45% величины приливной волны затухает в нижней части эстуарного водотока (табл. 3.3, рис. 3.7 и 3.8). Этот участок врезан в поверхность современного пляжа, который обсыхает в отливную фазу и заливается морской водой в приливную фазу. Наблюдения показали, что на подъеме прилива уровень воды здесь начинает повышаться только тогда, когда морская вода покрывает дно водотока, а до этого момента повышение уровня воды в океане компенсируется рассредоточением стоково-отливного потока по поверхности пляжа. Отсюда следует, что главной причиной затухания приливной волны на описываемом участке является превышение отметок дна эстуарного водотока над уровнем малых вод в Авачинском зал.

Таблица 3.3

Характеристики затухания приливной волны в эстуарии р. Большой Виллой в период летней межени и сизигийных приливов (июль–август 2004 г., расчеты автора)

Место	Расстояние от устья эстуария, км	Величина затухания, см	Интенсивность затухания, см/100 м
Нижняя часть водотока (на поверхности отливной осушки океана)	0–0.3	87	30
Средняя часть эстуарного водотока	0.3–0.7	66	17
	0.7–1.2	12	2.4
Верхняя часть водотока и оз. Большой Виллой	1.2–6.6	18	0.3

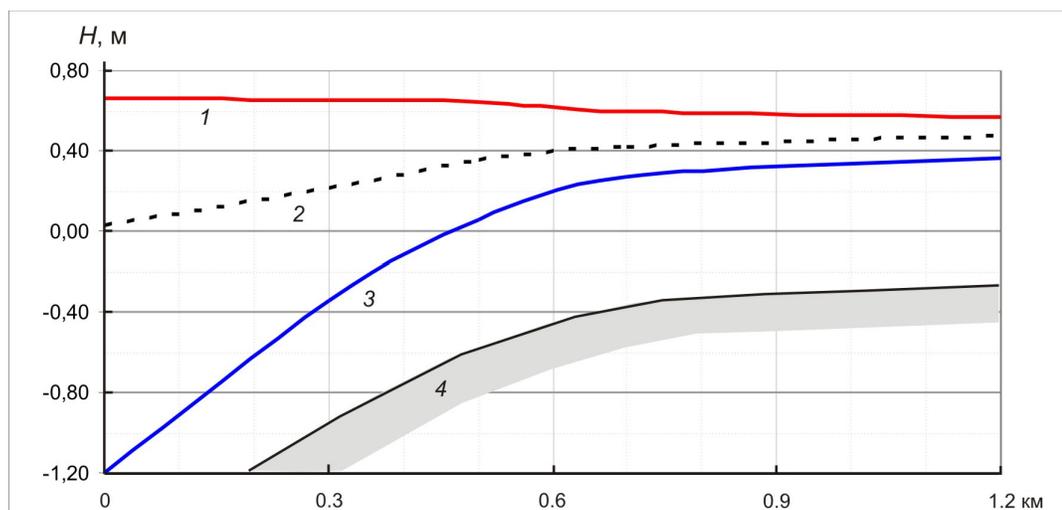


Рис. 3.7. Геометрическое место полных (1) и малых (3) вод, а также среднего за приливный цикл уровня воды (2) в эстуарии р. Большой Виллой в период летней межени и сизигийных приливов: 4 — продольный профиль дна эстуарного водотока по линии наибольших глубин; отметки уровня воды и дна водотока приведены в условной системе высот, расстояния даны от устья эстуария

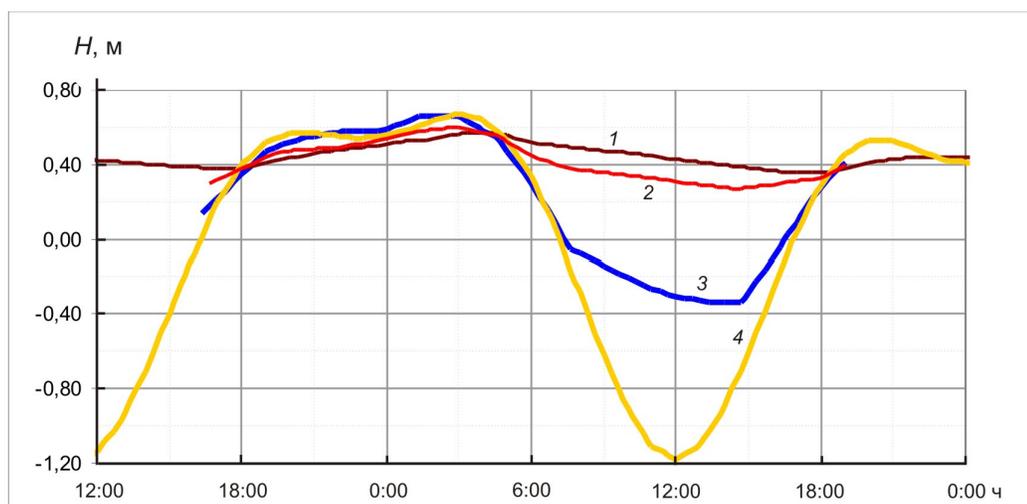


Рис. 3.8. График колебаний уровня воды в эстуарии р. Большой Виллой (31.07.–01.08. 2004 г.): 1, 2, 3 — уровень воды в 1.2, 0.7 и 0.3 км от устья эстуария соответственно, м усл.; 4 — уровень воды в Авачинском зал., м усл.

Еще ~35% величины приливной волны теряется на следующих 400-х метрах эстуарного водотока (табл. 3.3). Дно на этом участке имеет большой уклон (рис. 3.7), русло сжато между коренным берегом и пересыпью, поэтому в малые воды скорость стоково-отливного потока здесь достигает значительных величин (до 1 м/с). В приливную фазу уровень воды здесь начинает повышаться тогда же, когда и на нижнем участке водотока (рис. 3.8), причем одновременно с этим уменьшается скорость стоково-отливного потока. Отсюда следует, что затухание приливной волны на этом участке обусловлены противодействием, оказываемом стоково-отливным потоком.

На участке эстуарного водотока между 0.7 и 1.2 км от устьевого створа находится вход в оз. Малый Виллюй. Дно здесь имеет небольшой уклон (рис. 3.7), русло резко расширяется, скорость стоково-отливного потока небольшая. Уровень воды на этом участке начинает повышаться только тогда, когда сюда проникают морские воды. По-видимому, затухание приливной волны на этом участке эстуария обусловлены рассеиванием приливной энергии, одна часть которой «уходит» в оз. Малый Виллюй, а другая — в оз. Большой Виллюй.

В результате больших потерь величины приливной волны в эстуарном водотоке, до озер «доходит» не более 10% ее исходной величины. Затухание приливной волны в оз. Малый Виллюй минимально — величина приливных колебаний в его наиболее удаленной части мало отличается от аналогичной величины на входе в озеро, что, скорее всего, обусловлено небольшими размерами водоема и его вытянутостью по оси проникновения приливов. В противоположность этому, в оз. Большой Виллюй приливная волна почти полностью исчезает из-за рассеивания ее энергии на обширной озерной акватории.

В холодное время года в эстуарии р. Большой Виллюй образуется мощный снежно-ледяной покров, максимальная толщина которого достигает 1.5 м. В настоящее время, о результатах неконтактного взаимодействия водных масс подо льдом можно судить только по единичным измерениям и косвенным данным. Это объясняется технической сложностью определения зимних отметок уровня воды: во-первых, лед у берегов эстуария нередко ложится на дно, а во-вторых, на поверхности и внутри льда обычно есть мощные про-

слои воды, которые изливаются в лунки и маскируют истинное положение уровня воды в эстуарии. На основе же имеющихся сведений можно говорить о следующем: 1) в период ледостава (при незаблокированном устье эстуария) средний приливный уровень воды в эстуарии выше, чем летом; 2) в этот период приливные колебания уровня воды (по крайней мере, суточные) ощущаются во всем эстуарии; 3) приливные колебания уровня воды оказывают некоторое воздействие на формирование ледяного покрова эстуария (см. ниже).

Здесь уместно сказать об особенностях ледовых явлений в пределах эстуария. Кристаллический лед в нем образуется только в начале зимы, да и то лишь в случае ясной и морозной погоды. Обычно же лед в эстуарии формируется из водонасыщенного снега, чему способствует частое выпадение смешанных осадков, а также выход воды на дневную поверхность из-за приливов и проседания льда. В результате всю зиму лед нарастает снизу вверх, и к весне в эстуарии образуется мощный снежно-ледяной покров с прослоями воды. Весной лед тает на месте, причем пик речного половодья наступает раньше времени полного освобождения эстуария ото льда.

В большую часть года уровень воды в эстуарии р. Большой Виллой закономерным образом реагирует на колебания речного стока и уровня воды в Авачинском зал. Но в эстуарии бывают периоды (чаще всего зимой), когда его устье полностью блокируется морскими наносами. В этом случае морские факторы перестают влиять на эстуарий, а относительное влияние речных факторов, наоборот, резко усиливается. В периоды «замывов» в эстуарии накапливается речная вода, поэтому уровень воды в нем повышается — постепенно в периоды низкого речного стока и резко на подъеме речного половодья или паводков. Если устье эстуарного водотока остается заблокированным на подъеме половодья, то максимальный подъем уровня воды в эстуарии может достигать 1.5 м над меженным горизонтом.

3.5.2. Контактное взаимодействие водных масс

$T-S$ анализ результатов гидрологических съемок, выполненных под руководством автора диссертации, показал, что в эстуарии р. Большой Виллой с первичными водными массами (речной и морской) взаимодействуют автохтонные, вторичные по отношению к водам реки и океана, водные массы (см. ниже). Обе вторичные ВМ (поверхностная и придонная) находятся в котловине оз. Большой Виллой, а оз. Малый Виллой и эстуарный водоток заполнены смешанными водами различного происхождения, лишь частично трансформированными под действием внутренних и внешних процессов (рис. 3.9).

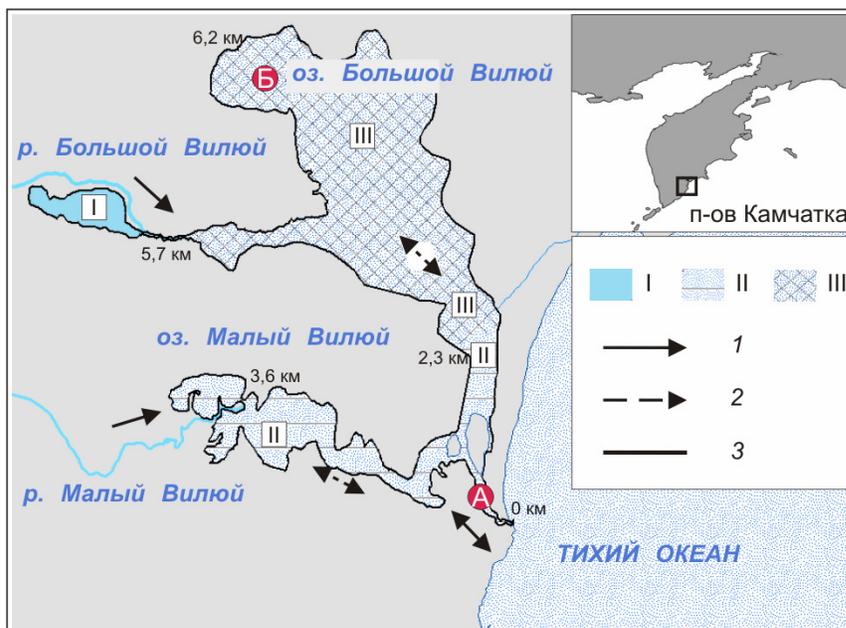


Рис. 3.9. Эстуарий р. Большой Виллой и его районирование по гидрологическим условиям (отражена ситуация, характерная для периода летней межени и сизигийных приливов): I — зона распространения пресных речных вод; II — зона проникновения осолоненных морских вод; III — зона распространения вторичных (озерных) вод; А, Б — створы длительных наблюдений за гидрологическими характеристиками; 1 — стоковые и стоково-отливные течения в руслах водотоков; 2 — стоковые и стоково-отливные течения в водоемах; 3 — граница эстуария; 6.2 км... — расстояния от устья эстуария (0 км)

Водообновление в эстуарии. Ориентировочные расчеты автора, основанные на измеренных характеристиках водообмена через речную и морскую границы эстуария, показали, что в относительно глубоководном и удаленном от устья эстуария оз. Большой Виллой вода обновляется в среднем за 3 мес (с учетом смешения), а в мелководном и приближенном к устью эстуария оз. Малый Виллой — за 1–2 недели. В случае «замыва» устья эстуарного во-

дотока период водообновления в обоих водоемах может увеличиться на несколько месяцев. Здесь следует сделать два замечания. Во-первых, используемое в дальнейшем определение «длительная трансформация ВМ» в отношении оз. Большой Виллой условно и имеет смысл только в сравнении с аналогичным процессом в эстуарии р. Большой, где водные массы задерживаются не более чем на 1–2 суток. Во вторых, смешанные воды в оз. Малый Виллой обновляются значительно дольше приливных суток, поэтому успевают в нем заметно трансформироваться. Однако сильная пространственно-временная изменчивость гидрологических характеристик в озере не позволяет говорить о формировании в нем собственных ВМ.

Водообмен и соотношение влияния на эстуарий речных и морских факторов. В 2004 г. была проведена 25-часовая серия наблюдений за изменчивостью гидрологических характеристик (скорости, направления течения, температуры, солености и уровня воды) в эстуарном водотоке. На основе полученных результатов, а также по имеющимся измерениям уровня воды в различных частях эстуария, были рассчитаны приближенные характеристики водообмена эстуария с Авачинским заливом для всего полумесячного приливного цикла (табл. 3.4). В итоге оказалось, что летом в эстуарии р. Большой Виллой приток морской воды за приливную фазу в 1.5–4 раза больше притока речной воды за весь приливный цикл, то есть в этом отношении морские приливы влияют на эстуарий сильнее, чем речной сток.

Таблица 3.4

Характеристики внешнего водообмена эстуария р. Большой Виллой за приливный цикл 31.07.–01.08.2004 г. (расчеты автора)

Характеристика	Величина
Величина приливов в Авачинском зал., м	1.84
Суммарный расход речной воды, м ³ /с	3.5
Объем притока речной воды за приливный цикл, тыс. м ³ .	310
Объем притока морской воды за приливную фазу, тыс. м ³	966
Доли речной и морской воды в суммарном объеме притока, %	24 и 76
Суммарный объем притока воды за приливный цикл, тыс. м ³	1 280
Объем стока воды через эстуарный водоток за отливную фазу, тыс. м ³	1 130
Остаток (результатирующая) водного баланса за приливный цикл, тыс. м ³	+144

По-видимому, в исследуемом эстуарии преобладание морской воды в суммарном притоке сохраняется в течение всего года, за исключением периодов блокированного устья эстуария и короткого отрезка времени на пике

половодья. Сезонную изменчивость относительного влияния речных и морских факторов на эстуарий можно оценить исходя из общих соображений. Относительное влияние речных факторов должно быть максимальным в конце весны – начале лета, когда объем речного стока значительно больше летнего. И наоборот, абсолютное преобладание морских факторов должно приходиться на начало зимы — в период низкого речного стока, высоких приливов в Авачинском зал. и частых морских нагонов. Эти предположения подтверждаются тем, что к началу лета вода в глубоководной части эстуария заметно опресняется, а к концу зимы наоборот, осолоняется.

Влияние на эстуарий морских приливов. Суммарный объем речной и морской воды, поступающей в эстуарий за приливный цикл, в 10–15 раз меньше объема воды, остающегося в эстуарии в низкие малые воды (минимального объема). На первый взгляд, влияние морских приливов на эстуарий р. Большой Вилюй можно считать небольшим, по крайней мере, в сравнении с эстуарием р. Большой, в котором суммарный приток речных и морских вод за приливный цикл достигает половины его минимального объема. Но такое сравнение не корректно, а вывод неверен. Дело в том, что в этих объектах действие морских приливов проявляется по-разному: в случае эстуария р. Большой морские приливы возбуждают значительные колебания уровня воды в эстуарии и приводят к периодическому осолонению его приморской части, а в случае эстуария р. Большой Вилюй приливные колебания уровня почти не заметны, зато морские воды осолоняют весь эстуарий. Главные причины этих различий заключаются в соотношении влияния речного стока и морских приливов, а также в морфологических особенностях эстуариев: в исследуемом объекте, в отличие от эстуария р. Большой, проникновение морских вод не встречает сильного сопротивления со стороны встречного потока речных вод, к тому же здесь осолоненные, и поэтому более тяжелые, воды могут надолго задерживаться в замкнутых озерных котловинах.

Помимо повсеместного осолонения вод, влияние приливов на исследуемый эстуарий проявляется в полумесячной изменчивости результирующей его водного баланса, а также в существенном увеличении расходов воды в эстуарном водотоке. Так, в период растущих приливов (между квадратурой

и сизигией) суммарный приток речных и морских вод за приливный цикл больше стока воды за отливную фазу, поэтому в этот период времени в эстуарии накапливается вода (см. пример в табл. 3.4). В период убывающих приливов (между сизигией и квадратурой) соотношение притока и стока вод становится обратным и объем воды в эстуарии сбрасывается. Что касается расходов воды в эстуарном водотоке, то благодаря морским приливам их максимальная величина примерно в 11 раз, а средняя за приливный цикл в 6 раз больше суммарных речных расходов.

Движение водных масс. Речная вода поступает в эстуарий через устьевые створы рек Большой и Малый Вилюй. В оз. Большой Вилюй она смешивается с поверхностной ВМ, причем размеры зоны смешения (ЗС) зависят от величины речного стока (весной ЗС охватывает все 1.5 км залива, вытянутого от устья одноименной реки до центральной части озера, а в конце лета она уменьшается до 0.5 км в вершине этого залива (см. рис. 3.1)). Оз. Малый Вилюй целиком охватывается ЗС речной и морской водных масс, фронтальная зона которой перемещается в связи с сезонными колебаниями речного стока (в половодье к выходу из озера, в межень — к его вершине).

Морская ВМ проникает в эстуарий только в приливную фазу. Данные полевых наблюдений свидетельствуют о том, что в течение всего года она полностью занимает эстуарный водоток и проникает в оба озера (рис. 3.10). В оз. Большой Вилюй морская ВМ смешивается в основном с поверхностной ВМ (рис. 3.12), а в оз. Малый Вилюй — с частично трансформированной смесью речной и морской воды, поступившей в озеро в предыдущие приливы. В течение года дальность проникновения морской ВМ в эстуарий р. Большой Вилюй изменяется в зависимости от величины речного стока (весной она примерно на 1 км меньше, чем зимой (рис. 3.10)). При переходе от сизигии к квадратуре дальность проникновения морской воды почти не изменяется, поскольку она зависит не от величин морских приливов, а от высот их ВПВ, которые в сизигию и квадратуру очень близки (в Авачинском зал. величина приливов изменяется благодаря соответствующему изменению высоты малых вод).

Для последующего анализа трансформации ВМ в оз. Большой Виллой принципиальное значение имеет вопрос о том, достигают ли морские воды его глубоководной части и осолоняют ли они придонную ВМ. На продольных профилях распределения солености воды, построенных по результатам нескольких съемок эстуария, этого не видно — судя по ним, морская ВМ начинает смешиваться с поверхностной ВМ еще на входе в озеро (рис. 3.10). Но данные наблюдений свидетельствуют о том, что, во-первых, соленость придонной ВМ в озерной котловине сильно изменяется в течение года (минимум в конце осени, максимум в конце зимы), а во-вторых, ее максимальная соленость равна солености зимних вод в Авачинском зал. Из первого следует, что придонная ВМ — это не «законсервированный» объем воды, который сформировался при каком-то редком стечении обстоятельств и который длительное время сохраняет свою высокую соленость благодаря изолированности от внешнего воздействия. Из второго можно сделать вывод о том, что приток морских вод в нижний слой озера осуществляется зимой, а в другие сезоны года он так или иначе ограничен. Объяснить такую сезонность в циркуляции морских вод можно тем, что зимой, при неблокированном устье эстуария, проникновению морских вод благоприятствует низкий речной сток, отсутствие ветрового перемешивания под ледяным покровом, а также промерзание мелководий в эстуарном водотоке и оз. Малый Виллой. Перечисленные обстоятельства уменьшают потери приливной энергии на сопротивление встречному стоковому потоку, препятствуют полному перемешиванию морской ВМ при ее втекании в мелководную часть оз. Большой Виллой и способствуют «концентрации» приливного потока в узком русле стоково-приливной ложбины в эстуарном водотоке.

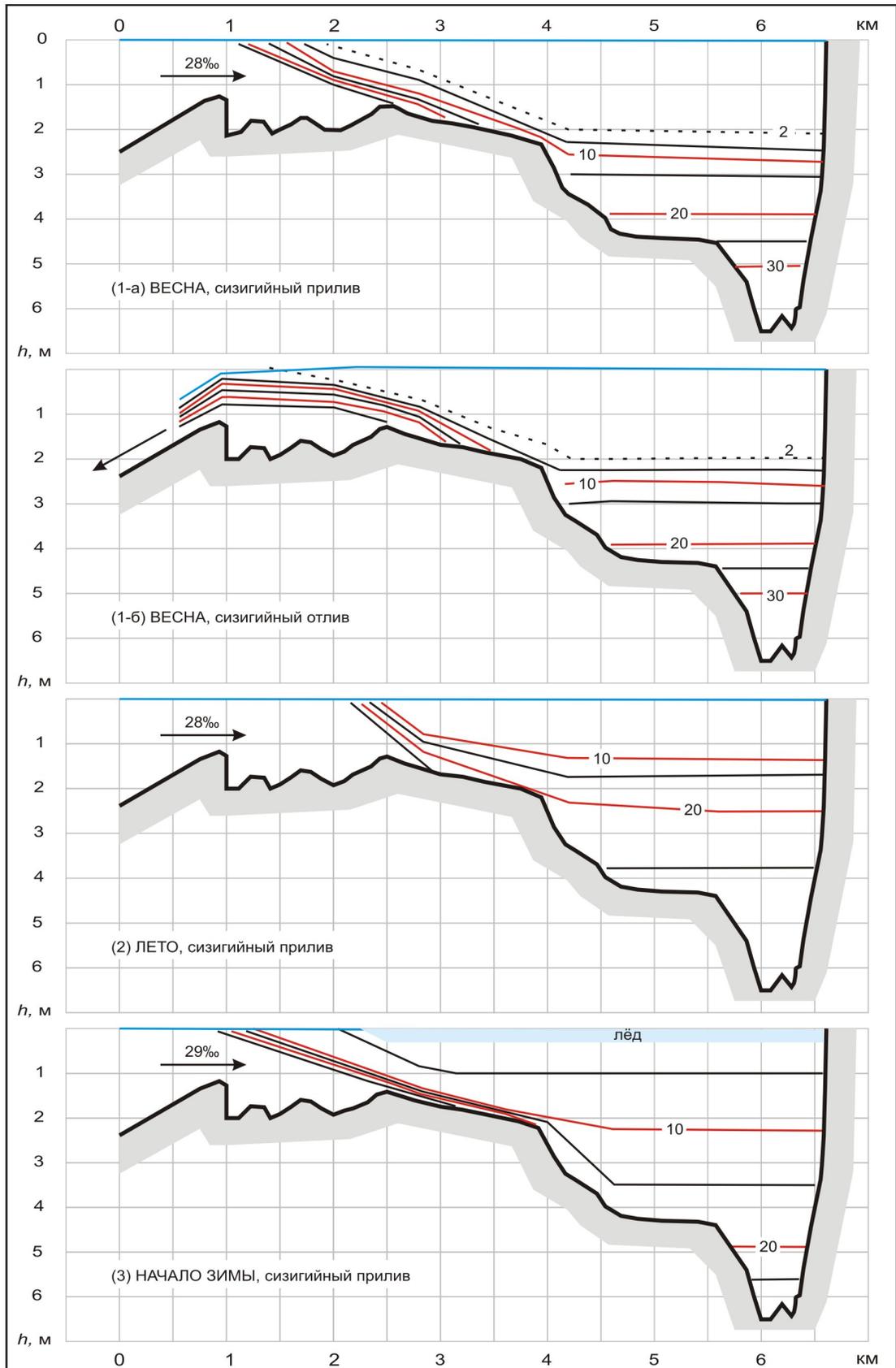


Рис. 3.10. Распределение солености воды (в ‰) в эстуарии р. Большой Вилуй по линии а-ж на рис. 3.3: 1 — 10.07.2002 г.; 2 — 03.08.2004 г.; 3 — 03.12.2006 г.

Смешение водных масс. В эстуарии р. Большой Вилюй можно выделить два вида смешения ВМ, различия между которыми проявляются в форме зависимостей между температурой и соленостью на $T-S$ диаграмме (рис. 3.11).

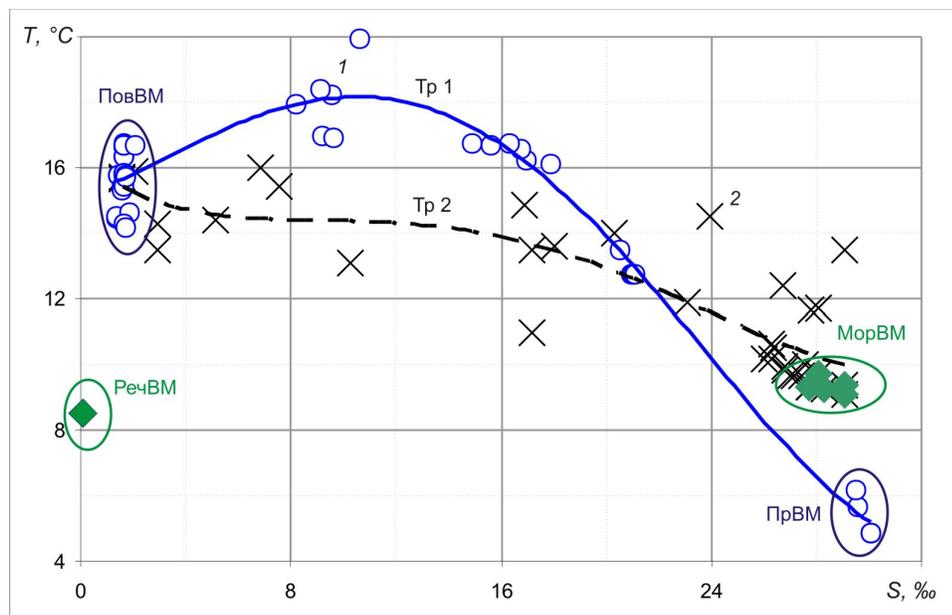


Рис. 3.11. $T-S$ диаграмма водных масс в эстуарии р. Большой Вилюй (10.07.2002 г.): 1 — по измерениям в оз. Большой Вилюй (2.5–6.6 км на рис. 3.10); 2 — по измерениям в эстуарном водотоке (0–2.5 км на рис. 3.10); Тр1 — полином четвертой степени, аппроксимирующий измерения в оз. Большой Вилюй; Тр2 — полином четвертой степени, аппроксимирующий данные измерений в эстуарном водотоке; РечВМ, МорВМ, ПовВМ, ПрВМ — речная, морская, поверхностная и придонная водные массы соответственно

Первый вид смешения преобладает в эстуарном водотоке, в котором водные массы перемещаются в виде направленного потока. В этом случае, зависимость между температурой и соленостью воды на $T-S$ диаграмме имеет в целом прямолинейный характер, хотя все точки и не ложатся на одну прямую. (Это связано с тем, что в эстуарии р. Большой Вилюй всегда есть морские воды, поступившие в него во время предыдущих приливов и за время своего пребывания в нем частично трансформированные). Вторым видом смешения характерен для оз. Большой Вилюй, в котором смешивающиеся водные массы находятся одна под другой. Здесь одновременно со смешением происходит внутримассовая трансформация водных масс под действием энерго- и массообмена с атмосферой и дном, а также внутренних биологических процессов, характер и интенсивность которых неодинаковы в различ-

ных слоях водной толщи. В описываемом случае, зависимость между температурой и соленостью воды на $T-S$ диаграмме становится криволинейной (рис. 3.11).

Смешение водных масс в эстуарии происходит под действием двух основных процессов: приливного и стоково-отливного движения ВМ, а также ветрового волнения. Первые два процесса действуют круглогодично во всем эстуарии, последний только в безледный период, причем в оз. Большой Виллой он ограничен верхним 1.5 м слоем водной толщи, в других же частях эстуария распространяется до дна. Роль конвекции в смешении различных по своему происхождению ВМ в исследуемой эстуарии вряд ли существенна: в эстуарном водотоке и в оз. Малый Виллой она подавляется фрикционным перемешиванием, а в оз. Большой Виллой она маловероятна из-за существующего здесь в течение всего года устойчивого вертикального равновесия ВМ, которое обеспечивается огромными различиями в их солености (параметр стратификации $n > 1.0$) (рис. 3.14). (Но при этом возможно, что в период зимнего охлаждения именно конвекция способствует перемешиванию воды внутри придонной ВМ и в этом смысле может считаться важным фактором трансформации эстуарных вод).

Динамика водных масс в эстуарном водотоке. Закономерности процессов взаимодействия водных масс в эстуарии станут более понятными, если рассмотреть их действие на отдельных участках эстуария, в частности, в эстуарном водотоке.

Створ наблюдений в эстуарном водотоке находился в 0.5 км от устья эстуария; наблюдения проводились в период летней межени и сизигийных приливов 31.07.–01.08.2004 г. В этот день низкие малые воды (НМВ) в эстуарном водотоке наступили на 2.5 ч позже, чем в Авачинском зал. В момент их наступления через поперечное сечение эстуарного водотока в океан стекали хорошо перемешанные осолоненные воды. Затем, по мере подъема уровня воды в Авачинском зал., расход прямого потока в эстуарном водотоке уменьшался, а спустя 3 ч после НМВ направление течения одновременно на всех горизонтах сменилось на обратное (т.е. направленное в сторону суши). Еще через 1.5 ч в поперечном сечении водотока появились морские воды, и

соленость воды в створе наблюдений достигла своего суточного максимума (рис. 3.12). От момента поворота течений в обратную сторону до наступления высоких полных вод (ВПВ) расход обратного течения непрерывно нарастал, через поперечное сечение водотока внутрь эстуария двигались хорошо перемешанные морские воды с неизменной соленостью. ВПВ в эстуарном водотоке и в Авачинском зал. наступили одновременно.

Сразу же после начала отлива расход обратного течения стал быстро уменьшаться, и уже через 2 ч после ВПВ течение снова стало прямым (т.е. направленным в сторону залива). Начиная с этого момента, через поперечное сечение эстуарного водотока в океан стали стекать смешанные воды, соленость которых закономерно уменьшалась по мере сработки объема вод в эстуарии. Максимальный расход прямого течения отмечался между ВПВ и НМВ, в момент времени, когда на кривой изменения уровня воды появился перегиб (объяснение которому было дано в предыдущем разделе). В дальнейшем, вплоть до наступления НМВ, уровень воды и расход прямого течения постепенно уменьшались.

Отметим главные черты приливной изменчивости скорости течения воды: 1) на всех горизонтах ее направление за период прилива меняется с прямого на обратное и наоборот; 2) смена течений на всех горизонтах происходит одновременно; 3) скорость течения у поверхности всегда больше чем у дна (вне зависимости от направления течения); 4) максимальная величина прямой скорости (0.85 м/с) почти в два раза больше наибольшей обратной скорости (0.46 м/с); 5) результирующие течения на всех горизонтах направлены к океану.

Основной вывод из приведенного выше описания заключается в том, что преобладающим видом взаимодействия водных масс в эстуарном водотоке является их движение, первопричиной которого служит противоположно направленное воздействие стоково-отливных и приливных течений.

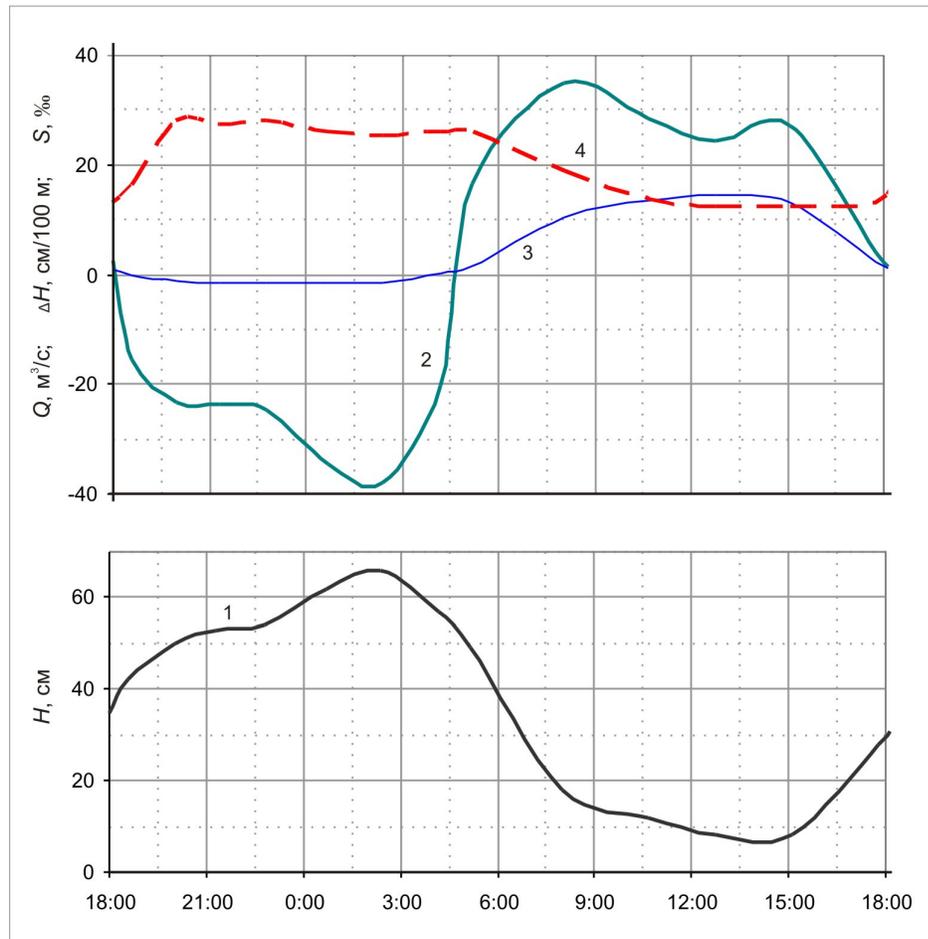


Рис. 3.12. Совмещенный график изменения гидрологических характеристик в эстуарии р. Большой Виллой (в 500 м от его устья за приливный цикл 31.07.–01.08.2004 г.): 1 — уровень воды; 2 — расход воды; 3 — падение уровня воды; 4 — соленость воды

Трансформация водных масс в оз. Большой Виллой. Как уже отмечалось выше, в глубоководной части эстуария всегда есть водные массы, образовавшиеся из первичных речной и морской водных масс. Относительно именно такого происхождения поверхностной ВМ сомнений нет — факт поступления и смешения первичных ВМ в верхнем слое оз. Большой Виллой подтверждается анализом $T-S$ диаграммы (рис. 3.11) и продольных профилей распределения солености воды (рис. 3.10). Что же касается придонной ВМ, то дополнительным свидетельством правоты высказанного мнения является линейность связи между концентрациями Na и K — главных катионов в химическом составе эстуарных вод (рис. 3.13).

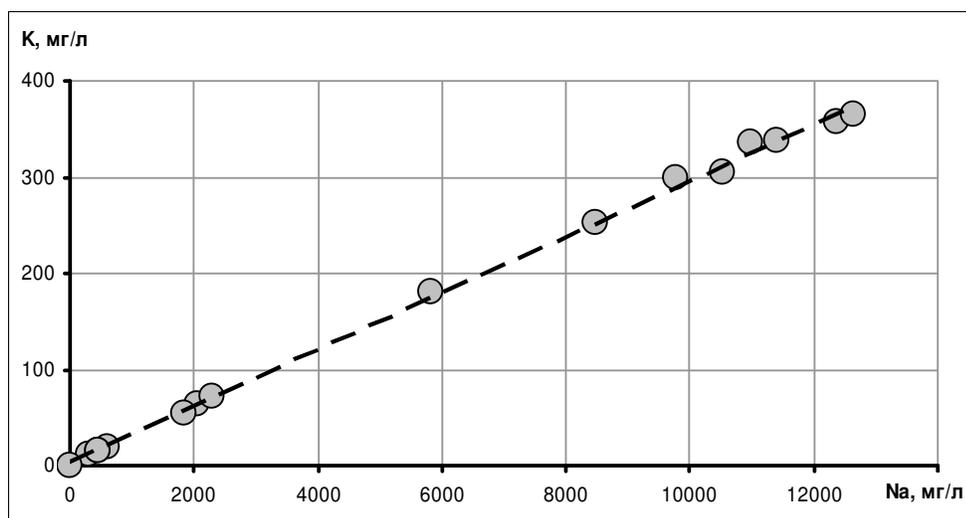


Рис. 3.13. Соотношение концентраций растворенного калия (K) и натрия (Na) в пробах воды, отобранных в Авачинском зал., эстуарном водотоке и в оз. Большой Виллой 25.03. и 29.06. 2007 г. (анализ проб воды выполнен А.В. Савенко)

В трансформации водных масс в оз. Большой Виллой можно выделить несколько сезонов: зимний (в период ледостава, с конца ноября до середины мая), весенний (в период таяния снега и льда, с середины мая до середины июня), летний (с середины июня до конца сентября) и осенний (октябрь–ноябрь). Скорее всего, отправной точкой годового цикла следует считать начало ледостава, когда вся водная толща в озерной котловине перемешана и в ней нельзя определить границу между поверхностной и придонной водными массами. (О перемешивании свидетельствует однородное распределение температуры воды по глубине водоема, которое было зафиксировано в первые дни ледостава в декабре 2006 г., рис. 3.14). В начале зимы распределение солености и условной плотности воды по глубине представляет собой наклонную прямую, которая в другие сезоны характерна для слоя скачка, разделяющего поверхностную и придонную водные массы.

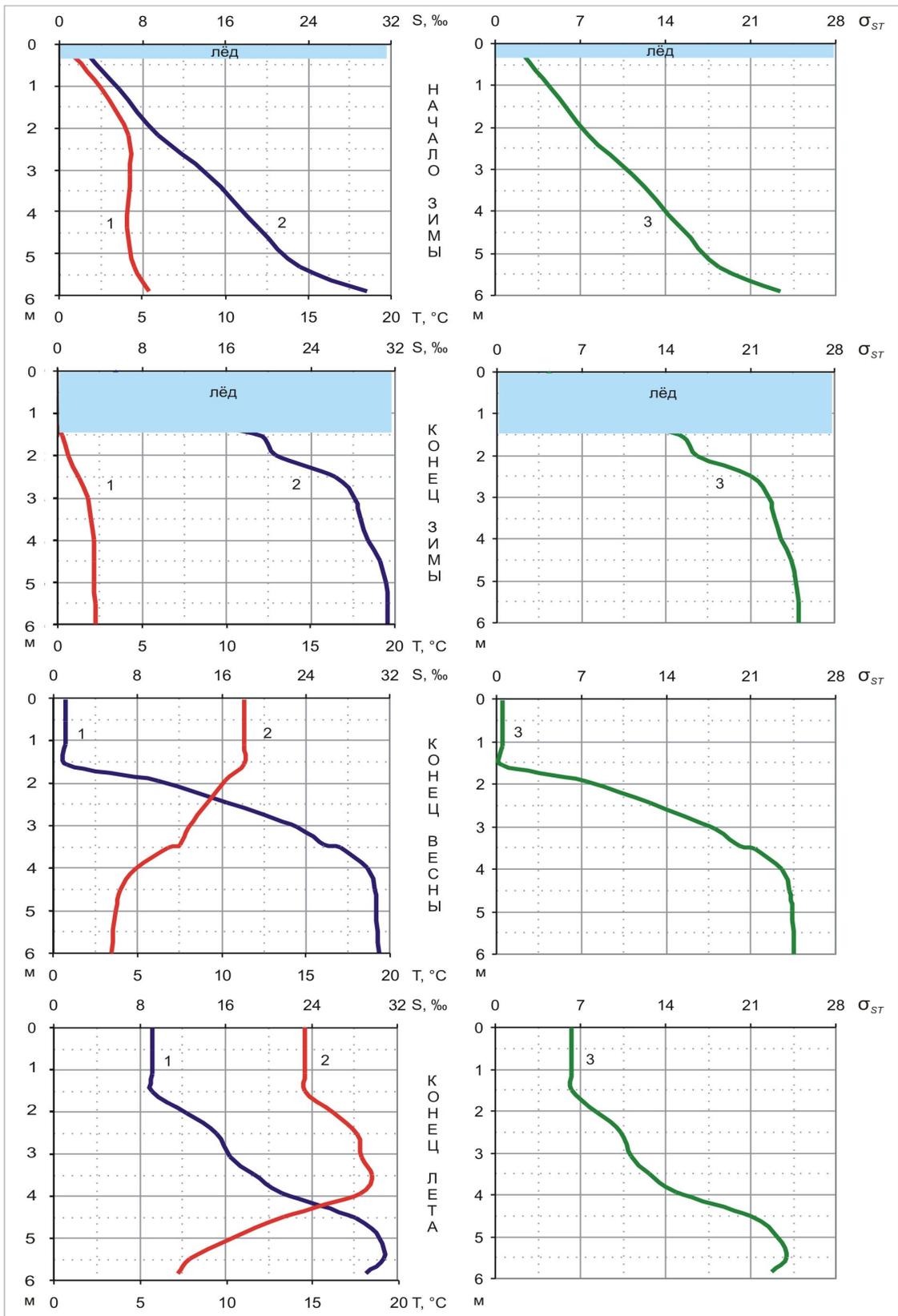


Рис. 3.14. Сезонное распределение солености (1), температуры (2) и условной плотности воды (3) в глубоководной части оз. Большой Вилуй по результатам наблюдений 03.12.2006 г., 25.03., 29.06. и 15.09.2007 г. (измерения автора диссертации и Е.В. Шульгиной)

В течение зимы опресненная вода из верхнего слоя постепенно вымораживается, поэтому поверхностная ВМ в жидком виде не существует. Придонная водная масса наоборот, активно формируется — ее соленость и условная плотность в течение всей зимы увеличиваются, верхняя граница, отделяющая эту ВМ от слоя скачка, поднимается, характеристики внутри придонной ВМ выравниваются. По всей видимости, в нижнем слое озера идут активное водообновление и перемешивание, которые связаны с приливным движением вод в эстуарии. Вероятно, что после исчезновения больших градиентов солености воды внутри придонной ВМ в ней появляется конвекция, способствующая еще более активному перемешиванию вод. О притоке морских вод и активном водообновлении в нижнем слое озера свидетельствует не только увеличение солености воды, но и понижение температуры воды придонной ВМ, изолированной от охлаждающего воздействия атмосферы 1.5–метровым слоем льда и снега.

В начале весны, когда на реках поднимается волна половодья, а лед и снег на поверхности эстуария начинают таять, в верхнем слое озера появляется опресненная вода и здесь начинает формироваться поверхностная ВМ. (Вообще, роль снежно-ледяного покрова в формировании поверхностной ВМ может быть сопоставима с ролью речного стока — снег и лед в эстуарии тают на месте и этот процесс дает почти такой же объем пресной воды, который реки приносят в эстуарий за все лето). К началу лета объем поверхностной ВМ становится максимальным — она занимает 1.5–метровую верхнюю толщу озера. В озере устанавливается устойчивая плотностная стратификация, сохраняющаяся благодаря большим градиентам солености воды: в поверхностной ВМ ее величина меньше 1–2‰, а в придонной ВМ она превышает 30‰ (рис. 3.14). Именно в начале лета граница между двумя водными массами наиболее выражена, а сами водные массы представляют собой однородные объемы хорошо перемешанных вод.

В течение всего лета температура и соленость поверхностной ВМ постепенно увеличиваются (температура воды растет благодаря поглощению солнечной радиации, а соленость — из-за смешения поверхностной ВМ с морской и придонной водными массами). В этот период поверхностная ВМ

отличается однородностью вертикального распределения температуры и солености воды, поддерживаемой постоянным ветровым перемешиванием. Температура придонной ВМ также увеличивается, а соленость наоборот, уменьшается. Верхняя граница водной массы опускается (рис. 3.14). Вероятно, что все это связано со смешением придонной и поверхностной водных масс в зоне их контакта, а также с существенным ограничением притока морских вод в нижний слой озера. В свою очередь, смешение водных масс можно объяснить действием ветрового волнения на поверхности водоема и приливного движения вод у его дна, которое усиливается по мере уменьшения вертикальных градиентов плотности в зоне контакта водных масс.

Здесь необходимо сделать отступление и обратить внимание на интересную особенность вертикального распределения температуры воды, которая наблюдается в озере. Так, летом и осенью максимум температуры часто заглублен и находится в слое скачка плотности, на границе раздела поверхностной и придонной водных масс (рис. 3.14). По всей видимости, это явление связано с аккумуляцией солнечной энергии под поверхностной ВМ, которая защищает нижние слои водоема от охлаждающего влияния морского воздуха (т.н. «парниковым эффектом» в соленых озерах [Егоров, 1991; Егоров, Зилинткевич, 1999]).

Ко второй половине осени слой скачка достигает дна озерной котловины и придонная ВМ теряет свои пространственные очертания. С началом ледостава верхний слой водоема перестает перемешиваться ветром, в результате чего однородность поверхностной ВМ утрачивается и она также теряет свои контуры. В результате, к началу ледостава толща воды в котловине оз. Большой Виллой перестает разделяться на две водные массы.

3.6. Выводы

1. Пересыпь, отделяющая эстуарий р. Большой Виллой от Авачинского зал., сформирована и развивается при минимальном участии устьевых процессов. В настоящее время, динамика пересыпи не оказывает заметного влияния на условия протекания УП внутри эстуария (в частности, она не приводит к смещению устья эстуарного водотока). Из всех морфологических процессов, связанных с воздействием морских факторов, наи-

большее значение для эстуария имеет ежегодное штормовое блокирование его устья морскими наносами. Ведущий морфологический процесс в самом эстуарии — это его постепенное заполнение автохтонным органическим веществом, а также аллохтонными речными и морскими наносами;

2. Также, как и в эстуарии р. Большой, неконтактное взаимодействие водных масс в эстуарии р. Большой Виллюй проявляется в сезонных (стоковых), полумесячных и суточных (приливных) колебаниях уровня и скорости течения воды. Особенностью рассматриваемого эстуария является очень быстрое затухание приливных волн;
3. В эстуарии р. Большой Виллюй главным следствием контактного взаимодействия первичных — речной и морской — водных масс является формирование двух вторичных водных масс, чему способствует слабая проточность эстуария и наличие в нем относительно глубокой котловины.

ГЛАВА 4. ОБЩИЕ ЧЕРТЫ ГИДРОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ДРУГИХ ЭСТУАРИЯХ КАМЧАТКИ

В этой главе на основе литературных и архивных источников исследуются общие закономерности гидролого-морфологических процессов во всех эстуариях Камчатки. Первый параграф главы посвящен эстуарию р. Камчатки, относительно хорошо изученному в XX в. В последующих параграфах рассматриваются эстуарии западного и восточного побережий полуострова, о которых в литературе есть лишь отрывочные сведения.

4.1. Эстуарий р. Камчатки

Эстуарий самой большой реки полуострова по праву можно считать одним из самых изученных объектов на берегах Камчатки — в нем побывали почти все крупные экспедиции, посещавшие полуостров с начала его освоения. Такое внимание к эстуарию объясняется его большой хозяйственной значимостью — раньше через устье р. Камчатки проходили транспортные пути, соединявшие внутренние районы полуострова с его тихоокеанским побережьем, а теперь в нем находится один из крупнейших центров краевой рыбной промышленности — пос. Усть-Камчатск.

4.1.1. Общие сведения об эстуарии и его окрестностях

Эстуарий р. Камчатки находится на восточном (тихоокеанском) побережье полуострова, на берегу Камчатского зал. Эстуарий состоит из оз. Нерпичье ($F \sim 552 \text{ км}^2$, $h_{\text{ср}} \sim 4.5 \text{ м}$, $h_{\text{макс}} \sim 11 \text{ м}$ [Лебедев, 1915; Ресурсы..., 1973]), системы лагун, вытянутых вдоль морского берега на 10–15 км, а также короткого водотока, соединяющего оз. Нерпичье с рекой и заливом (рис. 4.1 и 4.3). От океана эстуарий отделен сложной по своему строению морской аккумулятивной формой (косой-пересыпью, далее «косой»), а также устьевым баром. На берегу эстуария находится пос. Усть-Камчатск, в котором есть морской порт и несколько рыбоперерабатывающих предприятий (в середине XX в. поселок был перенесен с правого берега реки на левый).

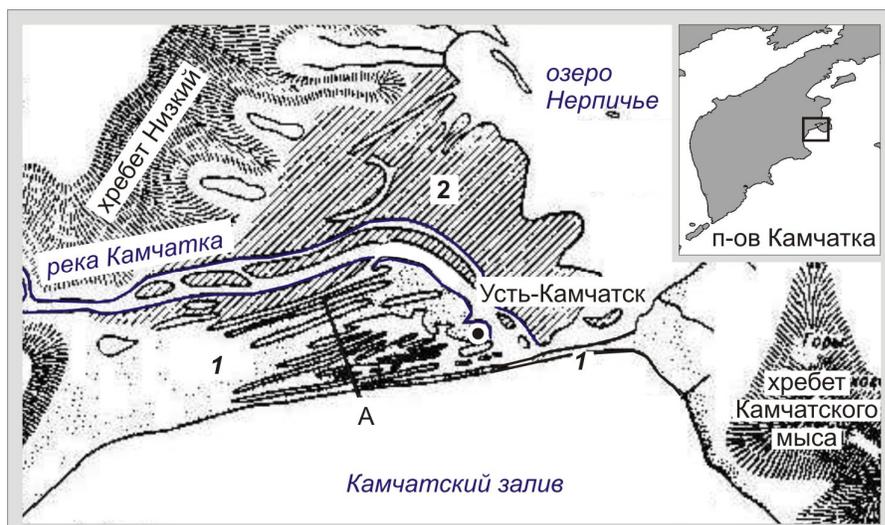


Рис. 4.1. Эстуарий р. Камчатки в начале 1950-х гг. (из [Мамаева, 1956]): 1 — морские отложения; 2 — речные отложения; А — положение профиля на рис. 4.2

Историческая справка. В XVIII–XIX вв. устье р. Камчатки посетило множество морских и сухопутных экспедиций, общие сведения о которых приведены в [Камчатка..., 1997]. Исходя из задач диссертации, отдельно нужно сказать лишь о работах С.П. Крашенинникова в 1737–1741 гг. [Крашенинников, 1755] и К. Дитмара в 1851–1855 гг. [Дитмар, 1901], в трудах которых приведены некоторые данные о гидрографии устьевой области р. Камчатки и динамике блокирующей ее косы. Также следует упомянуть о первой крупномасштабной карте устья р. Камчатки [План..., 1883], составленной по материалам морской съемки 1882 г.

В XX в. в районе эстуария р. Камчатки работало несколько исследовательских партий, деятельность которых была связана с нуждами судоходства, портостроения и лесосплава (перечень экспедиций и основные сведения об их трудах, вышедших до начала 1960-х гг., есть в [Ресурсы..., 1966]). Кроме этого, в 1930-х гг. в эстуарии начались регулярные исследования, организованные Камчатским УГМС и КамчатНИРО. Не касаясь подробностей всех этих работ, кратко скажем о наиболее значимых из них.

В 1908–1909 гг. устье р. Камчатки исследовал В.Н. Лебедев, участник Камчатской экспедиции Ф.П. Рябушинского. Результаты этой работы были опубликованы в двух его трудах [1915; 1919], которые и по сей день не утратили своей большой научной значимости. Последнее обусловлено тем, что во-первых, В.Н. Лебедев был высококлассным гидрологом, понимавшим

специфику устьевых процессов и учитывавшим ее в своих исследованиях; а во-вторых, тем, что этот ученый работал в то время, когда блокирующая эстуарий коса была на ~10 км длиннее, чем в последующее столетие, в связи с чем гидрологический режим эстуария сильно отличался от современного.

В 1950–1960 гг. на оз. Нерпичьем работал известный дальневосточный гидробиолог И.И. Куренков, который интересовался вопросами гидрологии и уделял им немалое внимание в своих исследованиях. Благодаря этому ученому стало известно о гидрологических особенностях эстуария р. Камчатки существовавших при короткой блокирующей косе [Куренков, 1965; 1971; 2005].

И, наконец, общие вопросы формирования морской аккумулятивной террасы в районе устья р. Камчатки были изучены Р.Б. Мамаевой (Чернышевой), выполнявшей свои исследования в начале 1950-х гг. [Чернышева, 1954; Мамаева, 1956; 1959].

Рельеф. В районе устья р. Камчатки развита широкая аккумулятивная равнина, которая с запада примыкает к отрогам хребта Кумроч, с севера и востока ограничена оз. Нерпичьим, а с юга омывается водами Тихого океана (рис. 4.1). Левобережная равнина очень ровная, низкая, с большим количеством озер и речных протоков, местами сильно заболочена; сложена речными илистыми песками и песчанистым илом. Поверхность правобережной равнины состоит из узких и длинных валов, параллельных друг другу и чередующихся с водоемами такой же формы (рис. 4.2, 4.3). Валы сложены морскими песчано-галечными отложениями и покрыты древесно-кустарниковой и луговой растительностью [Чернышева, 1954].

Морской берег в районе эстуария представляет собой аккумулятивную дугу длиной ~50 км, с двух сторон ограниченную скалистыми абразионными участками [Берега, 1967]. Устье р. Камчатки находится в зоне высокой сейсмической и вулканической активности и подвержено воздействию волн цунами.

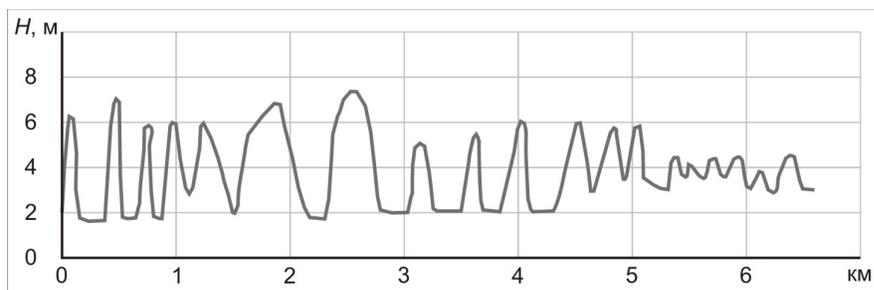


Рис. 4.2. Поперечный профиль через морскую аккумулятивную террасу в устьевой области р. Камчатки (по линии А на рис. 4.1; рис. из [Мамаева, 1956]): расстояние от берега моря, высота в условной системе; отметка высоких полных вод летом 1951 г. составляла 2 м усл.)

Климат (по [Кондратюк, 1974; Научно-прикладной..., 2001]) в районе эстуария р. Камчатки морской умеренный, влажный. Средняя температура воздуха в августе повышается до 12.2°C, в январе понижается до -11.4°C; а в среднем за год составляет -0.5°C. Годовая сумма осадков ~700 мм. Зима продолжается с середины ноября до середины апреля, она более холодная и менее снежная, чем в южной части тихоокеанского побережья Камчатки. Весна прохладная и затяжная, длится до трех месяцев — с середины апреля до первой декады июля. Лето не очень теплое и короткое, продолжается около двух месяцев — до начала сентября. Осень также короткая (1.5–2 мес, до середины ноября), с устойчивой и относительно теплой погодой.

Гидрологический режим р. Камчатки (по [Ресурсы..., 1973]). Р. Камчатка берет начало на восточном склоне Срединного хребта, на протяжении ~600 км течет по Центральной Камчатской равнине на север, а в 60 км от своего устья поворачивает на восток. В этом месте река через узкое ущелье прорывается к прибрежной низменности, по которой течет ~30 км до места своего впадения в Камчатский залив. Длина реки 758 км, площадь водосбора 55 900 км².

Р. Камчатка имеет смешанное снеговое и подземное питание. Основная фаза водного режима — весенне-летнее половодье, во время которого проходит более половины годового стока воды. Половодье начинается в мае, своего пика достигает в конце июня или начале июля, заканчивается в конце августа – середине сентября. Осенне-зимняя межень (с сентября до конца апреля или начала мая) сравнительно многоводная и устойчивая.

Сезонные колебания уровня воды в реке достигают 3–4 м. Средние расходы воды в устье реки составляют: за год $\sim 1030 \text{ м}^3/\text{с}$ (по оценке Т.Г. Пономаревой, ДВНИГМИ), на пике половодья $\sim 3030 \text{ м}^3/\text{с}$, среднеминимальный в осеннюю межень $\sim 910 \text{ м}^3/\text{с}$, в зимнюю межень $\sim 470 \text{ м}^3/\text{с}$.

Температура речной воды переходит через 0.2°C в первой половине мая, в августе она повышается в среднем до 14°C , а в начале ноября снова охлаждается до 0.2°C . Первые ледовые явления начинаются в конце октября или начале ноября, к середине ноября устанавливается сплошной ледяной покров. Вскрывается река в конце апреля или начале мая. Весенний ледоход развит слабо и продолжается 5–7 дней.

Вода в реке гидрокарбонатно-кальциевая, но в половодье приобретает слабовыраженный сульфатный состав. В связи с тем, что бассейн реки находится в районе активного вулканизма, речная вода относительно высоко минерализована (до 200 мг/л в межень) и замутнена (среднегодовая мутность $\sim 95 \text{ г/м}^3$). Из реки в эстуарий и в Тихий океан ежегодно выносятся ~ 3.1 млн. т наносов (по оценке Т.Г. Пономаревой, ДВНИГМИ).

Раньше река использовалась для сплава леса и судоходства — суда поднимались на 600 км от устья. Теперь нет ни того, ни другого. С конца 1970-х и до конца 1980-х гг. глубины на устьевом баре реки поддерживались с помощью землечерпания.

Гидрологический режим устьевого взморья. Приливы в районе устья р. Камчатки неправильные полусуточные, величиной до 1 м в квадратуру и до 2 м в сизигию. Среднегодовая температура морской воды 3.7°C ; в феврале и марте среднемесячная температура воды опускается до -1.5°C , а в августе поднимается до 11.4°C [Атлас..., 1970]. (Интересно, что связь между температурой воздуха на побережье и температурой воды в море слабая, а весной и вовсе отсутствует: бывают случаи, когда температура морской воды становится положительной раньше, чем температура воздуха. Скорее всего, это явление связано с высокой динамичностью морских вод в этом районе [Лобанова, 1989]). Ледовые явления в Камчатском зал. продолжаются с конца декабря до середины мая, но устойчивого ледяного покрова в нем обычно не образуется.

Соленость морской воды максимальна в зимнюю межень (30–33‰), а минимальна в период половодья, когда она понижается до 20‰ и менее. На устьевом взморье очень сильна непериодическая изменчивость солености воды, связанная с взаимодействием речного стока, морских нагонов и приливов. Так, в период половодья и сильных нагонов, соленость воды на взморье в течение нескольких суток может колебаться между 15 и 30‰ [Лобанова, 1989]. Для описываемого района, как и для всего тихоокеанского побережья Камчатки, характерно сильное волнение в любое время года, причем волны в вершине Камчатского зал. могут наблюдаться даже при полном отсутствии ветра («мертвая зыбь»). Максимальная высота волн здесь достигает 3–6 м [Атлас..., 1970].

Наблюдения ДВНИГМИ за соленостью воды позволили выявить внешнюю границу устьевого взморья, которая в августе проходит по дуге, описанной вокруг устьевого створа эстуария. Радиус дуги равен 10 км, наибольшая глубина на границе устьевого взморья достигает 80 м [Лобанова, 1989].

4.1.2. Морфологические процессы в эстуарии

В эстуарии р. Камчатки очень активны морфологические процессы, связанные с динамикой морского берега. Согласно общепринятому мнению, они протекают следующим образом (см., например, в [Мамаева, 1959]). В районе устьевого створа эстуария перехватывается и разгружается вдольбереговой поток морских наносов, направленный с северо-востока на юго-запад. Это приводит к соответствующему удлинению косы, а значит, к смещению устья эстуария и растягиванию эстуарного водотока (рис. 4.3). Когда коса удлиняется более чем на 10 км, способность стоково-отливного потока противостоять морскому воздействию уменьшается, поэтому после сильных штормов устье эстуария блокируется морскими отложениями. Вслед за этим, речной поток, лишенный выхода в море, прорывает косу в месте ее причленения к древней пересыпи (рис. 4.3). В результате у эстуария появляется новое устье. (Возможна и обратная ситуация, когда в половодье мощный речной поток сначала прорывает косу у ее основания и образует «новое» устье эстуария, и лишь затем морские волны замыкают «старое» устье). С этого момента начинается рост «новой» косы, которая формируется мористее «ста-

рой» — цикл развития морского берега и эстуария р. Камчатки начинается заново. (Судя по всему, на этом этапе своего развития эстуарий находится в последние десятилетия, рис. 4.3).

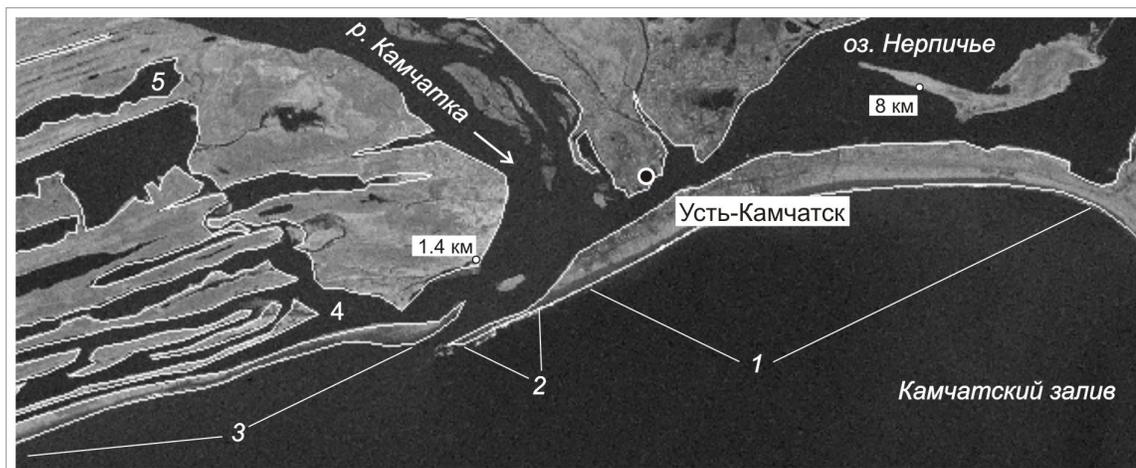


Рис. 4.3. Космический снимок устья р. Камчатки в июне 2001 г. [<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>]: 1 — древняя пересыпь, от оконечности которой растет «новая» коса; 2 — «новая» коса (начала формироваться после 1943 г.); 3 — «старая» коса (сформировалась в период с 1820 до 1916 или 1923 г.); 4 — лагуны (бывшие русла эстуарного водотока); 5 — одна из отмерших лагун; расстояния от устья эстуария

Как показало сравнение космических снимков, «старая» коса не размывается в процессе роста «новой» косы и не смещается к берегу под действием волн. Благодаря первому обстоятельству, аккумулятивная морская терраса выдвигается в сторону Камчатского зал., а к эстуарию р. Камчатки присоединяется новая лагуна. Второе обстоятельство способствует тому, что эта лагуна не исчезает вследствие надвигания на нее тела «старой» косы и сохраняется в составе эстуария.

Интересен вопрос о том, какова длительность одного цикла развития эстуария. Согласно исследованиям Института вулканологии ДВО РАН, морская терраса на правом берегу р. Камчатки начала формироваться примерно 2.5–2.8 тыс. лет назад. Учитывая, что она насчитывает ~20 крупных валов (см. рис. 4.2), среднюю продолжительность одного цикла можно оценить в 130–150 лет.

Проведенный нами анализ архивных и литературных источников, карт и космических снимков [Борисов, 2001; Дитмар, 191; Карта..., 1952; Крынин, 1913; Куренков, 1970; Лебедев, 1916; 1919; План..., 1883] показал, что вновь

формирующаяся устьевая коса удлиняется неравномерно. В первые десятилетия после начала этого процесса (за отправной момент принимается прорыв «старой» косы) «новая» коса удлиняется очень медленно, при этом возможен ее неоднократный размыв, влекущий за собой возвращение системы в исходное состояние. Именно так было в первый период формирования той косы, которая на рис. 4.3 названа «старой»: за 1820–1882 гг. ее результирующий прирост составил всего 1.5 км. То же произошло и в начальный период образования современной косы: в 1943–2001 гг. она удлинилась всего на 1.6 км. Во втором периоде развития устьевой косы интенсивность ее удлинения заметно возрастает — в среднем до 300–400 м/год. По-видимому, смена характера развития косы происходит тогда, когда ее длина достигает 1–2 км. По нашему мнению, это связано с изменением гидродинамических условий на устьевом взморье: в первый период развития устьевой косы стоково-отливный поток из эстуария выходит почти по нормали к берегу, а во второй период, при более длинной косе, он вытекает на взморье почти параллельно морскому берегу. Судя по имеющимся данным, к концу второго периода развития косы интенсивность ее удлинения снижается примерно вдвое (об этом говорят расчеты И.П. Ляпшуото за 1905–1910 гг., приведенные в [Борисов, 2001]).

Описанная нами схема развития морского берега и эстуария может нарушаться под действием эндогенных факторов. Так, недавние исследования ИВиС ДВО РАН в устье р. Камчатки показали, что за время своего существования морская аккумулятивная терраса многократно подвергалась частичному размыву, причем некоторые эпизоды размыва по своему возрасту хорошо совпадают с сильнейшими землетрясениями, которые могли сопровождаться вертикальными движениями отдельных блоков земной коры и волнами цунами (устное сообщение Е.А. Кравчуновской). Весьма вероятно, что в этих эпизодах помимо террасы размывалась и растущая устьевая коса.

В последнее время естественное развитие гидролого-морфологических процессов в устье р. Камчатки нарушается деятельностью человека. Так, достоверно известно о трех искусственных прорезях, сделанных у основания косы в 1820, 1916 и 1943 г. [Борисов, 2001], но возможно, что таких случаев

было больше. (До 1930-х гг. длина устьевой косы искусственно сокращалась для увеличения количества лососевых рыб, входящих в устье реки на нерест — считалось, что несколько лишних километров пути могут отпугнуть рыбу. Такое мнение ничем не обосновано, а предпринимаемые меры никоим образом не могли обеспечить желаемого эффекта. Однако вера некоторых жителей Камчатки в действенность этого сколь радикального, столь и бесполезного способа увеличения заходов рыбы в устья рек сохраняется до сих пор). Кроме этого, на протяжении целого десятилетия (с конца 1970-х до конца 1980-х гг.) в устье р. Камчатки искусственно поддерживались глубины на устьевом баре и таким образом сдерживалось удлинение «новой» косы.

4.1.3. Гидрологические процессы в эстуарии

Имеющиеся в литературе сведения подтверждают то очевидное предположение, что возвратное перемещение устья эстуарного водотока должно сильно влиять на гидрологический режим всего эстуария. В связи с этим, гидрологические процессы в эстуарии р. Камчатки нами рассмотрены в двух крайних ситуациях: в условиях длинной и короткой устьевой косы. Описание сделано по материалам В.Н. Лебедева [1915; 1919] и И.И. Куренкова [1965, 1971; 2005], уточненных автором диссертации с позиций современных представлений об устьях рек и устьевых процессах.

Гидрологические процессы в условиях длинной устьевой косы. Согласно В.Н. Лебедеву [1919], в 1909 г. устьевая коса имела длину ~10 км. В этот период наибольшие колебания уровня воды в эстуарии были связаны с сезонными изменениями речного стока (до 2.5 м). Приливные колебания уровня распространялись примерно на 11–12 км от устья эстуария, то есть ограничивались пределами эстуарного водотока. В летний период сгонно-нагонные колебания уровня воды в эстуарном водотоке достигали 0.3 м в сутки, при этом максимум уровня был при ветре со стороны оз. Нерпичьего, а минимум при ветре с моря.

По совокупности таких гидрологических характеристик, как температура и минерализация воды, соотношение основных ионов, мутность и цветность воды, в пределах эстуария р. Камчатки выделялось три водных массы, которые локализовались в речном русле, в оз. Нерпичьем и в устьевых лагу-

нах (соответственно речная, озерная и лагунная ВМ, см. рис. 4.4). Озерная и лагунная водные массы формировались из речных вод, трансформировавшихся в водоемах в процессе обмена веществом и энергией между этими ВМ, атмосферой и дном, а также под действием внутренних биологических процессов. Судя по тому, что вторичные водные массы были пресными, прямого участия морских вод в их формировании не было. Однако В.Н. Лебедев отмечал, что по соотношению главных ионов озерная и лагунная водные массы больше походили на морскую воду, чем на речную, что, по его мнению, было связано с вымыванием солей из донных отложений. Не оспаривая мнение В.Н. Лебедева, добавим, что важным (а может быть и основным) источником поступления морских солей в озеро и лагуны мог быть ветровой перенос капель воды со стороны Камчатского зал.

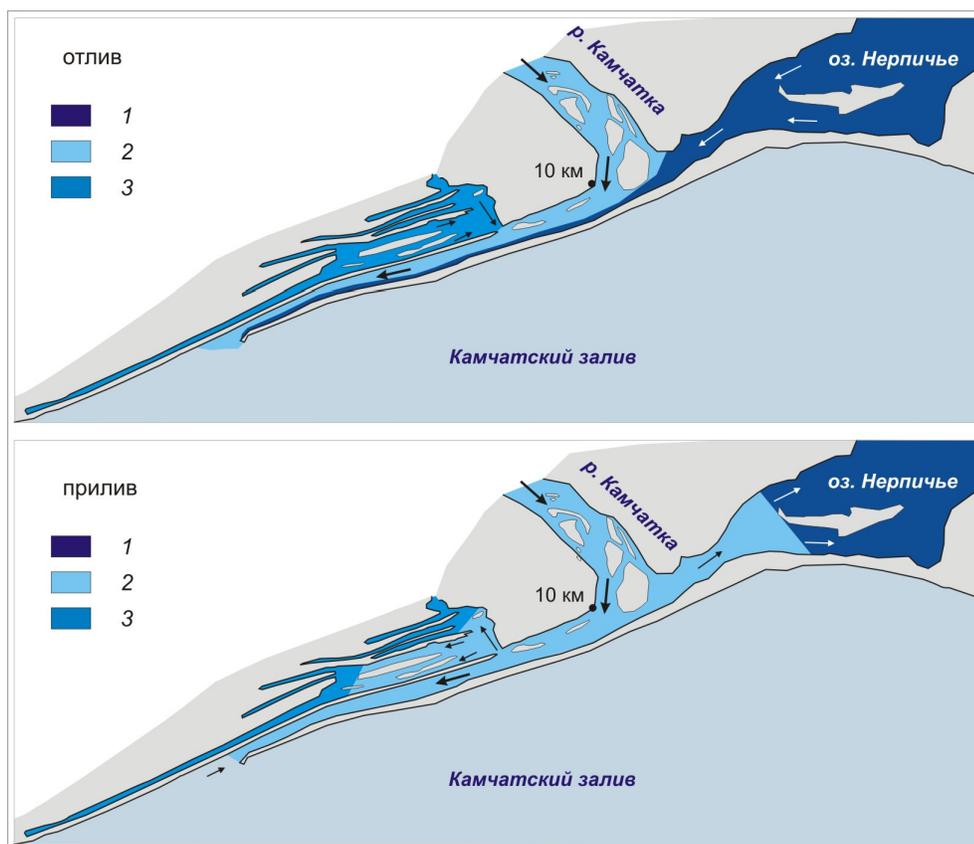


Рис. 4.4. Взаимодействие водных масс в эстуарии р. Камчатки в период осенней межени 1909 г. (по схемам В.Н. Лебедева [1919]): 1 — ВМ оз. Нерпичьего; 2 — ВМ р. Камчатки; 3 — ВМ лагун; расстояние от устья эстуария

В условиях длинной устьевой косы контактное взаимодействие водных масс внутри эстуария р. Камчатки происходило следующим образом. Речные

воды на протяжении всего года и вне зависимости от фазы прилива стекали по русловой части эстуария (из реки по эстуарному водотоку) в море. Морские воды проникали в эстуарий лишь в приливную фазу и только у дна. В теплое время года дальность проникновения осолоненных вод в эстуарии не превышала 6–7 км, поэтому вода во всех эстуарных водоемах (в лагунах и озере) была пресной. Зимой, когда речной сток уменьшался до своего минимума, морские воды в некоторых случаях и в небольших количествах попадали в лагуны, но до озера осолоненные воды не доходили ни при каких обстоятельствах. (Зимой В.Н. Лебедев наблюдений не проводил, но из его данных следует, что перед началом половодья на реке соленость воды в ближайшей к морю лагуне не превышала 2‰, а в оз. Нерпичьем была <0.2‰).

Эстуарные водоемы пополнялись речными водами на подъеме и пике половодья: объем оз. Нерпичьего в этот период был на половину больше, чем в зимнюю межень. На спаде половодья подпор со стороны реки ослабевал, и водоемы начинали срабатываться. Во второй половине лета, когда речные расходы были близки к своему среднегодовому значению, устанавливалась приливная циркуляция вод: в приливную фазу водоемы пополнялись речной водой, а в отливную фазу их объемы срабатывались (рис. 4.4). О зимнем режиме эстуария ничего не известно, но можно предположить, что в условиях низкого речного стока приливный характер циркуляции сохранялся, при этом водообновление в озере и лагунах сильно замедлялось.

Трансформация вод в эстуарных водоемах определялась особенностями циркуляционных процессов. Вторичные водные массы обновлялись в период половодья, на пике которого гидрологические характеристики в реке и водоемах были очень близки. В дальнейшем, по мере сезонного уменьшения речного стока, вторичные водные массы в озере и лагунах все больше трансформировались, их характеристики все в большей степени зависели от погодных условий и внутриводоемных процессов. Наибольшие различия между характеристиками первичных (речных) и вторичных (озерных и лагунных) водных масс отмечались в начале половодья.

Гидрологические процессы в условиях короткой устьевой косы. В 1950-х гг. длина косы в устье эстуария была меньше 1 км (имеется в виду

расстояние между оконечностью древней пересыпи и оконечностью «новой» косы, см. рис. 4.3). Приливы и нагоны в то время проникали до 10–12 км от устья эстуария [Пономарева, 1989]. Согласно наблюдениям Камчатского УГМС, в эстуарном водотоке, в 1 км от устья эстуария, величина приливов достигала 1.0 м в сизигию и 0.4 м в квадратуру.

В условиях короткой устьевой косы основные черты динамики вод в эстуарии оставались теми же, что и прежде: речные воды непрерывно стекали в море; морские воды проникали в устье эстуария только в приливную фазу и только у дна; эстуарные водоемы наполнялись в период половодья и в приливную фазу, а сбрасывались их объемы на спаде половодья и в отливную фазу. По-прежнему была выражена сезонность в формировании вторичных водных масс: весной и летом они обновлялись, а по мере уменьшения речного стока все больше трансформировались. Но сокращение длины устьевой косы способствовало тому, что морские воды стали проникать непосредственно в эстуарные водоемы, отчего их водные массы осолонились. При этом соленость вторичных водных масс стала сильно зависеть от водности реки: в зимнюю межень в глубоководной части оз. Нерпичье соленость воды достигала 15‰, а на спаде половодья она не превышала 3–4‰ ([Куренков, 1965; 2005], рис. 4.5).

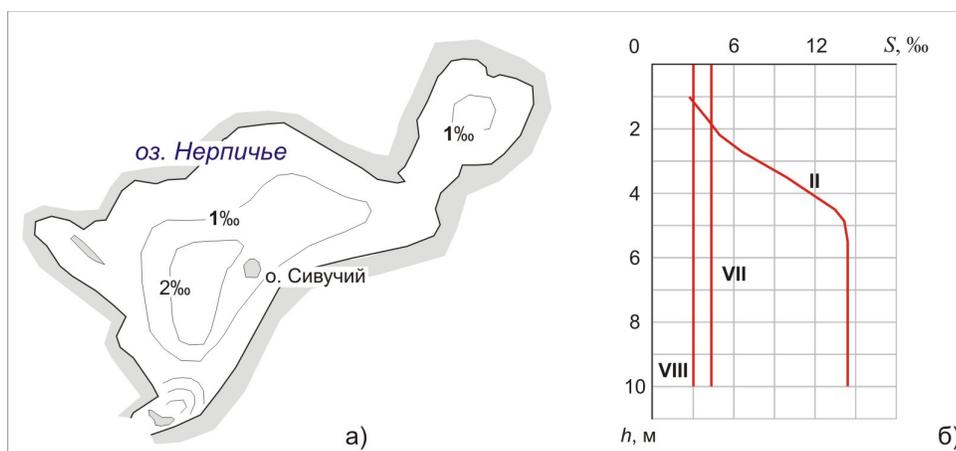


Рис. 4.5. Распределение солености воды в оз. Нерпичьем в середине 1950-х гг. (по схемам И.И. Куренкова [2005]): а) — в поверхностном слое озера в феврале 1955 г.; б) — в наиболее глубокой части озера (в районе о. Сивучий) в феврале (II), июле (VII) и августе (VIII) 1955 г.

Учитывая особенности гидрохимического режима озерных вод, можно заключить следующее. В период повышенного и среднего речного стока (с

весны до осени) клин осолоненных вод достигал котловины оз. Нерпичьего только в тех случаях, когда действие сизигийных приливов усиливалось нагонными ветрами с моря. В период низкого речного стока морские воды попадали в озеро значительно чаще, скорее всего с каждым приливом.

4.1.4. Выводы

Главные морфологические процессы в эстуарии р. Камчатки: 1. Возвратное перемещение устья эстуария из-за изменения длины косы (плавное по мере удлинения косы и резкое после ее прорыва). 2. Изменение конфигурации эстуария и увеличение его размеров вследствие последовательного присоединения к нему новых лагун — бывших эстуарных водотоков. Конечно, одновременно идет и обратный процесс — с течением времени самые старые лагуны внутри эстуария теряют связь с эстуарным водотоком, заполняются донными отложениями и зарастают. Но этот процесс очень медленный. Так, исходя из возраста отдельных частей морской террасы, лагуны внутри эстуария отмирают за ~1.5–2 тыс. лет. Первый процесс оказывает наибольшее воздействие на гидрологический режим эстуария, причем его внешние проявления очень похожи на те, что были описаны для эстуария р. Большой (см. гл. 2).

В качестве ведущих гидрологических процессов в эстуарии можно выделить: 1. Неконтактное динамическое взаимодействие водных масс (ВМ). 2. Сток речной воды и приливное проникновение осолоненных вод. 3. Трансформация первичных ВМ в эстуарных водоемах и формирование в них вторичных ВМ.

Особо следует отметить, что в своих главных чертах гидрологические процессы в эстуариях рек Камчатка и Большая очень похожи, сходны и последствия, которые оказывают на них морфологические процессы. Этот вывод имеет важное научно-практическое значение, поскольку позволяет использовать подробно изученный эстуарий р. Большой в качестве аналога для оценки различных явлений в эстуарии р. Камчатки. Так, опираясь на установленную нами зависимость между дальностью проникновения осолоненных вод в эстуарии р. Большой с величинами речных расходов и приливов (см. разд. 2.5.2), можно прийти к выводу, что если длина косы-пересыпи в эс-

туарии р. Камчатки достигнет 5 км, то осолоненные воды перестанут достигать оз. Нерпичьего и вода в нем опреснится.

В сентябре–октябре 2009 г. в эстуарии р. Камчатки под руководством автора диссертации были проведены комплексные гидрологические и гидробиологические работы. Как показали предварительные результаты исследований, гидрологические процессы, протекающие в эстуарии в настоящее время, аналогичны тем, что действовали в нем в середине прошлого века. Учитывая, что дноуглубительные работы на устьевом баре больше не ведутся, можно предположить, что в ближайшие десятилетия устье эстуария будет смещаться на ЮЗ, а водные массы внутри эстуария будут опресняться.

В заключение несколько слов о влиянии эндогенных процессов на гидрологический режим эстуария р. Камчатки. Из-за сильных землетрясений в районе эстуария возможны подъемы или опускания блоков суши, которые приводят к изменению относительного уровня моря. Вследствие этого изменяется степень воздействия морских факторов на эстуарий, что в первую очередь сказывается на солености воды в оз. Нерпичьем. Так, по мнению Е.А. Кравчуновской, осолонение озера в 1923 г. могло быть связано не с попаданием вод цунами в озеро, как об этом писал И.И. Куренков [1970], а с повышением относительного уровня моря из-за землетрясения.

4.2. Эстуарии западного побережья Камчатки

Согласно результатам исследований береговой экспедиции Географического факультета МГУ [Динамика..., 1971; Зенкович и др., 1971], в пределах 400–километрового участка западного побережья Камчатки между устьями рек Большая и Ича (рис. 4.6) распространены однотипные в геоморфологическом отношении лагуны, которые в [Зенкович и др., 1971] было предложено называть «шнурообразными». Наш анализ космических снимков и карт показал, что участок распространения шнурообразных лагун несколько больше (примерно 500 км) и охватывает часть охотоморского побережья Камчатки между устьями рек Кошегочек и Сопочная (рис. 4.6). Отметим, что все шнурообразные лагуны находятся в устьях рек, а значит, условие смешения речных и морских вод в них выполняется автоматически и все они могут считаться эстуариями. Морфологическими признаками этих лагун–эстуариев

являются: их значительная удлинённость и малая ширина, вытянутость вдоль берега моря, а также то, что все они представляют собой водотоки, продолжающие русла главных рек (рис. 4.6). От моря лагуны–эстуарии на всем своем протяжении отделяются косами-пересыпями, в большинстве случаев состоящими из одного песчано-галечного вала [Зенкович и др., 1971].

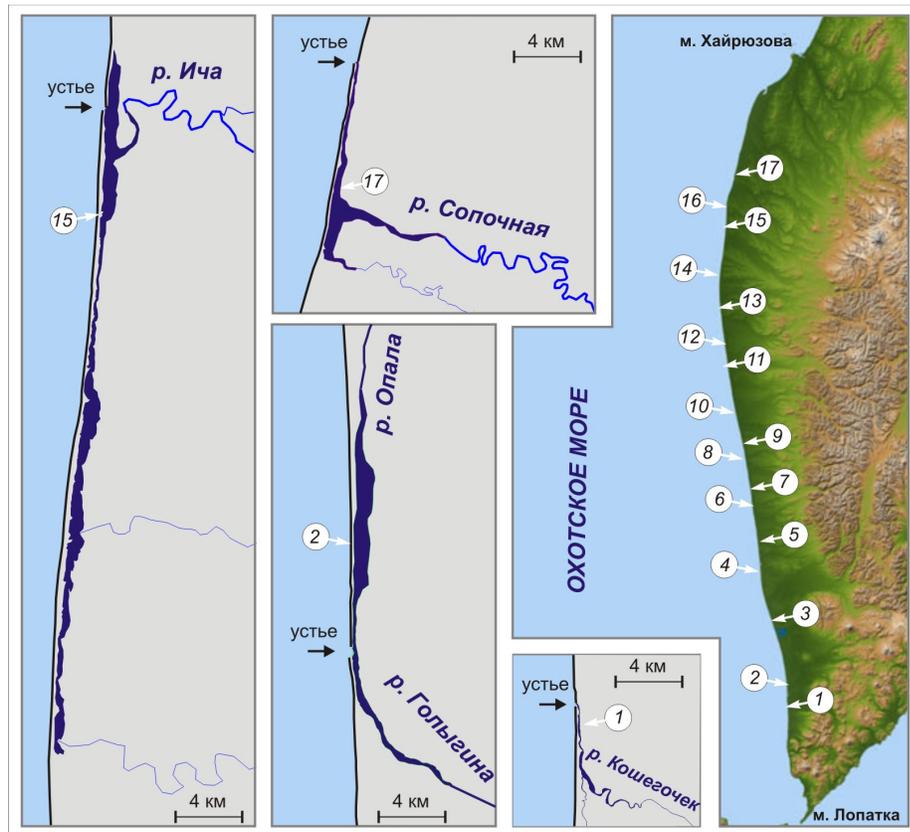


Рис. 4.6. Эстуарии рек западного побережья Камчатки: 1 — Кошегочек; 2 — Опала и Гольгина; 3 — Большая и Удочка; 4 — Митога; 5 — Утка; 6 — Кихчик; 7 — Пымта; 8 — Коль; 9 — Кехта; 10 — Большая Воровская и Удова; 11 — Брюмка; 12 — Колпакова и Кунжик; 13 — Крутогорова; 14 — Облуковина; 15 — Ича и Конон; 16 — Саичик; 17 — Сопочная

Из результатов работ экспедиции МГУ следует, что главные морфологические процессы в эстуариях Западной Камчатки — это миграции их устьев вдоль берега моря и заполнение эстуариев речными наносами [Зенкович и др., 1971]. О первом писали все исследователи, когда-либо работавшие на побережье Западной Камчатки (см., например, в [Дитмар, 1901; Тюшов, 1906; Давыдов, 1923]), но все же это явление до сих пор не изучено. Так, даже о характере смещения эстуарных устьев нет единого мнения: в одних работах говорится о направленности этого процесса [Дитмар, 1901], а в других отме-

чается отсутствие каких-либо закономерностей [Зенкович и др., 1971]. Что же касается заполнения эстуариев отложениями, то никаких конкретных сведений на этот счет в литературе не имеется.

Согласно выводам экспедиции МГУ, в прибрежной зоне Западной Камчатки нет устойчивых вдольбереговых потоков наносов, поэтому формирование и динамика пересыпей (а значит и перемещение эстуарных устьев) с ними не связаны [Зенкович и др., 1971]. При этом мнение о том, что пересыпи эстуариев Западной Камчатки являются «реликтовыми образованиями по отношению к современным гидродинамическим условиям в прибрежной зоне моря» [Зенкович и др., 1971], нам кажется спорным — хотя бы потому, что это противоречит достоверным сведениям о высокой динамичности этих объектов. По нашему мнению, хорошо заметное на космических и аэрофотоснимках внешнее сходство строения приморских частей большинства из описываемых эстуариев с эстуарием р. Большой, свидетельствует о том, что процессы, формирующие и преобразующие большую часть пересыпей Западной Камчатки, должны быть похожи на описанные в гл. 2. То есть большинство этих пересыпей должны быть современными, формироваться и изменяться при непосредственном участии устьевых процессов, а в их развитии должна прослеживаться цикличность. Однако это предположение нуждается в тщательной проверке на основе полевых наблюдений.

О гидрологических процессах в рассматриваемых эстуариях не известно ничего, кроме наличия сильных обратных течений в устьях эстуариев в приливную фазу [Давыдов, 1923]. Но, как ранее было показано на примере устьев рек Большой, Большого Вилюя и Камчатки, особенности гидрологических процессов в эстуариях полуострова тесно связаны со строением и динамикой их рельефа. Поэтому с высокой долей вероятности можно предположить, что всем описываемым объектам, однотипным в геоморфологическом отношении, присущи общие гидрологические черты: сильная проточность; преобладающее влияние речного стока; приливное проникновение клина осолоненных вод; отсутствие вторичных водных масс (наличие вторичных ВМ можно предполагать только в тех редких случаях, когда в эстуа-

риях есть относительно изолированные водные объекты — например, отмершая лагуна в устье р. Ичи, см. рис. 4.6).

Итак, мы приходим к выводу о том, что на 500-километровом участке побережья Западной Камчатки между устьями рек Кошегочек и Сопочная распространены эстуарии, однотипные с эстуарием р. Большой по особенностям гидролого-морфологических процессов. Для дальнейшего анализа (см. гл. 5) необходимо иметь представление о физико-географических условиях, в которых существуют эти объекты.

Весь исследуемый участок побережья находится в пределах Западно-Камчатской равнины, которая с востока примыкает к предгорьям Срединного хребта, а на западе плавно переходит в шельф Охотского моря [Новейшие..., 1978]. На юге участка (между устьями рек Кошегочек и Крутогорова) приморская равнина представляет собой заболоченную низменность, которая в отдельных местах прерывается выходящими к морю увалами. На севере участка (между устьями рек Крутогорова и Сопочная) распространена пологоувалистая расчлененная равнина с заболоченной поверхностью. На всем своем протяжении рассматриваемый участок побережья принадлежит одному береговому району с выровненными аккумулятивными и абразионно-аккумулятивными берегами [Берега, 1967; Зенкович и др., 1971].

Значительная волновая активность у западного побережья Камчатки связана с действием сильных ветров. Штилей здесь почти не бывает, но зимой волнение несколько ограничивается ледяным покровом, а летом — ослаблением циклонической деятельности. Наибольшая повторяемость значительного и сильного волнения характерна для октября и ноября. Максимальная величина приливов у западного побережья Камчатки увеличивается от ~2 м на юге участка до 4–5 м на севере.

Из семнадцати рек западного побережья, в устьях которых сформировались эстуарии, четыре по величине стока [Гидросфера..., 1977] относятся к большим рекам, остальные к средним (табл. 4.1). Среднегодовой расход речной воды, поступающей в разные эстуарии Западной Камчатки, изменяется в широких пределах — от 10 до 350 м³/с (табл. 4.1). В лимнологии и гидрологии водохранилищ широко известен такой параметр, как удельный водосбор,

равный отношению площади водосбора водного объекта к площади его акватории [Экологический..., 1999]. Этот показатель служит для оценки влияния водосбора (или речных факторов) на водные объекты. В рассматриваемых эстуариях величина удельного водосбора изменяется от нескольких сотен до нескольких тысяч единиц (табл. 4.1).

Таблица 4.1.

Некоторые характеристики эстуариев западного побережья Камчатки

Номер на рис. 4.6	Главные реки	Q среднегодовой, м ³ /с	Удельный водосбор*	Длина эстуария, км	Вытянутость**
1	Кошегочек	17	1 600	3.6	36
2	Опала и Голыгина	180	1 000	12	24
3	Большая (с Удочкой)	350	185	35	49
4	Митога	11	7 900	1.2	30
5	Утка	23	1 300	3.7	23
6	Кихчик	58	3 600	5.4	54
7	Пымта	31	7 500	2	29
8	Коль	48	13 600	2.9	73
9	Кехта	18	4 700	1.4	14
10	Большая Воровская и Удова	140	350	32	64
11	Брюмка	18	600	6.8	34
12	Колпакова (с Кунжиком)	80	800	16	70
13	Крутогорова	72	5 300	5	50
14	Облуковина	66	1 600	13	90
15	Ича (с Кононом)	110	300	38	90
16	Саичик	21	300	10	33
17	Сопочная	93	1 200	11	37

* — отношение площади речного водосбора к площади эстуария;

** — отношение длины эстуария к его средней ширине

4.3. Эстуарии восточного побережья Камчатки

Анализ карт, космических снимков и литературных источников показал, что на восточном побережье Камчатки между мысами Поворотный и Кронцкий распространены эстуарии, похожие на эстуарий р. Большой Вилюй по следующим признакам. Во-первых, по своему морфологическому строению, для которого характерны малые размеры объектов (табл. 4.2), озеровидная форма, а также наличие блокирующих пересыпей и коротких водотоков, соединяющих эти эстуарии с океаном (рис. 4.7). Во-вторых, по относительно невысокой степени влияния речных факторов — показатель удельного водосбора в них не достигает 100 единиц (табл. 4.2). В-третьих, по химическому составу воды — по крайней мере о трех из этих эстуариев извест-

но, что вода в них солоноватая (эстуарии рек Семлячик [Бровко и др., 1988; Комаров, 1912] Малая Медвежка [Ресурсы..., 1966], Калыгирь [Спасский, 1940]). И наконец, в-четвертых, по динамике блокирующей их пересыпи — для многих из этих эстуариев зафиксированы факты штормового блокирования их устьев [Дитмар, 1901; Спасский, 1940].

Таблица 4.2

Некоторые характеристики эстуариев восточного побережья Камчатки
(расчеты автора)

Номер на рис. 4.7	Главные реки	Q ср.*, м ³ /с	Удельный водосбор*	Длина эстуария, км	Удлиненность**
1	Вайвачик	1.1	80	1	2
2	Большая Саранная	2.9	22	3.7	3
3	Большой Виллюй**	4	18	7	6
4	Большая Медвежка	1.4	10	2.9	2
5	Малая Медвежка	1.1	8	4	3
6	Большой Калыгирь	6.5	12	7.4	4
7	Малый Калыгирь	0.5	19	1.5	3
8	Семлячик	19	71	6.9	5

*— рассчитано по среднему модулю стока (28 л/с км²);

**— вместе с р. М. Виллюй

Помимо сходства по упомянутым признакам, однотипность рассматриваемых эстуариев восточного побережья Камчатки подтверждается идентичностью гидрологической структуры и динамических явлений в озерах Большой Виллюй и Большой Калыгирь. Так, на основе исследований Н.Н. Спасского [1940], можно сделать вывод о наличии в котловине оз. Большой Калыгирь двух вторичных водных масс и слоя скачка между ними. Так же, как и в оз. Большой Виллюй, в этом эстуарии придонная водная масса на протяжении всего года имеет высокую соленость ($\geq 28\text{‰}$) и повышенное содержание сероводорода, а поверхностная водная масса опреснена и насыщена кислородом. В период половодья соленость воды во всем эстуарии уменьшается (особенно в поверхностном слое), а в период летне-осенней межени, наоборот, увеличивается (что сам Н.Н. Спасский связывал с сезонным изменением соотношения притока речных и морских вод). В отчете Н.Н. Спасского говорится о значительной сезонной изменчивости уровня воды в озере, обусловленной неравномерностью речного стока, а также о наличии в водоеме приливных полумесячных и суточных колебаний уровня. Кроме этого, исследователь сообщает о проникновении морских вод в озеро, ко-

торое происходит на протяжении всего года в приливную фазу (за исключением периодов максимального речного стока и штормового блокирования устья эстуарного водотока).

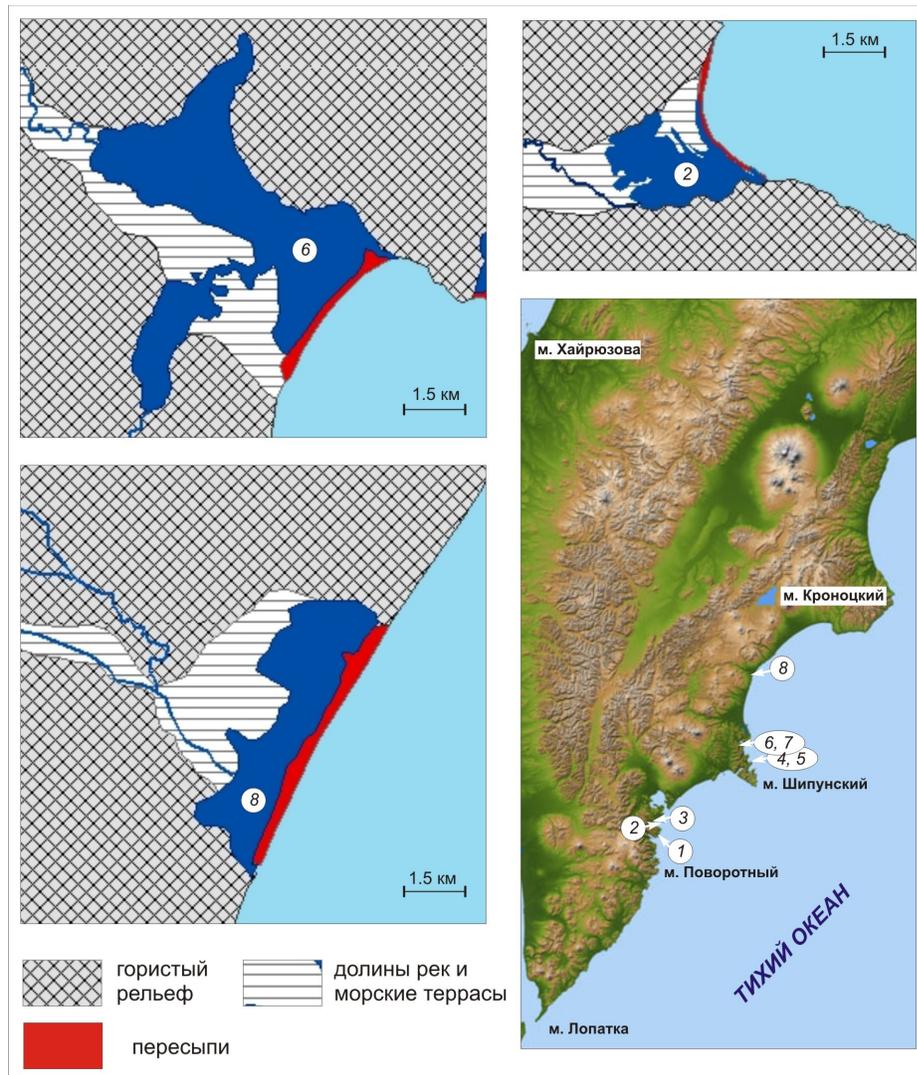


Рис. 4.7. Некоторые эстуарии рек восточного побережья Камчатки: 1 — Вайвачик; 2 — Большая Саранная; 3 — Большой Вилюй; 4 — Большая Медвежка; 5 — Малая Медвежка; 6 — Большой Калыгирь; 7 — Малый Калыгирь; 8 — Семлячик

Что касается физико-географических условий, в которых существуют эстуарии–озера восточного побережья Камчатки, то в основных чертах они таковы. Все описываемые объекты сосредоточены на двух небольших участках гористого побережья полуострова (рис. 4.7). Их положение здесь можно объяснить только наличием котловин, в которых эти объекты могут формироваться. Берега района абразионно-денудационные, с небольшими по протяженности аккумулятивными участками [Берега..., 1967].

Штилей в описываемом районе почти не бывает, причем из-за отсутствия ледяного покрова сильное волнение отмечается и зимой. Величина приливов на всем восточном побережье полуострова одинакова, в сизигии она достигает ~2 м. Во все описываемые эстуарии впадают малые реки, среднегодовой расход воды в которых изменяется от 1 до 7 м³/с, и лишь в одном случае достигает 19 м³/с (табл. 4.2).

4.4. Эстуарии северо-западного побережья Камчатки

В результате выполненного нами анализа карт и космических снимков выявлено, что на 700-километровом участке северо-западного побережья Камчатки (севернее устья р. Морошечная, рис. 4.8) распространены эстуарии, для которых характерны: 1) большая площадь зоны литорали (отливной осушки); 2) вытянутость эстуариев вдоль оси река-море; 3) увеличение ширины эстуариев по направлению к морю; 4) частичное блокирование эстуарных устьев морскими аккумулятивными формами (рис. 4.8). Поскольку об интересующих нас объектах почти ничего не известно, ограничимся их краткой характеристикой, основанной как на общих соображениях, так и на имеющихся сведениях о макроприливных эстуариях побережья Белого моря [Геоэкологическое..., 2007; Михайлов, 1997 (2); Полонский и др., 1992; Эстуарно-дельтовые..., 2007].

По-видимому, главной чертой гидрологического режима рассматриваемых эстуариев является приливо-отливная циркуляция вод, суть которой состоит в том, что в приливную фазу они наполняются морской водой, покрывающей обширные отливные осушки в их внутренних районах, а в отливную фазу вода из эстуариев сбрасывается обратно в море, причем так сильно, что эти объекты становятся похожими на системы мелких пресноводных водотоков, блуждающих по дну песчано-илистых долин. Поскольку в эстуариях северо-западного побережья Камчатки нет каких-либо изолированных частей, в них вряд ли могут формироваться вторичные водные массы. Следовательно, в этих объектах между собой взаимодействуют лишь первичные речная и морская водные массы, что должно приводить к выраженной приливной (полусуточной, суточной и полумесячной) и сезонной периодичности изменения гидрологических характеристик в их внутренних частях.

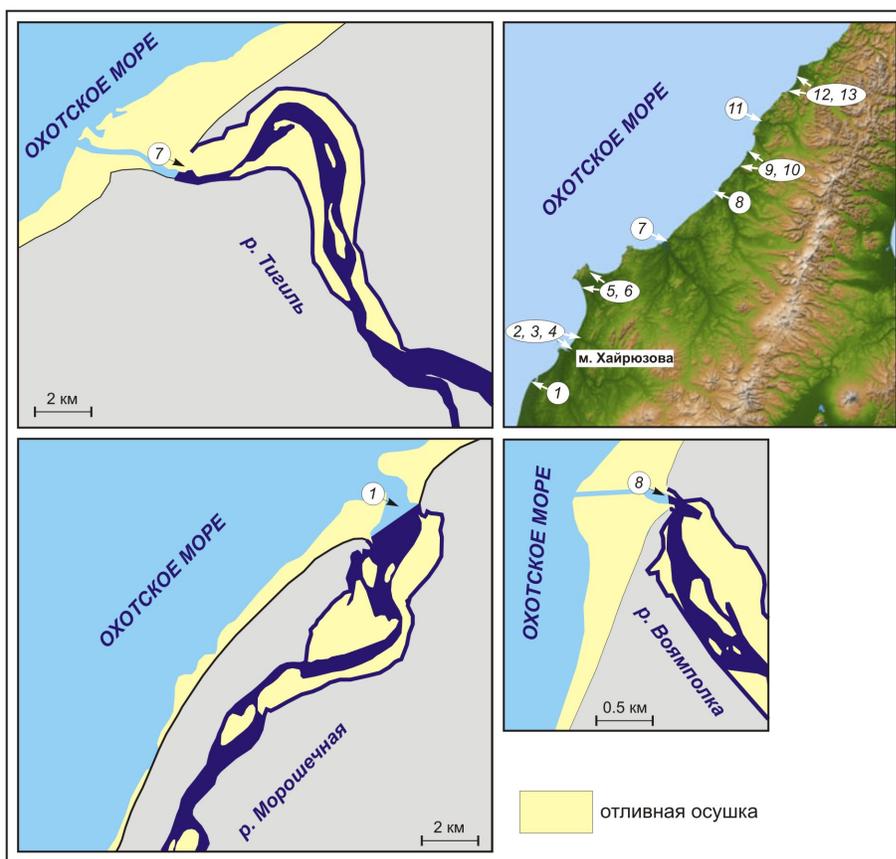


Рис. 4.8. Некоторые эстуарии рек северо-западного побережья Камчатки (по картам ГУНиО МО РФ): 1 — Морошечная; 2 — Белоголовая; 3 — Хайрюзова; 4 — Ковран; 5 — Ухтолок; 6 — Квачина; 7 — Тигиль; 8 — Воямполка; 9 — Ургываям; 10 — Кахтана; 11 — Палана; 12 — Кинкиль; 13 — Лесная

Форма эстуариев северо-западного побережья Камчатки, скорее всего, создается под воздействием двух противоположных процессов: эрозии их дна и берегов приливными и стоково-отливными потоками, с одной стороны, и отложения наносов внутри эстуариев и на их морской границе, с другой. Судя по космическим снимкам, существует закономерность, в соответствии с которой в устьях крупнейших рек рассматриваемого района ($Q_{cp} > 50 \text{ м}^3/\text{с}$) эстуарии имеют более правильную (близкую к воронкообразной) форму, чем в устьях малых рек. Возможно, что это явление связано с прямой зависимостью между промывной способностью стоково-отливных потоков в эстуариях и водоносностью впадающих в них рек. Наряду с этим, не прослеживается какой-либо закономерности в изменении формы эстуариев с юга на север, то есть в направлении увеличения морских приливов. Возможно, что в этом сказывается влияние местных геоморфологических условий — на севере рас-

смаатриваемого района к морскому берегу подходят склоны Срединного хребта, прорезаемые лишь небольшими реками, в устьях которых эстуарии не образуются.

Несмотря на воронкообразный вид многих эстуариев северо-восточного побережья Камчатки, их происхождение нельзя объяснить лишь действием морских приливов. Скорее всего, эти объекты имеют смешанный генезис, поскольку сформировались в затопленных речных долинах, с морского края частично блокированных волноприбойными аккумулятивными формами. Но это предположение требует подтверждения.

О физико-географических условиях северо-западного побережья Камчатки можно сказать следующее. Этот участок находится в районе с очень большими приливами (от 4 м на юге участка до ~10 м на севере) и высокой штормовой активностью моря (как на западном побережье полуострова, см. параграф 4.2). Рельеф участка изменяется от пологоувалистой равнины на юге до гористого на севере. Реки, в устьях которых есть эстуарии, относятся к категории средних и больших, поскольку их среднегодовой расход превышает $10 \text{ м}^3/\text{с}$. Примерно у половины рек региона $Q_{\text{ср}} > 50 \text{ м}^3/\text{с}$, в единичных случаях он достигает $200 \text{ м}^3/\text{с}$.

4. 5. Выводы

1. Гидролого-морфологические процессы в эстуарии р. Камчатки сходны по своим особенностям с аналогичными процессами в эстуарии р. Большой.
2. На 500-км участке побережья Западной Камчатки между устьями рек Кошегочек и Сопочная распространены эстуарии, однотипные с эстуарием р. Большой в гидролого-морфологическом отношении.
3. На восточном побережье Камчатки (между мысами Поворотный и Кроноцкий) распространены эстуарии, однотипные по основным гидролого-морфологическим признакам с эстуарием р. Большой Виллой.
4. На 700-км участке северо-западного побережья Камчатки распространены однотипные эстуарии, гидрологический режим которых находится под определяющим влиянием морских приливов (как в макроприливных эстуариях Белого моря и пролива Ла-Манш).

ГЛАВА 5. ТИПИЗАЦИЯ ЭСТУАРИЕВ КАМЧАТКИ

Цель этой главы состоит в теоретическом обобщении результатов исследования эстуариев Камчатки (см. гл. 2–4) с помощью типизации этих объектов. Автор диссертации хорошо понимает некоторую уязвимость высказываемых в главе положений, поскольку они основаны на ограниченном количестве фактического материала. Но в данном случае, диссертант руководствовался словами известного русского океанографа и адмирала С.О. Макарова: *«Я считаю, что обобщение никогда не преждевременно — оно может быть основано на большом числе наблюдений или на малом, иметь более прочный фундамент или мене прочный фундамент, но оно всегда полезно для обзора и проверки уже сделанного и для того, чтобы правильнее наметить ход дальнейших наблюдений. Откладывая обобщения, мы рискуем потерять напрасно многие годы»* [Макаров, 1950, с. 98].

5.1. Общие принципы и содержание типизации

Общие принципы типизации. Как было показано в гл. 1, существующие в настоящее время классификации эстуариев отражают какое-либо одно из важных свойств этих объектов (или их морфологическое строение, или особенности перемешивания и циркуляции вод, или величину приливных колебаний уровня воды). Не отрицая безусловной полезности этих классификаций для изучения отдельных процессов, следует заметить, что они мало пригодны для системной гидролого-морфологической характеристики эстуариев, и поэтому не вполне отвечают цели и идеям настоящей диссертации. К тому же большинство этих классификаций применимо только в отношении уже изученных объектов. В связи с этим, в этом параграфе предлагается новая комплексная типизация эстуариев.

Назначение предлагаемой типизации состоит в упорядоченном описании и объяснении общих закономерностей функционирования и свойств эстуарных систем. Эта задача не может быть решена лишь на основе сведений об эстуариях Камчатки, приведенных в предыдущих главах — в пределах полуострова встречаются лишь некоторые из существующих типов и подтипов этих объектов, закономерные связи между которыми могут быть установлены только с привлечением более обширного материала. Исходя из это-

го, в новой типизации учтены имеющиеся сведения о других эстуариях России, а также мировой опыт в изучении этих объектов [Иванов, 1974; 1978; Исупова, Михайлов, 2008; Михайлов, 1997 (1); 1997 (2); Исупова, Михайлова, 2003; Михайлов, Исупова, 2008; Михайлова, 2008; Михайлова, Исупова, 2006; 2007].

Новая типизация основана на представлении о том, что эстуарий — это особый физико-географический объект в составе устьевой области реки (УОР), который формируется под совместным действием устьевых гидрологических и морфологических процессов. Сущность устьевых процессов состоит во взаимодействии речной и морской водной массы между собой, с атмосферой, дном и берегами водных объектов, что проявляется в специфическом гидрологическом режиме и рельефе эстуариев (гл. 1). На сходстве и различии этих свойств эстуариев и построена предлагаемая типизация.

Содержание типизации. В соответствии с особенностями морфологического строения эстуариев — их формы, происхождения и положения в пределах УОР — все эстуарии подразделены на три типа: *речные, лагунные и морские*. А с учетом специфики гидрологического режима эстуариев, в каждом типе выделено несколько подтипов (табл. 5.1). Примеры эстуариев различных типов и подтипов приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.1

Типы и подтипы эстуариев

Э С Т У А Р И И			
ТИПЫ	РЕЧНЫЕ (РЭ)	ЛАГУННЫЕ (ЛаЭ)	МОРСКИЕ (МЭ)
ПОДТИПЫ	Лиманные неблокированные (ЛиНБЭ)	Собственно лагунные (СЛаЭ)	Собственно морские (СМЭ)
	Лиманные частично блокированные (ЛиБЭ)	Озерно-лагунные (ОзЛаЭ)	Фьордовые (ФЭ)
	Русловые без устьевого расширения (русловые эстуарии — РуЭ)	Руслово-лагунные (РуЛаЭ)	Риасовые (РиЭ)
	Русловые с устьевым расширением (русловые воронкообразные эстуарии — РуВЭ)		

Таблица 5.2

Гидролого-морфологическая типизация эстуариев (с примерами)

Гидролого-морфологические			Величины приливов (ΔH) в устье эстуария			
типы эстуариев	подтипы эстуариев	типы УОР	неприливные и микроприливные ($\Delta H < 2$ м);	мезооприливные (ΔH от 2 до 4 м);	макроприливные ($\Delta H > 4$ м);	
1	2	3	4	5	6	
Речные (РЭ)	<i>Лиманные неблокированные (ЛиНБЭ)</i>	Э, ДЭ	Обь-Тазовская губа, Енисейский залив, Хатангский залив, Бугский лиман			
	<i>Лиманные частично блокированные (ЛиБЭ)</i>	Э, ДЭ	Днестровский лиман, Днепровско-Бугский лиман, заливы Чесапикский, Делавэр, Мобил (США)			
	<i>Русловые без устьевого расширения (русловые эстуарии — РуЭ)</i>					
	<i>а) нижние части русел рек</i>	Э	Даугава			
	<i>б) нижние части рукавов дельт</i>	ЭД	Сев. Двина, Яна, Дунай, Миссисипи			
	<i>Русловые с устьевым расширением (русловые воронкообразные эстуарии — РуВЭ)</i>					
	<i>а) нижние части русел рек</i>	Э		Амур, Эльба, Везер, Колумбия	Мезень, Гижига (СЗ берег Охотского моря), Пенжина, Пустая и Морошечная (Камчатка), Жиронда, Сена, Темза, Северн	
	<i>б) нижние части рукавов дельт</i>	ЭД		Янцзы, Меконг, Нигер, Амазонка	Ганг и Брахмапутра, Иравади	

Таблица 5.2. (продолжение)

1	2	3	4	5	6
Лагунные (ЛаЭ)	<i>Собственно лагунные (СЛаЭ)</i>	Э, ДЭ	Печорская губа, Куршский залив, залив Памлико (США)	Лагуна Байкал (Сахалин), устья Веллер (Индия), Роник (США)	
	<i>Озерно-лагунные (ОзЛаЭ)</i>	Э, ДЭ		Большой Виллой (Камчатка), Анана (Корякия), Тунайча (Сахалин)	
	<i>Руслово-лагунные (РуЛаЭ)</i>	Э, ДЭ		Большая и Камчатка (Камчатка), Сенегал	
Морские (МЭ)	<i>Собственно морские (СМЭ)</i>	Э, ДЭ		Анадырский лиман, Калифорнийский залив	Пенжинская губа, Удская губа, Бристольский залив
	<i>Фьордовые (ФЭ)</i>	Э, ДЭ		Залив Лаврентия (Чукотка), бухта Вилючинская (Камчатка), губа Долгая (Кольский п-ов), Милфорд (Нов. Зеландия), Согне-Фьорд и Сунна-Фьорд (Норвегия)	
	<i>Риасовые (РиЭ)</i>	Э, ДЭ		Ла-Корунья, Виго (Испания)	

Примечание: Э — эстуарная; ЭД — эстуарно-дельтовая; ДЭ — дельтово-эстуарная УОР

Эстуарии речного типа. Происхождение, форма и гидрологический режим таких эстуариев связаны с деятельностью речных или совместно речных и приливных потоков. Большинство эстуариев речного типа возникло в нижних частях речных долин во время последней (голоценовой) трансгрессии Мирового океана и связанных с ним морей. В отечественной литературе такие эстуарии обычно называют лиманами (на берегах Черного моря) или губами (на берегах Северного Ледовитого океана), а в англоязычной литературе — либо затопленными долинами («drowned river valleys»), либо эстуариями на прибрежных равнинах («coastal plane estuaries»). Речные эстуарии часто формируются в устьях средних и больших рек; имеют вытянутую вдоль оси речной долины или дельтового рукава форму, и поэтому обычно перпендикулярны к береговой линии моря. В предлагаемой типизации в речной тип эстуариев включено четыре подтипа — лиманные эстуарии с неблокированной приморской частью; лиманные эстуарии с частично блокированной аккумулятивными формами (береговыми барами, пересыпями, косами и т.п.) приморской частью; русловые эстуарии без устьевого расширения и русловые эстуарии с устьевым расширением. Лиманные эстуарии выделяются в тех случаях, когда речные и морские воды смешиваются в затопленных речных долинах, а русловые эстуарии выделяются тогда, когда этот процесс происходит в рукавах дельт или в нижних частях русел самих рек.

Специфика гидролого-морфологических процессов в *лиманных эстуариях* (как частично блокированных, так и неблокированных) связана с двумя их особенностями: во-первых, все процессы в них протекают в условиях обширных мелководных водоемов, подверженных сильному ветровому волнению, а во-вторых, в водном режиме таких эстуариев главная роль принадлежит речному стоку. Последнее во многом объясняется тем, что лиманные эстуарии часто формируются в неприливных устьях средних и больших рек. Из морских факторов на гидрологический режим таких эстуариев наибольшее влияние оказывают сгонно-нагонные явления. В лиманных эстуариях соленость воды постепенно увеличивается по направлению от реки к морю; по вертикали воды обычно хорошо или умеренно перемешаны ветром. В таких эстуариях оседает подавляющая часть приносимых речной водой наносов.

Частично заблокированные лиманные эстуарии соединяются с открытым морем через узкие проливы, что, во-первых, затрудняет их водообмен с открытым устьевым взморьем, а во-вторых, ограничивает воздействие морских факторов на гидролого-морфологические процессы внутри этих эстуариев. По своему морфологическому строению и особенностям гидролого-морфологических процессов частично заблокированные лиманные эстуарии близки к лагунным эстуариям, о которых будет сказано ниже. В некотором приближении, лиманные эстуарии можно уподобить сильнопроточным долинным водохранилищам.

Гидролого-морфологические процессы в *русловых эстуариях без устьевого расширения* протекают в русле реки (или в руслах дельтовых водотоков) под преимущественным влиянием речного стока. Большинство из эстуариев этого подтипа микроприливные, влияние моря в них часто проявляется лишь в сгонно-нагонных явлениях. Благодаря нагонам и «эффекту вовлечения», в русловых эстуариях этого подтипа возникает эстуарная циркуляция вод, при которой в поверхностных слоях речная вода движется к морю, а у дна морская вода движется к реке. Стратификация в таких эстуариях устойчивая, смешение между водными массами слабое и происходит только на поверхности раздела между ними. По своей сути, русловые эстуарии без устьевого расширения — это транзитные водотоки, в которых пресные речные воды движутся к морю над слоем («клином») осолоненных вод.

В *русловых эстуариях с устьевым расширением* гидролого-морфологические процессы определяются характеристиками морских приливов, величина которых в большинстве объектов превышает 4 м. Главный морфологический процесс в этих эстуариях — эрозия их дна и берегов стоково-отливными и приливными потоками. Интенсивность эрозии в эстуариях этого подтипа увеличивается от реки к морю, поэтому они очень часто имеют «классический» воронкообразный вид (ширина и площадь сечения этих эстуариев возрастает от их вершины к устью по закону, близкому к экспоненциальному). При этом величина притока морских вод в приливную фазу может в десятки, а иногда и в сотни, раз превышать приток речных вод. В русловых эстуариях с устьевым расширением воды активно смешиваются бла-

годаря сильным течениям, поэтому вертикальная стратификация в этих объектах обычно слабая.

Эстуарии лагунного типа. Происхождение и форма таких эстуариев преимущественно связаны с волновым перемещением наносов на устьевом взморье, благодаря которому устья некоторых рек частично блокированы морскими аккумулятивными образованиями — береговыми барами, пересыпями, косами, различными полигенетическими формами (в английской литературе такие эстуарии называют либо лагунами («lagoons»), либо эстуариями, сформированными береговыми барами («bar-built estuaries»)). На равнинных берегах лагунные эстуарии выглядят как вытянутые вдоль морского побережья водоемы, а иногда и как текущие вдоль моря водотоки, «прижатые» пересыпями к материку; на гористых берегах лагунные эстуарии часто похожи на небольшие озера. Большинство лагунных эстуариев находится в устьях малых и средних рек, и в них обычно ощущается влияние морских приливов. Основное отличие лагунных эстуариев от эстуариев других типов состоит в том, что гидролого-морфологические процессы в них так или иначе связаны с динамикой аккумулятивных форм, отделяющих эти объекты от моря. В предлагаемой типизации выделены три подтипа лагунных эстуариев: руслово-лагунные, озерно-лагунные и собственно лагунные.

В *руслово-лагунных* эстуариях зона непосредственного контакта речных и морских вод локализована в эстуарных водотоках, между собой водные массы смешиваются слабо. Руслово-лагунные эстуарии отличаются высокой интенсивностью обновления вод и преобладающим влиянием речных факторов (речной воды за приливный цикл в них поступает больше, чем морской). Другая особенность руслово-лагунных эстуариев — высокая динамичность аккумулятивных форм, отделяющих эти объекты от моря. Вследствие этого явления гидрологический режим эстуариев и их отдельных частей может сильно изменяться — постепенно по мере удлинения аккумулятивных форм и резко после их прорыва.

В *озерно-лагунных* эстуариях речные и морские воды взаимодействуют в относительно глубоких котловинах, заполненных вторичными солоноватыми или солеными водными массами. Для эстуариев этого подтипа харак-

терно замедленное водообновление и преобладающее влияние морских факторов (морской воды за приливный цикл в них поступает больше, чем речной). В котловинах этих эстуариев обычно есть устойчивая стратификация вод, а гидрологические условия в них подобны меромиктическим озерам. Особенностью озерно-лагунных эстуариев является периодическое (до нескольких раз в год) полное перекрытие их устьев морскими отложениями.

В *собственно лагунных* эстуариях водные массы взаимодействуют в мелких обширных водоемах, хорошо перемешиваемых ветром и относительно свободно сообщающихся с открытым морем через короткие и широкие протоки (в США эти протоки называют приливными проливами («tidal inlets»), а на Черном и Азовском морях — гирлами). Эстуарии этого подтипа заполнены осолоненными водами, характеристики которых зависят от условий водообмена с морем и имеют выраженную сезонную и приливную изменчивость. Некоторые эстуарии этого подтипа по своим свойствам близки к лиманным частично блокированным эстуариям.

Эстуарии морского типа. К эстуариям этого типа относятся морские заливы, в которые впадают реки (эстуариями следует считать лишь привершинные части заливов, в которых под влиянием речного стока формируется зона смешения речной и морской водных масс [Evans, Prego, 2003]). Как правило, морские эстуарии сформировались в результате голоценовой трансгрессии океана. Отличительная особенность морских эстуариев — их тесная связь с морем и относительно слабое влияние на них речного стока, из-за чего значительная часть этих объектов занята слабо трансформированной морской водной массой. Морские эстуарии России изучены недостаточно, поэтому в предлагаемой типизации они описаны в самых общих чертах. Условно они разделяются на три подтипа: собственно морские (обычно в устьях средних и больших рек), фьордовые (затопленные речные долины ледникового происхождения; обычно в устьях малых рек) и риасовые (затопленные речные долины неледникового происхождения на гористых берегах; обычно в устьях малых рек).

В отличие от собственно морских эстуариев — больших полузамкнутых морских заливов, — фьордовые и риасовые эстуарии сильно вытянуты

вдоль своей оси. Кроме этого, на морской границе фьордовых эстуариев обычно есть подводный порог, который отделяет их от основной части залива; у риасовых или собственно морских эстуариев такого порога чаще всего нет. В глубоких морских эстуариях тонкий поверхностный слой опресненных вод находятся над значительно более мощным и малоподвижным слоем соленой морской воды, гидрологические характеристики которых в результате более или менее длительной внутримассовой трансформации могут отличаться от характеристик вод открытого устьевого взморья. Гидрологический режим эстуариев этого типа очень похож на морской — основная толща воды перемешивается благодаря конвекции; ветровое перемешивание захватывает только верхние слои воды.

В заключение необходимо подчеркнуть, что хотя различия между речными, лагунными и морскими эстуариями велики, однако не всегда конкретный объект можно с уверенностью отнести к тому или иному типу. Этому есть несколько причин: Во-первых, сложность исследуемых объектов, в частности, их морфологического строения. Например, очень трудно провести четкую границу между частично блокированными лиманными и собственно лагунными эстуариями (недаром многие геоморфологи выделяют особый тип прибрежных объектов «лагун-лиманы» (см., например, в [Бровко 1990; Каплин, 1957; Шепард, 1976]). То же самое можно сказать относительно собственно лагунных и морских эстуариев. Кроме того, во многих УОР (особенно в тех, которые объединяют несколько рек) можно с одинаковым основанием выделить как один большой эстуарий, так и несколько малых, входящих в его состав (например, Чесапикский залив). В этом случае непросто определить тип «большого» эстуария и провести границы между «малыми» внутри него. Во-вторых, незавершенность самой типизации, в которой основное место уделяется общему по своему содержанию словесному описанию. В данном случае, проблема кроется как в слабой изученности эстуариев отдельных типов, так и в пока еще недостаточном уровне обобщения уже имеющихся сведений (особенно по смежным наукам — гидробиологии, экологии, геоморфологии и геохимии). И все же, несмотря на перечисленные сложности, в

отношении большинства эстуариев предлагаемая типизация вполне применима и может быть эффективным средством для их изучения.

5.2. Распространение эстуариев различных типов на Камчатке

Используя новую типизацию эстуариев, на Камчатке можно выделить два типа и пять подтипов этих объектов (рис. 5.1). На полуострове чаще всего встречаются лагунные эстуарии (~40 шт.), немного реже — речные (~30 шт.). Несмотря на внешнюю «пестроту» картины, распределение эстуариев различных типов на берегах Камчатки подчиняется определенным физико-географическим закономерностям.

Лагунные эстуарии. *Руслово-лагунные* эстуарии сформировались на равнинном западном побережье Камчатки, а также на небольших по протяженности аллювиально-морских равнинах береговых дуг восточного побережья. Все эти эстуарии находятся в пределах низких аккумулятивных, открытых морских берегов, в условиях умеренных приливов (от 2 до 4–5 м), высокой волновой активности моря, и при обязательном наличии современных источников наносов для блокирующих аккумулятивных форм. Наносы могут поступать с морским вдольбереговым потоком (устье р. Камчатки), с поверхности речного бассейна (устье р. Налычева), или от размыва эстуарных берегов (устье р. Большой). *Озерно-лагунные* эстуарии встречаются только на восточном побережье Камчатки. Чаще всего они занимают межгорные депрессии (устье р. Большой Виллой), значительно реже — котловины на аккумулятивных равнинах (устье р. Ивашка). Главными условиями формирования и существования эстуариев этого подтипа являются: первичная расчлененность морского берега, наличие котловин, высокая волновая активность моря, достаточное количество наносов на подводном морском склоне и умеренные приливы.

Речные эстуарии. *Лиманные частично блокированные и русловые эстуарии без устьевого расширения* распространены исключительно на гористом восточном побережье полуострова. Объекты первого подтипа сформировались в пределах небольших аккумулятивных участков суши в вершинах морских бухт. Эстуарии второго подтипа встречаются на тех участках открытых морских берегов, где устья рек зажаты горными массивами.

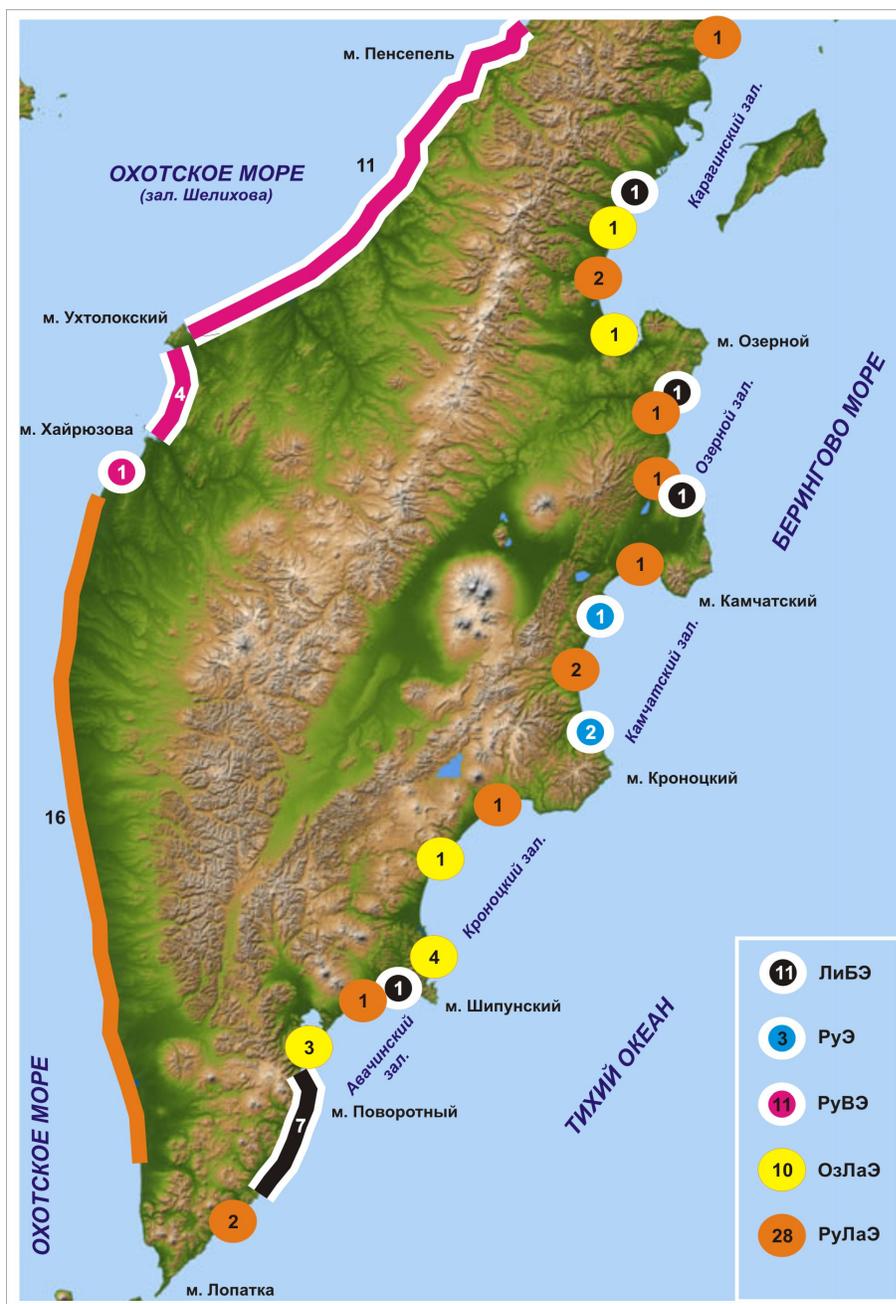


Рис. 5.1. Распространение эстуариев различных типов и подтипов на Камчатке (условные обозначения см. в табл. 5.1; цифрами обозначено количество объектов данного подтипа)

Русловые эстуарии с устьевым расширением преобладают на северо-западном равнинном побережье Камчатки. Они образовались и существуют благодаря значительным приливам (больше 5 м) и невысокой эрозионной устойчивости берегов эстуариев, выработанных в толщах рыхлых отложений.

Как видно на рис. 5.1, в тех местах на восточном побережье Камчатки, в которых к берегу моря выходят слаборасчлененные горные массивы, сло-

женные устойчивыми к внешнему воздействию породами, эстуарии полностью отсутствуют.

В заключение, следует кратко сказать о распространенности только что описанных подтипов эстуариев и их изученности в других регионах России и странах СНГ. Руслово-лагунные эстуарии за пределами Камчатки практически не встречаются, и поэтому сведения о них отсутствуют. Озерно-лагунные эстуарии довольно широко распространены на о. Сахалин, где в гидролого-морфологическом отношении хорошо изучено озеро (эстуарий) Тунайча [Бровко и др., 2002; Озера..., 1964], а в геоморфологическом — лагуны Чайво, Птичьа и Буссе [Бровко, 1990; Бровко и др., 2002]. Русловые эстуарии с устьевым расширением встречаются на побережье Белого моря, где детально исследован эстуарий р. Мезень [Михайлов, 1997 (2); Полонский и др., 1992; Эстуарно-дельтовые..., 2007], а также в северной части Охотского моря, где эти объекты почти не изучены. Лиманные частично блокированные эстуарии хорошо изучены на северо-западном берегу Черного моря (см. о Днестровском и Днепро-Бугском лиманах в [Днепровско-Бугская..., 1989; Михайлов, 1997 (2); Тимченко, 1990]).

5.3. Количественная характеристика гидрологических процессов в лагунных эстуариях Камчатки

Задача этого параграфа заключается в сравнительной характеристике гидрологических особенностей наиболее изученных — лагунных — эстуариев Камчатки с помощью различных показателей. В качестве типовых объектов для этого были избраны эстуарии рек Большая и Большой Вилюй, относящиеся к руслово-лагунному и озерно-лагунному подтипам соответственно.

При сравнительной характеристике типовых объектов использовались показатели, которые, по мнению автора диссертации, характеризуют величину и степень влияния речных и морских факторов устьевых процессов. (При этом подразумевалось, что особенности рельефа эстуариев в полной мере отражены в названиях их типов и подтипов — разница между руслом и озерной котловиной очевидна). Сами показатели представлены в табл. 5.3, пояснения к ним — в табл. 5.4, а результаты расчетов для типовых эстуариев — в табл. 5.5.

Таблица 5.3

Количественные показатели, характеризующие важнейшие гидрологические свойства лагунных эстуариев*

Показатель	Определение показателя	Назначение показателя	Примечания, источники
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	среднемноголетний расход воды в устьевых створах главных рек	характеризует абсолютную величину влияния стока речной воды на эстуарий	–
φ	удельный водосбор $\varphi = F_{\text{в}} / F_{\text{э}}$	косвенно характеризует относительное влияние речного стока на эстуарий в сравнении с ролью внутримассовой трансформации вод	принято в гидрологии озер и водохранилищ [Эдельштейн, 1991]
$K_{\text{ЛН}}(\text{реч})$	коэффициент влияния речного стока на уровенный режим эстуария; $K_{\text{ЛН}}(\text{реч}) = \Delta H_{\text{сез}}(\text{эст}) / \Delta H_{\text{сез}}(\text{реч})$		предложено автором диссертации
$K_{\text{в}}$	коэффициент водообмена речной воды $K_{\text{в}} = Q * T / W_{\text{ср}}$	а) характеризует относительное влияние речного стока на эстуарий в сравнении с ролью внутримассовой трансформации вод; б) характеризует длительность нахождения речной воды в эстуарии (не учитывает смешение вод — модель водоема-вытеснителя)	показатель, общепринятый в гидрологии озер и водохранилищ
$B, \text{ м}$	большая величина морских приливов	характеризует абсолютную величину влияния морских приливов в районе устьевого створа эстуария	Принято в океанологии
$K_{\text{ЛН}}(\text{мор})$	коэффициент влияния приливов на уровенный режим эстуария; $K_{\text{ЛН}}(\text{мор}) = B_{\text{эст}} / B$		предложено автором диссертации
$K_{\text{пв}}$	коэффициент влияния приливов на внешний водообмен эстуария; $K_{\text{пв}} = V_{\text{пр}} / W_{\text{мин}}$		предложено автором диссертации
$K_{\text{с}}$	коэффициент влияния морских факторов на гидрохимические свойства водных масс в эстуарии; $K_{\text{с}} = (S_{\text{эст}} - S_{\text{р}}) / (S_{\text{м}} - S_{\text{р}})$		предложено автором диссертации
$1 - K_{\text{с}}$	коэффициент влияния речных факторов на гидрохимические свойства водных масс в эстуарии		предложено автором диссертации
α	параметр Симмонса $\alpha = Q * T / W_{\text{пр}}$	характеризует соотношение между влиянием речных и морских факторов в эстуарии	[Simmons, 1955; Guidelines..., 1991]
n	параметр стратификации Хансена-Ратри $n = (S_{\text{дно}} - S_{\text{пов}}) / 0.5 * (S_{\text{дно}} + S_{\text{пов}})$	характеризует гидрологическую структуру эстуария и его отдельных частей	[Hansen, Rattray, 1966; Guidelines..., 1991]
	предлагается применять в двух вариантах: 1) для устья эстуарного водотока, используя осредненную за приливную фазу величину параметра; 2) для эстуарного водоема, используя рассчитанную для периода НМВ и осредненную по площади величину параметра. Первое должно характеризовать тип проникновения осолоненных вод в эстуарий («клин», частично или хорошо перемешанный поток), второе должно показывать наличие или отсутствие устойчивой стратификации в эстуарных водоемах		

Таблица 5.4

Пояснение некоторых величин, использованных в табл 5.3

Обозначение величины	Описание величины
F_B	площадь водосбора эстуария, км ²
F_3	площадь водной поверхности эстуария км ²
$\Delta H_{сез}$ (реч)	величина сезонного изменения уровня воды в устьевом створе главной реки, м
$\Delta H_{сез}$ (эст)	величина сезонного изменения уровня воды в эстуарии, осредненная по его площади, м
T	период прилива, ч
$W_{ср}$	средний объем эстуария (объем воды в эстуарии под горизонтом среднего многолетнего уровня воды), тыс. м ³
$B_{эст}$	большая величина прилива в эстуарии, осредненная по его площади, м
$W_{пр}$	приливная призма (объем воды в эстуарии между горизонтами НМВ и ВПВ одного приливного цикла), тыс. м ³
W_{min}	минимальный объем эстуария (объем воды, остающейся в эстуарии в НМВ), тыс. м ³
$S_{эст}$	средняя за приливный цикл соленость воды в эстуарии, ‰
S_M	соленость морской воды на устьевом взморье в ВПВ, ‰
S_p	соленость речной воды, ‰
$V_{пр}$	объем морской воды, поступающей в эстуарий за период прилива, тыс. м ³

Таблица 5.5

Сравнительная характеристика типичных лагунных эстуариев Камчатки

Показатель	Эстуарий р. Большой (руслово-лагунный)	Эстуарий р. Большой Виллой (озерно-лагунный)
Q , м ³ /с	318	4
φ	185	18
$K_{\Delta H}$ (реч)	0.8	~1
K_B	0.4	0.03
B	2.7	1.9
$K_{\Delta H}$ (мор)*	0.2	0.08
$K_{пв}$ *	0.7	0.09
K_s	0.04	0.7
$1-K_s$	0.96	0.3
α	4.5	0.3
n_1 (эстуарный водоток)	>1.0	<0.1
n_2 (эстуарный водоем)	<0.1	>1.0

*— для спада половодья (конец июля)

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что абсолютное и относительное влияние речного стока на характеристики водных масс в руслово-лагунных эстуариях на порядок больше, чем в озерно-лагунных (параметры φ , K_B , K_s , α в табл. 5.5). Вследствие этого в эстуариях первого подтипа больше проточность (K_B и $K_{пв}$, табл. 5.5) и меньше относительное влияние морских приливов (α , табл. 5.5). В руслово-лагунных эстуариях с этим связаны малая

соленость воды (K_s , табл. 5.5), отсутствие устойчивой стратификации (n_2 , табл. 5.5) и клинообразное проникновение морской воды (n_1 , табл. 5.5).

Отдельно следует сказать о влиянии речных и морских факторов на уровенный режим эстуариев, поскольку в нем особенно сильно проявляется обратное влияние рельефа. Воздействие речного стока на руслово-лагунные эстуарии меньше, чем на озерно-лагунные — в первом случае речная вода распределяется по обширной акватории и транзитом выходит в море, а во втором случае аккумулируется в небольших котловинах. С приливными же колебаниями уровня все обстоит наоборот — они свободно проникают в руслово-лагунные и гасятся при входе в озерно-лагунные эстуарии.

Особый интерес представляет вопрос о выявлении пороговых значений показателей (или критериев), которые бы позволяли разделять эстуарии на различные подтипы по формальным признакам. По мнению автора диссертации, в отношении лагунных эстуариев Камчатки удобно использовать параметр φ , приняв в качестве пороговой величину, равную 100 (если $\varphi > 100$, то эстуарий относится к руслово-лагунному подтипу, если меньше — к озерно-лагунному; см. параграфы 4.2 и 4.3). Но в целом, вопрос о выделении критериев не может быть решен на основе имеющихся ограниченных данных и нуждается в глубокой проработке на массовом материале.

5.4. Гидроэкологические аспекты типизации эстуариев Камчатки

Цель этого параграфа состоит в сравнительном анализе условий обитания гидробионтов в эстуариях Камчатки. Основой для этого анализа послужили сведения о гидролого-морфологических процессах в эстуариях полуострова, обобщенные в виде их типизации (см. выше), а научной базой стала концепция лимитирующих факторов, хорошо разработанная в экологии (см. ниже). Материал параграфа призван расширить представления об эстуариях полуострова, а также проиллюстрировать возможности применения для экологических оценок предложенной типизации этих объектов.

5.4.1. Общие представления о взаимоотношениях абиотических факторов среды и водной биоты

Концепция экосистемы. В последние полтора века идея о неразрывности связи между живой и неживой природой приобрела конкретные очертания.

ния и к настоящему времени оформилась в виде концепции экосистемы. В соответствии с ней, экосистема (термин был предложен А Тенсли [Tansley, 1935]) — это основная функциональная единица экологии [Одум, 1975], представляющая собой *совокупность совместно обитающих организмов и условий их существования, находящихся в закономерной связи друг с другом и образующих систему взаимообусловленных биотических и абиотических явлений и процессов* [Биологический..., 1986].

Согласно современным воззрениям, более или менее крупные водные объекты представляют собой набор многих взаимосвязанных между собой экосистем различного уровня, постепенно (т.е. без явных границ) переходящих одна в другую. При этом менее крупные экосистемы (например, заводи) объединяются в более крупные (например, экосистемы мелководий в эстуарных водоемах), а крупнейшие экосистемы (крупные части эстуарных водоемов и водотоков с однородными условиями) формируют биомы (весь эстуарий) [Stanford и др., 2005].

Обобщенная концепция лимитирующих факторов (по [Константинов, 1986; Одум, 1975]). Современная экология основывается на представлении о том, что все живое находится в тесной взаимосвязи с неживым, и составляет с ним структурно-функциональное единство [Константинов, 1986]. В рамках этой идеи влияние абиотической среды на биоту описывается обобщенной концепцией лимитирующих факторов [Одум, 1975], суть которой состоит в том, что организмы или их группы могут существовать в местах своего обитания только в определенных диапазонах и сочетаниях различных факторов среды.

Здесь следует пояснить три термина, которые необходимы для дальнейшего анализа: 1) диапазон переносимости какого-либо фактора среды или их совокупности называется *пределами толерантности*; 2) факторы среды, показатели которых выходят за пределы толерантности являются *лимитирующими*; 2) условия среды, при которых нормальное функционирование организмов и их групп требует минимума энергии, считаются *оптимальными*.

В основе обсуждаемой концепции лежит несколько правил, или законов. Первый из них — «закон минимума» Ю. Либиха (1840 г.), согласно ко-

тому величина продукции биологических систем зависит от количества питательных веществ, находящихся в минимальном количестве. Впоследствии «закон минимума» был распространен на абиотические факторы вообще и дополнен принципом «максимума», гласящим, что не только недостаток, но и переизбыток какого-либо фактора среды оказывает ограничивающее влияние на организмы или их группы («закон толерантности» В. Шелфорда, 1913 г.). Немного позже А. Тинеманн показал (1926 г.), что лимитирующее влияние факторов может проявляться не всегда, а только на определенных стадиях развития организмов (чаще всего на ранних этапах или в период размножения). И, наконец, Э. Митчерлих сформулировал «закон совокупного действия факторов» (1925 г.), согласно которому возможно такое сочетание факторов среды, которое либо усилит негативное воздействие одного из них (или всех сразу), либо снизит его.

Важное экологическое значение имеет не только то, находится ли абсолютная величина какого-либо фактора в пределах толерантности той или иной биологической системы, но и то, с какой интенсивностью и на какую величину она изменяется в этих пределах. Так, если величина фактора изменяется слишком быстро или значительно, то это может вызвать перенапряжение биологической системы с последующими необратимыми функциональными изменениями в ней (такое воздействие называют *стрессовым*). Вообще, организмы или их группы способны выдерживать закритические (т.е. выходящие за пределы своей толерантности) величины факторов среды. Но здесь заметную роль играет длительность неблагоприятного воздействия, а также наличие или отсутствие периодичности: случайное неблагоприятное воздействие часто более пагубно, чем закономерно повторяющееся, которое во многих случаях компенсируется эволюционно сложившимися механизмами приспособления (например, формированием суточной, сезонной и межгодовой цикличностью биологических процессов).

Организмы и их группы — это динамичные системы, которые, с одной стороны, способны адаптироваться к конкретным условиям, а с другой стороны, могут сами воздействовать на внешнюю среду, делая ее более пригодной для жизни (такая компенсация факторов особенно эффективна на уровне

группировок организмов). Во многом благодаря этому действие факторов среды неодинаково для: 1) различных уровней организации биологических систем — организмов, сообществ и др.; 2) представителей различных таксонов (видов); 3) особей одного и того же таксона (вида), входящих в состав разных сообществ.

5.4.2. Краткий обзор лимитирующих факторов в эстуариях

Согласно широко известному экологическому правилу, лимитирующим фактором обычно становится тот, который изменяется в наиболее широких пределах и с наибольшей интенсивностью [Константинов, 1986]. В условиях эстуариев, типологическим признаком которых считается смешение речной и морской воды (гл. 1), таким фактором чаще всего становится соленость воды [Волова, 1972; Одум, 1975; Пирожников, 1984; Кафанов, 1986; Хлебович, 1974; 1986; 1989; 1996; Remane, 1934]. Вторым по значимости лимитирующим фактором в эстуариях можно считать концентрацию растворенного в воде кислорода, дефицит которого в устьях многих рек приводит к массовым заморам (например, в Обской губе и Днепро-Бугском лимане [Днепровско-Бугская..., 1989], в эстуариях рек Большой Вилной [Фишман, Бооль, 1934] и Калыгирь [Спасский, 1940]). Кроме этого, при наличии в эстуариях отливной осушки (ваттов и маршей), лимитирующим фактором становится величина приливных колебаний уровня воды [Петров, 2008]. И, наконец, развитие донной жизни во всех эстуариях лимитируется интенсивностью перестроения верхнего слоя грунтов [Константинов, 1986].

Соленость воды влияет на водную биоту следующим образом. Во-первых, и это самое главное, она определяет внешние условия процессов регуляции водно-солевого обмена водных организмов [Константинов, 1986]. Во-вторых, от солености зависит плотность и вязкость воды, т.е. условия плавания гидробионтов. В-третьих, в эстуариях величина солености служит косвенной характеристикой физико-химических и биологических свойств различных водных масс, т.е. может рассматриваться как интегральный показатель абиотических условий обитания гидробионтов.

В обобщенном виде влияние солености воды на водную биоту отражено в многочисленных классификациях природных вод по величине их соле-

ности, подробные сведения о которых приведены в работах [Волова, 1972; Хлебович, 1974]. Но для решения стоящей перед нами задачи — сравнительной характеристики разнотипных эстуариев Камчатки с позиций обобщенной концепции лимитирующих факторов — больше подходят не эти классификации, а разработанная В.В. Хлебовичем теория «критической солености» [1974], опробованная им в отношении эстуариев России и сопредельных стран [1996; 1989; 1986]. Согласно этому автору, во всех водных объектах, где смешиваются пресные и соленые воды, узкий диапазон солености 5–8‰ (*хорогалинная зона* по О. Кинне [Kinne, 1971]) является естественной границей, при переходе через которую сменяется видовой состав животных, водорослей, бактерий и грибов, резко изменяется скорость осаждения взвесей и флоккуляции коллоидов. По своей сути, хорогалинная зона — это область соприкосновения речной и морской жизни, а также центр развития солоноватоводных организмов [Хлебович, 1996; 1989; 1986].

В соответствии с теорией критической солености, в эстуарных экосистемах выделяются четыре группы организмов [Хлебович, 1996; 1989; 1986]: 1) пресноводные эвригалинные виды (т.е. с широким диапазоном переносимой солености), не способные жить или размножаться при солености более 5–8‰; 2) морские эвригалинные виды, не способные жить или размножаться при солености менее 5–8‰; 3) проходные виды (главным образом рыбы), перестраивающиеся с пресноводного образа жизни на морской при критической солености; 4) собственно эстуарные виды, способные жить и размножаться только в солоноватых водах. Центр развития организмов первой группы (т.е. место, откуда ее представители распространяются в пространстве) находится в пресных водотоках и водоемах суши, центр развития организмов второй группы располагается в море. Центром развития солоноватоводных организмов, по мнению В.В. Хлебовича, служит хорогалинная зона [Хлебович, 1986].

Если с величинами солености воды, лимитирующими распространение речных и морских видов, ситуация более или менее ясна — это 5–8‰, то в отношении солоноватоводных организмов разные исследователи предлагают различные оценки. В связи с этим В.В. Хлебович для нижней соленостной

границы дает диапазон 1–3‰, а для верхней 18–24‰ [Хлебович, 1989]. Сама по себе размытость границ толерантности солоноватоводных видов объясняется различиями в механизмах адаптаций их популяций, связанными с особенностями их местообитаний [Волова, 1972]. Учитывая это, при дальнейшем анализе мы будем придерживаться границ 3 и 18‰, установленных А. Ремане для «собственно солоноватых вод» Балтийского моря, и подтвержденных Г.Н. Воловой для прибрежных водных объектов южного Приморья [Волова, 1972].

Здесь следует сделать небольшое отступление. Принимая во внимание экологическое значение хорогалинной зоны, О. Кинн, а вслед за ним и В.В. Хлебович, предложили именно ее считать «ядром эстуария», а наличие этой зоны рассматривать как непереносимое условие для причисления того или иного водного объекта к эстуариям [Хлебович, 1986; Kinne, 1971]. По нашему мнению, это предложение имеет большое теоретическое значение не только для экологии, но и для гидрологии устьев рек. Так, с точки зрения теории критической солености все водные объекты, в которых есть хорогалинная зона — нижние части русел рек и рукавов дельт, лагуны, воронкообразные эстуарии, вершины морских заливов и т.п. — это однотипные объекты, а именно эстуарии [Хлебович, 1989; 1986]. Таким образом, мы имеем полное подтверждение идеи, лежащей в основе предложенного в гл. 1 определения эстуариев.

Содержание растворенного кислорода (по [Константинов, 1986]). По образному выражению В.И. Вернадского, борьба за существование в гидросфере — это борьба за кислород (цит. по [Константинов, 1986]). Это высказывание очень точно передает главное противоречие водных экосистем — для большинства гидробионтов кислород жизненно необходим (он участвует в реакциях биологического окисления, протекающих во всех живых клетках и обеспечивающих организм энергией [Биологический..., 1986]), но обычно его содержание в воде ограничено.

Минимальная потребность в кислороде у гидробионтов сильно зависит от механизмов их адаптаций на уровне популяций, которые связаны с фоновой (обычной) концентрацией кислорода в местах их обитания. Так, пелаги-

ческие организмы (т.е. обитающие в водной толще) обычно более требовательны к содержанию кислорода, чем бентосные, а живущие в холодных горных ручьях «взыскательней» обитателей теплых озер или морей. Учитывая, что в эстуариях встречаются представители очень разных экологических групп (от анаэробных бактерий до оксифильных рыб), для этих водных объектов крайне трудно определить единый критерий, соответствующий минимально достаточной концентрации кислорода.

Из всех абиотических факторов, которые по закону совокупного действия усугубляют лимитирующее влияние фактора содержания кислорода, главнейшим является температура воды. Дело в том, что при ее повышении в организмах усиливается обмен веществ, и поэтому возрастает их потребность в кислороде. При этом в теплой воде атмосферный кислород растворяется значительно хуже, чем в холодной, т.е. его доступность уменьшается.

Необходимо отметить тот факт, что в солоноватых водах существует обратная зависимость между содержанием кислорода и концентрацией ядовитого для большинства гидробионтов газа — сероводорода. В эстуариях (например, в эстуарии р. Большой Вилюй) он образуется из-за деятельности десульфорирующих бактерий, активность которых усиливается при ограниченном поступлении кислорода из атмосферы или моря. И наоборот, насыщение воды кислородом приводит к окислению и исчезновению сероводорода.

Приливные колебания уровня воды (по [Петров, 2008]). Под воздействием морских приливов в эстуариях формируется литораль — часть берега, покрываемая водой в приливную фазу, и осыхающая в отлив. Население литорали в основном состоит из эврибионтных организмов, способных перенести столь радикальную смену условий обитания. Таким образом, лимитирующее воздействие приливных колебаний уровня воды в эстуариях проявляется в том, что чем больше величина приливов, тем большая часть эстуария недоступна для «истинных» (т.е. не способных к пребыванию на воздухе) гидробионтов.

Интенсивность переформирования верхнего слоя грунтов (по [Константинов, 1986]). С экологической точки зрения грунты — это место обитания бентосных (прикрепленных ко дну) организмов. В том случае, если час-

тицы грунта интенсивно перемещаются друг относительно друга, бентонты лишаются преимуществ своей приуроченности к определенному местообитанию. К тому же движущиеся частицы грунта могут перетирать и засыпать прикрепленные к ним организмы.

5.4.3. Сравнительная гидролого-экологическая характеристика основных подтипов эстуариев Камчатки

Соленость воды. Учитывая вышеизложенное, лимитирующее воздействие солености воды необходимо рассматривать относительно трех постоянно живущих в эстуариях групп организмов — пресноводных, морских и солоноватоводных. На практике это означает, что для эстуариев каждого подтипа требуется выявить характерные особенности, присущие хорогалинной (5–8‰) и солоноватоводной (3–18‰) зонам этих объектов.

В *русловых эстуариях с устьевым расширением* хорогалинная и солоноватоводная зоны жестко связаны с зоной смешения речной и морской водных масс (ВМ). Поэтому для эстуариев этого подтипа характерны малые размеры обеих зон и их приливное перемещение вдоль всего эстуарного русла. При этом, обширная отливная осушка, свойственная этим эстуариям, затопляется только морской водой.

В *руслово-лагунных эстуариях* хорогалинная и солоноватоводная зоны «зажаты» между речной и морской ВМ, поэтому их положение определяется соотношением величин речного стока и морских приливов. В большую часть года эти зоны находятся в приморских частях эстуариев, реверсивно перемещаясь по их продольной оси с приливной (суточной и полумесячной) периодичностью. В период половодья обе зоны могут «выдавливаться» в море. В целом, руслово-лагунные эстуарии заполнены пресными и солоноватыми водами с небольшой (ниже критической) соленостью; морские воды в них появляются лишь эпизодически и только в приморской части. Характерная особенность эстуариев этого подтипа — смещение границ распространения отдельных зон по мере развития конкретного эстуария. В двух наиболее крупных руслово-лагунных эстуариях (эстуарии рек Большая и Камчатка) это явление имеет циклический характер, при котором длительные периоды постепенного смещения хорогалинной и солоноватоводной зон (вслед за удаляю-

щимся устьем эстуария) завершаются резким возвратом системы в состояние, близкое к исходному (после прорыва блокирующей косы и возникновения нового устья эстуария).

Солоноватоводная зона в *озерно-лагунных эстуариях* приурочена к области распространения поверхностной (вторичной) водной массы, поэтому она стабильна в пространстве и очень изменчива во времени: в короткие периоды повышенного речного стока соленость воды в этой зоне ниже критической, а в остальное время — выше. Соответственно, хорогалинная зона в озерно-лагунных эстуариях появляется только весной и осенью. В целом, эстуарии этого подтипа заполнены солеными и солоноватыми водами с большой (выше критической) соленостью. Вместе с тем возможна ситуация, когда озерно-лагунные эстуарии на длительное время (более года) оказываются изолированными от моря, в связи с чем их воды могут опресниться.

Содержание растворенного кислорода. В *русловых эстуариях с устьевым расширением* и *руслово-лагунных эстуариях* рассматриваемый фактор не является лимитирующим, по крайней мере, в теплый период года. И наоборот, именно низкое содержание растворенного кислорода ограничивает жизнь у дна *озерно-лагунных эстуариев*. Летом дефицит кислорода усугубляется высокой температурой воды («парниковым эффектом» под слоем скачка плотности, см. гл. 3), а в период ледостава отягощается присутствием сероводорода. Иногда сочетание этих факторов настолько неблагоприятно, что в эстуариях возникают массовые заморы рыб.

Приливные колебания уровня воды в *русловых эстуариях с устьевым расширением* так велики, что площади отливных осушек в этих объектах могут в разы превосходить площади их русловых частей. В *руслово-лагунных* и *озерно-лагунных* эстуариях лимитирующее влияние приливов намного меньше, чем в макроприливных эстуариях, и не идет ни в какое сравнение с воздействием других факторов.

Интенсивность переформирования верхнего слоя грунтов. В *русловых с устьевым расширением* и *руслово-лагунных эстуариях* лимитирующее влияние этого фактора проявляется в эстуарных руслах, в которых отметки дна за один приливный цикл могут изменяться на десятки сантиметров. Разница

между эстуариями этих подтипов состоит в том, что в первом случае действие этого фактора распространяется почти на весь эстуарий, а во втором — только на его приморскую часть. В *озерно-лагунных эстуариях* лимитирующее влияние этого фактора ничтожно.

Обобщение. По набору и степени воздействия лимитирующих факторов абиотической среды, в отношении каждого из трех подтипов эстуариев Камчатки можно сделать следующие выводы. Гидрологические условия в русловых эстуариях с устьевым расширением благоприятствуют развитию литоральных сообществ и препятствуют жизни в русловой части этих объектов. Условия жизни в руслово-лагунных эстуариях больше всего подходят для пресноводных и солоноватоводных организмов; а в озерно-лагунных эстуариях — для солоноватоводных и морских видов.

В долговременном плане условия существования в макроприливных эстуариях отличаются наибольшей стабильностью — в том смысле, что все гидрологические характеристики в них изменяются периодически, главным образом в приливном масштабе времени. Условия существования биоты в озерно-лагунных эстуариях менее стабильны: при преобладании сезонной изменчивости в этих объектах велика вероятность случайных событий, связанных с прекращением водообмена эстуариев с морем. И наоборот, условия в отдельных частях руслово-лагунных эстуариев непрерывно изменяются, иногда катастрофически.

Наибольшим разнообразием гидрологических условий отличаются руслово-лагунные эстуарии, в состав которых могут входить как водотоки, так и обширные водоемы с различной соленостью воды. Напряженнее всего условия жизни в озерно-лагунных и макроприливных эстуариях — в первом случае из-за постоянного дефицита кислорода, а во втором — из-за стрессового влияния приливов.

Из приведенного анализа может сложиться впечатление, что условия жизни в эстуариях хуже, чем в реках или море. Для многих видов это действительно так, хотя бы из-за большой изменчивости солености воды. Но зато те виды, которые сумели приспособиться к жизни в эстуариях, получили неоспоримые преимущества: низкий уровень конкуренции за различные ресур-

сы, постоянный приток питательных веществ из рек и моря, разнообразие условий среды, высокую освещенность, относительно спокойные гидродинамические условия (по сравнению с прибойной зоной моря), а также хороший водообмен, обеспечивающий приток к конкретным местообитаниям биогенов и удаление продуктов метаболизма [Кафанов, 1986; Одум, 1975]. Все вместе взятое обеспечивает высокую биопродуктивность эстуарных экосистем при их относительно низком видовом разнообразии.

5.5. Выводы

1. Все эстуарии Камчатки могут быть разделены на пять подтипов (по предложенной автором диссертации типизации), из которых наибольшую значимость для полуострова имеют руслово-лагунные, озерно-лагунные и русловые эстуарии с устьевым расширением. Первый подтип характерен для западного побережья Камчатки, второй — восточного, а третий — северо-западного. Такая дифференциация эстуариев связана с физико-географическими особенностями (водный сток рек, приливы и волнение в море, рельеф) различных частей камчатского побережья.
2. Принципиальные отличия между руслово-лагунными и озерно-лагунными эстуариями проявляются в наличии существенных и закономерных отличий между величинами формальных параметров, характеризующих абсолютное и относительное влияние на эстуарии речных и морских факторов, роль трансформации водных масс в эстуарных водоемах, а также гидрологическую структуру эстуариев и их отдельных частей.
3. Благодаря гидролого-морфологическим особенностям эстуариев различных подтипов, в каждом из них преобладает тот или иной лимитирующий водную биоту фактор. В руслово-лагунных эстуариях таким фактором является соленость воды, в озерно-лагунных эстуариях — содержание растворенного кислорода, а в русловых эстуариях с устьевым расширением — приливные колебания уровня воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе получены следующие теоретические, методические и практические результаты:

1. Предложены уточнения в существующие определения устьевой области реки и эстуария, позволяющие интегрировать понятие «эстуарий» в отечественное учение об устьях рек и устьевых процессах. В частности, автор предложил перейти от двучленной схемы районирования устьевой области реки (УОР) к многочленной, в соответствии с которой в УОР следует выделять не только ее речную и морскую части, но и дельту, эстуарий или их комплексы.

2. На примере устьев рек Камчатки впервые изучены гидролого-морфологические процессы в приливных лагунных эстуариях. Выявлено, что особенности динамического взаимодействия и смешения водных масс в этих эстуариях определяются соотношением величин притока речных вод и морских приливов, а также строением и динамикой их рельефа. Вместе с тем показано, что процессы формирования и переформирования дна и берегов эстуариев тесно связаны со спецификой гидрологического режима этих объектов.

3. На примере эстуария р. Большой изучены основные закономерности гидролого-морфологических процессов в эстуарии крупной реки с преобладающим влиянием речных факторов.

В последние три столетия главным морфологическим процессом в эстуарии р. Большой является удлинение Октябрьской косы, отделяющей этот объект от моря. Коса удлиняется благодаря морскому волнению, приливам и стоково-отливным течениям, совместное действие которых приводит к разрушению коренного берега в приморской части эстуарного водотока и последующему выносу и отложению песка и гравия у подводной оконечности косы. В последнее сто лет коса удлиняется в среднем на 150 м/год, и помимо изменения морфологического строения эстуария (прежде всего, увеличения его размеров), это приводит к соответствующему смещению пределов действия морских факторов (приливов, волнения и нагонов) внутри эстуария. Так,

в первой половине XVIII в. Микояновский лиман (водоем в вершине эстуария) в прилив заполнялся морской водой, а теперь вода в нем всегда пресная.

Удлинение Октябрьской косы рано или поздно закончится ее прорывом со стороны эстуария. Пока трудно сказать, через сколько лет это произойдет, но ясно, что наиболее вероятное место прорыва — это участок косы севернее пос. Октябрьский, в пределах которого при ежегодном ремонте автодороги нарушается морской пляж. После прорыва Октябрьской косы возможно повторение текущего цикла развития эстуария — удлинение «новой» косы с одновременным размывом «старой».

Неконтактное взаимодействие водных масс в эстуарии р. Большой проявляется в сезонных, полумесячных и суточных колебаниях уровня воды, а также в соответствующей изменчивости скорости течения воды. В большей части эстуария сезонные колебания уровня не превышают 1 м и в основном связаны с внутригодовой неравномерностью речного стока. Но, помимо стоковой составляющей, в этих колебаниях есть доля приливной, которая в большей части эстуария достигает 40% суммарной величины.

Отметки дна в приморской части эстуария р. Большой ниже уровня низких малых вод в Охотском море, поэтому приливная волна относительно свободно проникает в эстуарий — при среднем речном стоке коэффициент затухания приливов в районе устья эстуария ($A_{уст}$) равен 0.8. Внутри эстуария приливная волна почти полностью гасится из-за противодействия стоково-отливного потока и рассеяния на обширных пространствах эстуарных водоемов — при среднем речном стоке средневзвешенный по площади эстуария коэффициент затухания приливов ($A_{ср}$) составляет 0.2.

Поскольку в эстуарии р. Большой нет замкнутых котловин и велика проточность (в теплое время года вода в эстуарии обновляется не более чем за 1–2 сут), в нем не формируются вторичных водных масс и между собой взаимодействуют только первичные — речная и морская — водные массы (ВМ). При этом речные факторы оказывают на эстуарий большее влияние, чем морские (параметр Симмонса $\alpha > 1$), поэтому основная часть эстуария заполнена пресной водой. Осолоненные воды проникают в эстуарий только в

приливную фазу и только в виде «клина» (параметр стратификации n в зоне смешения >1.0).

Главная особенность контактного взаимодействия речной и морской водных масс в эстуарии р. Большой — это существование в нем подвижной зоны смешения (ЗС), положение которой зависит от сочетания речных и морских факторов, и поэтому изменяется с сезонной, полумесячной и суточной периодичностью. На пике особо высокого половодья ЗС может вытесняться в море (расчет по плотностному числу Фруда (Fr_ρ), и данные наблюдений показали, что морская вода перестает проникать в эстуарий при $Q \sim 1500 \text{ м}^3/\text{с}$). В летнюю межень ЗС в отлив находится за пределами эстуария (в море), а в прилив перемещается в его приморскую часть. Наибольшая дальность проникновения ЗС в эстуарий р. Большой составляет 11–12 км (длина эстуария ~ 34 км) и достигается при сочетании низкого речного стока и сизигийных приливов.

4. На примере эстуария р. Большой Виллой изучены основные закономерности гидролого-морфологических процессов в эстуарии малой реки с преобладающим влиянием морских факторов.

Пересыпь, отделяющая эстуарий р. Большой Виллой от Авачинского зал., сформировалась и развивается при минимальном участии устьевых процессов и в настоящее время стабильна. Из всех морфологических процессов, связанных с воздействием моря, наибольшее влияние на эстуарий оказывает почти ежегодное штормовое блокирование его устья морскими наносами — оно приводит к временной изоляции эстуария от моря, и таким образом способствует глубокой трансформации находящихся в нем водных масс. Ведущий морфологический процесс внутри эстуария — это постепенное заполнение его ложа автохтонным органическим веществом, а также наносами речного и морского происхождения.

Неконтактное взаимодействие водных масс в эстуарии р. Большой Виллой проявляется в сезонных (в основном стоковых), полумесячных и суточных (приливных) колебаниях уровня воды. Для этого эстуария характерно интенсивное затухание приливной волны в районе его устья ($A_{уст}=0.1$), что

связано с морфологическим строением эстуарного водотока, в котором отметки дна превышают средний приливный уровень Авачинского зал.

Важнейшая особенность контактного взаимодействия водных масс в эстуарии р. Большой Виллой заключается в том, что благодаря наличию замкнутой котловины и слабой проточности эстуария (в его большей части вода обновляется примерно за 3 мес) внутри него сформировались и устойчиво существуют две собственные водные массы (поверхностная и придонная), вторичные по отношению к речной и морской ВМ. А поскольку морское влияние на внешний водообмен эстуария преобладает над речным (параметр Симмонса $\alpha < 1$), вторичные водные массы осолонены.

Придонная ВМ отличается высокой соленостью (28–32‰) и низкой температурой (2°C зимой и до 10°C летом) воды. Она формируется в зимний период, когда морская вода может достигать глубоководной части эстуария (в другие сезоны этот процесс сильно ограничен, поскольку морская вода перемешивается с речной еще в приморской части эстуария). Поверхностная ВМ отличается малой соленостью (<2‰ весной и <10‰ осенью). Летом она сильно нагревается (до 15–18°C), а зимой почти полностью вымораживается и превращается в лед. Формируется поверхностная ВМ в период весеннего половодья. Между двумя вторичными водными массами находится устойчивый слой скачка — в котловине эстуария параметр стратификации $n > 1.0$. Из-за длительности периода обновления воды в эстуарии, характеристики вторичных водных масс почти не зависят от фазы прилива и слабо изменяются при кратковременных колебаниях речного стока. Их изменчивость имеет сезонный характер и определяется внутригодовой неравномерностью речного стока и сменой климатических сезонов.

5. На основе опубликованных и архивных данных (в том числе космических снимков и карт) получено представление о гидролого-морфологических процессах в неизученных эстуариях Камчатки. Исследование показало следующее.

Самый большой эстуарий полуострова — эстуарий р. Камчатки — по особенностям протекания гидролого-морфологических процессов близок к эстуарию р. Большой. Тот же вывод относится и к почти двум десяткам объ-

ектов, находящихся на 500-км участке побережья Западной Камчатки между устьями рек Кошегочек и Сопочная.

На восточном побережье Камчатки (преимущественно между мысами Поворотный и Кроноцкий) распространены объекты, похожие в гидролого-морфологическом отношении на эстуарий р. Большой Виллой.

На 700-км участке северо-западного побережья Камчатки (севернее устья р. Хайрюзова) распространены однотипные эстуарии, гидролого-морфологические процессы в которых определяются большой величиной морских приливов (>4–5 м). По главным чертам гидролого-морфологических процессов, эти объекты напоминают воронкообразные эстуарии, хорошо изученные на берегах Северного и Белого морей, пролива Ла-Манш.

6. На основе сведений о многих эстуариях России и мира разработана комплексная гидролого-морфологическая типизация эстуариев, в которой по особенностям генезиса, формы и положения эстуариев в пределах устьевых областей рек все эти объекты разделены на три типа — речные, лагунные и морские. По специфике гидрологического режима эстуариев в каждом типе выделено несколько подтипов (всего десять).

На Камчатке наиболее распространены три подтипа эстуариев: руслово-лагунные (эстуарии рек Большая, Камчатка и др.), озерно-лагунные (эстуарии рек Большой Виллой, Большой Калыгирь и др.) и русловые эстуарии с устьевым расширением (эстуарии рек Морошечная, Тигиль и др.). Первый подтип эстуариев характерен для западного побережья Камчатки, второй — для восточного, а третий — для северо-западного. Подобная дифференциация эстуариев полуострова связана с физико-географическими особенностями (водоносностью рек, величинами приливов и силы волнения в море, характером рельефа) различных частей камчатского побережья.

На примере эстуариев рек Большая и Большой Виллой показано, что принципиальные отличия между руслово-лагунными и озерно-лагунными эстуариями проявляются в существенном и закономерном различии величин формальных параметров, характеризующих: а) абсолютное и относительное влияние внешних по отношению к эстуариям речных и морских факторов (например, приливный параметр Симмонса); б) роль внутренних факторов,

способствующих трансформации водных масс в эстуарных водоемах (например, длительность водообновления); в) гидрологическую структуру эстуариев и их отдельных частей (например, параметр стратификации). Также установлено, что при отсутствии наблюдений в эстуариях, об их принадлежности к руслово-лагунному или озерно-лагунному подтипам можно косвенно судить по величине их удельного водосбора φ (если $\varphi > 100$, то эстуарий руслово-лагунный, если $\varphi < 100$ — озерно-лагунный).

Исследование показало, что благодаря гидролого-морфологическим особенностям эстуариев различных подтипов, в каждом из них преобладает тот или иной лимитирующий водную биоту фактор. В руслово-лагунных эстуариях Камчатки таким фактором является сильная изменчивость солености воды, в озерно-лагунных эстуариях — низкое содержание растворенного кислорода, а в русловых эстуариях с устьевым расширением — значительные приливные колебания уровня воды, в результате которых часть эстуария периодически сохнет. В целом, гидролого-экологические условия в руслово-лагунных эстуариях более благоприятны для пресноводных и солоноватоводных организмов, в озерно-лагунных эстуариях — для солоноватоводных и морских видов, а в русловых эстуариях с устьевым расширением — для морских литоральных сообществ.

На Камчатке наибольшим разнообразием гидролого-экологических условий отличаются руслово-лагунные эстуарии, в состав которых могут входить как водотоки, так и обширные водоемы с различной соленостью воды. Напряженнее всего условия жизни в озерно-лагунных и макроприливных эстуариях — в первом случае из-за постоянного дефицита кислорода и периодического появления сероводорода, а во втором — из-за стрессового влияния приливов.

В научном отношении результаты диссертационной работы могут быть полезны гидрологам, экологам и геоморфологам, занимающимся проблемами эстуариев, устьевых областей рек и лагунных морских берегов. Это обусловлено тем, что, во-первых, в диссертационной работе исследованы не просто ранее неизученные объекты, а примеры почти неизвестного в отечественной науке эстуариев лагунного типа, а во-вторых, в диссертации сделан ряд вы-

водов общего характера, систематизирующих и обобщающих современные представления об эстуариях и устьевых областях рек.

Свое практическое применение результаты работы могут найти (а частично уже нашли) в таких видах хозяйственной деятельности, как защита пересыпей и находящихся на них сооружений от разрушительного воздействия морских волн; обеспечение безопасности судоходства в эстуариях; размещение и планирование работы лососевых рыбозаводных заводов; регулирование гидролого-морфологических процессов в эстуариях для более эффективного использования их природных ресурсов.

И наконец, несколько слов о перспективах исследований. В дальнейшем эстуарии Камчатки предполагается изучать по двум основным направлениям: во-первых, углублять знания об уже изученных объектах, а, во-вторых, исследовать эстуарии, относящиеся к пока слабо изученным в пределах полуострова речному и морскому типам. При этом планируется использовать широкий междисциплинарный подход, который позволит охватить обширный круг проблем гидрологии, геоморфологии, экологии и гидробиологии эстуариев Камчатки. Конечная цель работ видится в усовершенствовании методов расчета и прогноза гидролого-морфологических процессов в приливных эстуариях, разработке научных основ комплексного использования и охраны приливных эстуариев различных типов, а также в некотором усовершенствовании теоретической базы гидрологии устьев рек, касающейся приливных эстуариев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алекин О.А. 1970. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат. 444 с.
2. Алексеевский Н.И. 2004. Экологическая гидрология и гидроэкология в системе наук // Проблемы гидрологии и гидроэкологии. М.: Географический ф-т МГУ. Вып. 2. С. 6–37.
3. Арчиков Е.И., Бровко П.Ф., Рыбаков В.Ф., Шуйский Ю.Д. 1982. Абразионный фактор поступления осадочного материала в Охотское море // Современное осадконакопление и четвертичный морфолитогенез Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. С. 165–177.
4. Атлас береговой зоны Сахалина. 2002. Владивосток. 51 с.
5. Атлас северной части Восточного океана. 1826. СПб: Чертежная Государственного Адмиралтейского департамента.
6. Атлас — краткая характеристика гидрологического режима вод, омывающих Камчатку. 1970. Петропавловск-Камчатский: Петропавловская гидрометеорологическая обсерватория. 60 с.
7. Берега Тихого океана / Под ред. В.П.Зенковича. 1967. М.: Наука. 375 с.
8. Биологический энциклопедический словарь / Под ред. М.С. Гилярова. 1986. М.: Советская энциклопедия. 893 с.
9. Биота и сообщества дальневосточных морей: лагуны и заливы Камчатки и Сахалина. 1988. Владивосток: ДВО АН СССР. 200 с.
10. Бобыкина В.П. 1981. Основные факторы и процессы формирования океанского побережья Восточной Камчатки // Береговая зона моря. М.: Наука. С. 117–125.
11. Бобыкина В.П. 2000. Современный абразионный процесс на океанских берегах Камчатки // Человечество и береговая зона Мирового океана в XXI веке. М.: ГЕОС. С. 373–377.
12. Богатырев К.П. 1940. О колебаниях береговой линии западного берега Камчатки // Проблемы физической географии. М.-Л.: Изд-во АН СССР. Вып. IX. С. 73–82.
13. Богословский Б.Б. 1960. Озероведение. М.: Изд-во Моск. ун-та. 335 с.
14. Большая Советская энциклопедия. 1978. М.: Изд-во «Советская энциклопедия». 631 с.

15. Борисов В.И. 2001. К вопросу об изменении устья реки Камчатки и солености Нерпичьего озера // Вопросы истории рыбной промышленности Камчатки. Электронный историко-краеведческий сборник. Вып. 4. ([http:// www.npacific.ru/np/library/publikacii/questhist/istor-4.htm](http://www.npacific.ru/np/library/publikacii/questhist/istor-4.htm))
16. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Евтеева И.С., Лупкина Е.Г. 1968. Стратиграфия четвертичных отложений и оледенения Камчатки. М.: Наука. 226 с.
17. Бровка П.Ф. 1990. Развитие прибрежных лагун. Владивосток: Изд-во ДВГУ. 148 с.
18. Бровка П.Ф., Микишин Ю.А., Рыбаков В.Ф., Володарский А.Н., Терентьев В.С., Токарчук Т.Н. 2002. Лагуны Сахалина. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та. 80 с.
19. Бровка П.Ф., Поздеева Л.А., Токарчук Т.Н., Черепанова М.В. 1988. Осадконакопление в лагуне Семячик (Восточная Камчатка) // Биота и сообщества дальневосточных морей: лагуны и заливы Сахалина и Камчатки. Владивосток: ДВО АН СССР. С. 170–188.
20. Бронштейн Б.А. 1936. Камчатская комплексная экспедиция // На Камчатке. М.: Изд-во АН СССР. С. 17–31.
21. Бугаев В. Ф., Кириченко В. Е. 2008. Нагульно-нерестовые озера азиатской нерки. Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатпресс. 280 с.
22. Важнов А.Н. 1976. Гидрология рек. М.: МГУ. 339 с.
23. Введенская Т.Л., Мешкова М.Г. 2004. Проточность озера Большой Виллой // Материалы V международной научной конференции. Петропавловск-Камчатский: Изд. «Камчатпресс». С. 28–30.
24. Владимиров А.Т. 1958. К морфологии и динамике берега Западной Камчатки // Известия АН СССР. Сер. геогр. № 2. С. 81–87.
25. Власов Г.М., Чемяков Ю.Ф. 1950. Основные этапы формирования рельефа полуострова Камчатки в четвертичный период и его геоморфологическое районирование // Известия ВГО. Том 82. Вып. 3. С. 262–272.
26. Волова Г.Н. 1972. Классификация водоемов морского побережья Южного Приморья по составу фауны // Фауна и рыбохозяйственное значение

- прибрежных вод северо-западной части Тихого океана. Ученые записки ДВГУ. Владивосток. Том 60. С. 117–133.
27. Воронов К.И. 2000. Доклад правлению ОКАРО о работе общества на Западной Камчатке в 1924 году // Вопросы истории рыбной промышленности Камчатки. Электронный историко-краеведческий сборник. Вып. 3. (<http://www.npacific.ru/np/library/publikacii/questhist/istor-3.htm>)
 28. Восточный берег Камчатки (по описям Ильина и Скрынова, 1830 и 1835 г.) // Записки гидрографического департамента Морского министерства. 1852. Часть X. С. 124–135.
 29. Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования. / Под ред. Н.И. Алексеевского. 2007. М.: ГЕОС. 584 с.
 30. Герман В.Х., Ильин Ю.П., Кириллова Н.Г., Филиппов Ю.Г. 1979. Исследование и расчет штормовых нагонов на шельфе юго-западного побережья Камчатки // Тр. ГОИН. Вып. 144. С. 22–32.
 31. Герман В.Х., Левиков С.П. 1979. О механизме формирования непериодических колебаний уровня моря на шельфе экспоненциальной формы // Тр. ГОИН. Вып. 144. С. 6–20.
 32. Гершанович Д.Е., Забелина Э.К. 1957. Геоморфологические и литологические исследования аккумулятивного берега Охотского моря в районе Охотска // Тр. ГОИН. Вып. 34. С. 93–141.
 33. Гидрология морских устьев рек Дальнего Востока. 1989. Тр. ДВНИГМИ. Вып. 38 (с грифом «ДСП»). Л.: Гидрометеиздат. 182 с.
 34. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том IX. Охотское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. 1998. СПб.: Гидрометеиздат. 342 с.
 35. Гидросфера. Классификация водных объектов. ГОСТ 17.1.1.02-77. 1977. М.: Госстандарт. 38 с.
 36. Горин С.Л. 2007. Гидролого-экологические условия эстуариев рек Камчатки в летний период. Вестник Моск ун-та. Серия 5. География. № 5. с. 38–44.

37. Горин С.Л. 2008 (1). Гидролого-экологические условия в озере Большой Виллюй (эстуарий реки Большой Виллюй, восточная Камчатка) // Современное состояние водных биоресурсов. Материалы научной конференции, посвященной 70-летию С.М. Коновалова. Владивосток: ТИНРО-Центр. С. 499–501.
38. Горин С.Л. 2008 (2). История отображения эстуария реки Большой (Западная Камчатка) на картах // Материалы IX международной научной конференции, посвященной 100-летию с начала Камчатской экспедиции Императорского Русского географического общества, снаряженной на средства Ф. П. Рябушинского. Петропавловск-Камчатский: Изд. «Камчатпресс». С. 60–64.
39. Горин С.Л., Тембрел И.И. 2006. История развития эстуария р. Большой (Западная Камчатка) // Двадцать первое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (г. Чебоксары, 10–13 октября 2006 г.): Доклады и краткие сообщения. Чебоксары. С. 79–80.
40. Горшков А.П. 1967. Термопроявления на озере Большой Виллюй // Вопросы географии Камчатки. Вып. 5. С. 140–143.
41. Горячев А.В. 1960. Камчатские землетрясения 4 мая и 18 июля 1959 г. и геологические условия их возникновения // Бюл. Совета по сейсмологии АН СССР. № 11. С. 32–44.
42. Давыдов Б.В. 1923. Лоция побережий РСФСР Охотского моря и восточного берега Камчатки с островом Карагинским включительно. Владивосток. 1498 с.
43. Де-Ливрон С. 1907. Лоция северо-западной части Восточного океана. Часть III. 30 с. Дополнения 1911, 1912, 1914 и 1915 гг.
44. Динамика и морфология берега Западной Камчатки (окончательный отчет по теме). 1971. Архив кафедры геоморфологии Географического ф-та МГУ. 132 с.
45. Дитмар К. Поездки и пребывание в Камчатке в 1851–1855 гг. 1901. СПб. 754 с.

46. Днепровско-Бугская эстуарная экосистема. 1989. Киев: Наукова думка. 237 с.
47. Егоров А.Н. 1991. Парниковый эффект в соленых озерах // Водные ресурсы. № 6. С. 31–37.
48. Егоров А.Н., Зилинткевич С.С. 1999. Термодинамическая структура соленого озера с парниковым эффектом // Метеорология и гидрология. № 4. С. 98–105.
49. Забелина Э.К. 1961. Миграция прорвы р. Охоты и влияние ее на динамику берега // Новые исследования берегов морей и водохранилищ. Тр. Океанографической комиссии. Т. 12. С. 67–72.
50. Зайков Б.Д. 1955. Очерки по озероведению. Л.: Гидрометеиздат. 271 с.
51. Залогин Б.С., Косарев А.Н. 1999. Моря. М.: Мысль. 400 с.
52. Западный берег Камчатки (по описям Ушакова и Елистратова, 1742 и 1787 г.) // Записки гидрографического департамента Морского министерства. 1852. Часть X. С. 136–155.
53. Зенкович В.П. 1953. Некоторые наблюдения по морфологии устьевых частей малых рек низменного побережья Камчатки // Известия ВГО. Том 85. Вып. 5. С. 598–602.
54. Зенкович В.П. 1956. Некоторые закономерности развития берега Западной Камчатки // Тр. Океаногр. комиссии АН СССР. Том 1.
55. Зенкович В.П. 1962. Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во АН СССР. 710 с.
56. Зенкович В.П., Леонтьев О.К., Никифоров Л.Г., Лукьянова С.А. 1971. К геоморфологии Западного побережья Камчатки // Геоморфология и литология береговой зоны морей и других крупных водоемов. М.: Наука. С. 3–8.
57. Иванов В.В. 1974. Основные принципы гидролого-морфологического районирования устьевых областей рек Арктики // Факторы и принципы физико-географического районирования полярных областей Земли. Л. С. 108–120.

58. Иванов В.В. 1978. Основные итоги и очередные задачи исследований низовьев и устьевых областей рек Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. Вып. 54. С. 30–41.
59. Исупова М.В., Михайлов В.Н. 2008. Гидрологические и морфологические процессы в устьевой области р. Сенегал // Водные ресурсы. Том 35. №1. С. 32–44.
60. Исупова М.В., Михайлова М.В. 2003. Основные особенности гидрологического режима устьевой области Луары // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. №4. С. 66–70.
61. Кабатченко И.М., Комчатов В.Ф., Ковбасюк В.В., Кравчук Л.П. 2008. Прогноз времени переливаний песчаных кос морскими водами на западном побережье Камчатки // Тр. ГОИН. Вып. 211. С. 178–179.
62. Камчатка XVII–XX вв. Историко-географический атлас / Под общ. ред. Н.Д. Жданова и Б.П. Полевого. 1997. М.: Федеральная служба геодезии и картографии России. 113 с.
63. Камчатский сборник. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1940.
64. Каплин П.А. 1957. О некоторых особенностях лагун северо-восточного побережья СССР // Тр. Океанографической комиссии. Т. 2. С. 105–110.
65. Каплин П.А. 1962. Фиордовые побережья Советского Союза. М.: Изд-во АН СССР, 188 с.
66. Каплин П.А., Леонтьев О.К., Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г. 1991. Берега. М.: Мысль. 479 с.
67. Карта О–58–13 (Усть-Камчатск). Масштаб 1:100 000. 1952.
68. Кафанов А.И. 1986. Лагуны дальневосточных морей // Природа. № 5. С. 34–42.
69. Кафанов А.И., Лабай В.С., Печенева Н.В. 2003. Биота и сообщества макробентоса лагун северо-восточного Сахалина. Южно-Сахалинск: Сахалинский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии. 176 с.
70. Келль Н.Г. 1928. Карта вулканов Камчатки с объяснительным текстом // Тр. экспедиции Ф.П. Рябушинского. Л.: Изд-во РГО. 89 с.
71. Книпович Н.М. 1938. Гидрология морей и солоноватых вод. М.–Л. 513 с.

72. Комаров В.Л. 1912. Путешествие по Камчатке в 1908–1909 гг. М. 457 с.
73. Кондратюк В.И. 1974. Климат Камчатки. М.: Гидрометеиздат. 200 с.
74. Константинов А.С. 1986. Общая гидробиология. М.: Высш. школа. 472 с.
75. Коротаев В.Н. 1991. Геоморфология речных дельт. М.: МГУ. 224 с.
76. Коротаев В.Н. 2006. Эстуарно-дельтовые системы: морфология, эволюция и современная динамика // Современные глобальные изменения природной среды. М.: Научный мир. Том. 2 С. 122–137.
77. Кравцов В.Д. 1979. Некоторые особенности развития приливных устьев рек северно-западного побережья Охотского моря // Тр. ГОИН. Вып. 143. С. 102–131.
78. Кравцов В.Д. 1980. Некоторые особенности динамики приливных устьев рек северно-западного побережья Охотского моря // Тр. ГОИН. Вып. 159. С. 71–84.
79. Крашенинников С.П. 1755. Описание земли Камчатки. Том 1. 438 с.
80. Крынин П. 1913. Отчет по рекогносцировочным исследованиям в 1909 году рек Камчатского полуострова (Камчатки, Большой и Авачи) // Материалы для описания русских рек и истории улучшения их судоходных условий. Вып. XLV. 274 с.
81. Куницын Л.Ф. 1963. Опыт природного районирования Камчатки // Природные условия и районирование Камчатской области. М.: Изд-во АН СССР. С. 7–26.
82. Куренков И.И. 1965. Нерпичье озеро (гидрологический очерк). Рукопись в архиве КамчатНИРО. Петропавловск-Камчатский.
83. Куренков И.И. 1970. Пресное или соленое озеро Нерпичье? // Вопросы географии Камчатки. Вып. 6. С. 95–97.
84. Куренков И.И. 1971. Гидробиологический очерк озера Нерпичьего (рукопись). Архив КамчатНИРО. Петропавловск-Камчатский. 24 с.
85. Куренков И.И. 2005. Зоопланктон озер Камчатки. Петропавловск-Камчатский. 178 с.
86. Кусков В.П. 1967. Краткий топонимический словарь Камчатской области. Петропавловск-Камчатский. 128 с.

87. Лебедев В.Н. 1915. Воды юго-восточной Камчатки. Часть 1. Озера. М. 370 с.
88. Лебедев В.Н. 1919. Воды юго-восточной Камчатки. Часть 2. Текущие воды. 130 с.
89. Лобанова Н.И. 1989. Некоторые особенности режима устьевой области р. Камчатки // Тр. ДВНИГМИ. Вып. 142. С. 118–123.
90. Лоция Берингова моря. Часть 1 (Восточный берег Камчатки от мыса Лопатка до мыса Олюторского и Командорские острова). 1938. Л.: Гидрографическое управление РККФ. 283 с.
91. Лупачев Ю.В. 1984. Динамическое взаимодействие морских и речных вод в приливных устьях рек // Тр. ГОИН. Вып. 172. С. 64–82.
92. Макаров С.О. 1950. Океанографические работы / Под ред. и со вступ. ст. Н.Н. Зубова и А.Д. Добровольского. М.: Географгиз.
93. Мак-Доуэлл Д.М., О'Коннор Б.А. 1983. Гидравлика приливных устьев рек. М.: Энергоатомиздат, 312 с. (на англ.: McDowell D.M., O'Connor B.A. Hydraulic behavior of estuaries. Macmillan Press Ltd. 1977. 292 p.).
94. Максименков В.В. 2007. Питание и пищевые отношения молоди рыб, обитающих в эстуариях рек и побережье Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО. 278 с.
95. Максименков В.В., Токранов А.М. Пищевые взаимоотношения рыб в эстуарии реки Большая (Западная Камчатка) // Вопросы ихтиологии. 1999. Том 39. № 5. С. 679-683.
96. Мамаев О.И. 1963. Океанографический анализ в системе α -S-T-р. М.: Изд-во Моск. ун-та, 228 с.
97. Мамаев О.И. 2000. Физическая океанография (избранные труды). М.: Изд-во ВНИРО. 364 с.
98. Мамаева Р.Б. 1956. Опыт определения дифференцированных тектонических движений морских побережий геоморфологическим методом // Тр. Океанографической комиссии. Том 1. С. 77–81.
99. Мамаева Р.Б. 1959. Некоторые особенности развития устьев рек полуострова Камчатки // Тр. ГОИН. Вып. 45. С. 109–116.

100. Материалы по гидрографии рек СССР. Том 9. Бассейн Охотского моря. Река Большая. 1950. Архив Камчатского УГМС. 16 с.
101. Мелекесцев И.В. 1974 .Низкогорные массивы и цокольные равнины Западной и Восточной Камчатки // Камчатка, Курильские и Командорские острова. М.: Наука. С. 250–259.
102. Мизеров А.Н. 1937. Геоморфологические наблюдения по западному побережью Камчатского полуострова // Известия ГГО. № 2. С. 244–253.
103. Михайлов В.Н. 1997 (1). Гидрологические процессы в устьях рек. М.: ГЕОС. 176 с.
104. Михайлов В.Н. 1997 (2). Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС. 413 с.
105. Михайлов В.Н. 1998. Гидрология устьев рек. М.: Изд-во Моск. ун-та. 176 с.
106. Михайлов В.Н., Горин С.Л., Михайлова М.В. 2009. Новый подход к определению и типизации эстуариев // Вестник Моск. ун-та. Серия 5. География. №5. С. 3–11.
107. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д., Добролюбов С.А. 2005. Гидрология. М.: Высш. Школа. 463 с.
108. Михайлов В.Н., Исупова М.В. 2008. Экстремальное осолонение эстуариев рек Западной Африки // Водные ресурсы. Том 35. № 4. С. 387–405.
109. Михайлова М.В. 2008. Гидролого-морфологические процессы в устьевой области р. Колумбии (США) и их изменения под воздействием крупномасштабных гидротехнических мероприятий // Водные ресурсы. Том 35. № 2. С. 147–165.
110. Михайлова М.В., Исупова М.В. 2006. Циркуляция вод, динамика наносов и эрозионно-аккумулятивные процессы в эстуарии Жиронда (Франция) // Водные ресурсы. Том 33. № 1. С. 14–28.
111. Михайлова М.В., Исупова М.В. 2007. Динамика вод и наносов в эстуарии и на устьевом участке р. Сены // Водные ресурсы. Том 34. № 1. С. 41–55.
112. Морской атлас. Том 2. Физико-географический / Под ред. И.С. Исакова. Издание Главного штаба ВМС СССР, 1953.

113. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Часть 1–6. Вып. 27. Камчатская область. 2001. СПб.: Гидрометеиздат. 597 с.
114. Новейшие отложения и палеогеография плейстоцена Западной Камчатки. 1978. М.: Наука. 122 с.
115. Одум Ю. 1975. Основы экологии. М.: Мир. 740 с.
116. Озера Южного Сахалина и их ихтиофауна. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1964. 267 с.
117. Океанология. Термины и определения. ГОСТ 18451–73 — ГОСТ 18458–73. М.: Госстандарт, 1973. 63 с.
118. Остроумов А.Г. 1985. Нерестовые озера Камчатки // Вопросы географии Камчатки. Вып. 9. С. 47–55.
119. Павалов Н.В., Чижиков П.Н. 1937. Природные условия и проблемы земледелия на юге Большерецкого района Камчатки // СОПС, серия Камчатская. М.-Л. Вып. 3. 212 с.
120. Пантюлин А.Н. 1983. Взаимодействие океана с водами материкового стока // Взаимодействие океана с окружающей средой. М.: Изд-во Моск. ун-та. С. 129–154.
121. Петров К.М. 2008. Биогеография океана. М.: Академический проект. 328 с.
122. Пирожников П.Л. 1984. Устья крупных рек и приустьевые морские районы как специфические экосистемы // Актуальные вопросы гидробиологии. Л.: ГосНИОРХ. Вып. 223. С. 112–121.
123. План устья реки Камчатки, по описи крейсера «Африка» 1882 г. Масштаб 150 саженей в дюйме. Гидрографический департамент Морского министерства, 1883.
124. Полонский В.Ф., Лупачев Ю.В., Скриптунов Н.А. 1992. Гидролого-морфологические процессы в устьях рек и методы их расчета (прогноза). СПб.: Гидрометеиздат. 383 с.
125. Поляк Б.Г., Вакин Е.А., Овчинникова Е.Н. 1965. Гидрогеотермические условия одного из вулканических районов Камчатки (г. Петропавловск). М.: Наука. 95 с.

126. Пономарева Т.Г. 1989. Устьевая область р. Камчатки // Тр. ДВНИГМИ. Вып. 38 (ДСП). С. 42–45.
127. Попов Б.А. 1961. Формирование профиля подводного склона в условиях умеренных приливов // Новые исследования берегов морей и водохранилищ. Тр. Океанографической комиссии. Т. 12. С. 54–66.
128. Поротов А.В., Селиванов А.О. 1997. Побережье Корякии // Развитие морских берегов России и их изменения при возможном подъеме уровня Мирового океана. М.: Геогр. ф-т МГУ. С. 220–242.
129. Правдин И.Ф. 1928. Очерк западно-камчатского рыболовства в связи с общими вопросами дальневосточной рыбопромышленности // Известия Тихоокеанской научно-промысловой станции. Том 1. Вып. 1. С. 169–259.
130. Разработка рекомендаций по защите косы от разрушения волнами у Октябрьского рыбокомбината. 1982. Архив Камчатского УГМС. Владивосток: Дальморниипроект. 95 с.
131. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Том 20. Камчатка. 1966. Л.: Гидрометеиздат. 258 с.
132. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 20. Камчатка. 1973. Л.: Гидрометеиздат. 368 с.
133. Руководство по гидрологическим исследованиям в прибрежной зоне морей и в устьях рек при инженерных изысканиях. 1972. М.: Гидрометеиздат. 393 с.
134. Рычагов Г.И. 2006. Общая геоморфология. М.: Изд-во Моск. ун-та. 416 с.
135. Самойлов И.В. 1952. Устья рек. М.: Географгиз. 526 с.
136. Сафьянов Г.А. 1987. Эстуарии. М.: Мысль. 189 с.
137. Сафьянов Г.А. 1996. Геоморфология морских берегов. М.: Геогр. ф-т МГУ. 400 с.
138. Сгибнев А. 1869. Исторический очерк главнейших событий в Камчатке (отд. оттиск из Морского сборника, № 4–8, 1869). СПб. 78 с.
139. Словарь общегеографических терминов. 1975. М.: Прогресс. 407 с.
140. Спасский Н.Н. 1940. Характеристика состояния озера Калыгирь (В. Камчатка) в связи с замором рыбы, имевшим место в озере в зиму 1938–39

- года. Отчет о работах на озере летом 1939 г. Петропавловск-Камчатский: Камчатская станция ВНИРО. 27 с.
141. Степанова А.И., Карасев М.С., Лобанова Н.И. 1979. Суммарный вынос твердого стока реками Приморья в Японское море // Тр. ДВНИГМИ. Вып. 81. С. 3-7.
 142. Тимченко В.М. 1990. Эколого-гидрологические исследования водоемов северо-западного Причерноморья. Киев: Наукова думка. 238 с.
 143. Трофимов И.К. 2005. Озерная форма сельди: ее происхождение и распространение // Известия ТИНРО. Том 142. С. 64–81.
 144. Тюлина Л.Н. 2001. Растительность западного побережья Камчатки. Петропавловск-Камчатский. 304 с.
 145. Тюшов В.Н. 1906. По Западному берегу Камчатки. СПб. 521 с.
 146. Фишман О.А., Бооль В.Б. 1934. Гидрохимическое обследование озера Виллой в связи с замором рыбы весной 1934 г. Отчет о НИР. Архив КамчатНИРО. Петропавловск-Камчатский. 4 с.
 147. Хатчинсон Д. 1969. Лимнология. М.: Прогресс. 592 с.
 148. Хендерсон-Селлерс Б. 1987. Инженерная лимнология. Л.: Гидрометеиздат. 335 с.
 149. Хершберг Л.Б., Рязанцев А.А., Гуськов Л.Г., Шмулев В.Г., Наумов Ю.А. 1982. Древние береговые линии послеледниковой трансгрессии на шельфе Японского и Охотского морей // Колебания уровня морей и океанов за 15000 лет. М. С. 196–207.
 150. Хлебович В.В. 1974. Критическая соленость биологических процессов. Л.: Наука. 235 с.
 151. Хлебович В.В. 1986. К биологической типологии эстуариев Советского Союза // Тр. Зоологического института АН СССР. Том 141. С. 5–16.
 152. Хлебович В.В. 1989. Современные теоретические и прикладные аспекты биологии эстуариев Советского Союза // Тр. Всесоюзного гидробиологического общества АН СССР. Том 29. С. 127-133.
 153. Хлебович В.В. 1996. Гидробиологические проблемы арктических эстуариев // Материалы VII съезда Гидробиологического общества РАН. Казань: Казанское отделение ГБО РАН. Том 1. С. 172–177.

154. Хромов С.П., Петросьянц М.А. 2001. Метеорология и климатология. М.: Изд-во Моск. ун-та. 528 с.
155. Хультен Э. 1925. Некоторые географические заметки к карте южной Камчатки // Известия ГРГО. Том LVII. Вып. 1. С. 33–52.
156. Чеботарев А.И. 1978. Гидрологический словарь. Л.: Гидрометеиздат. 544 с.
157. Чернышева Р.Б. 1954. О вертикальных движениях берегов Камчатки. // Тр. ИО АН СССР. Том X. С. 51–55.
158. Чугаев Р.Р. 1975. Гидравлика. Л.: Энергия. 600 с.
159. Шепард Ф.П. 1976. Морская геология. Л.: Недра. 488 с.
160. Щукин И.С. 1980. Четырехязычный энциклопедический словарь терминов по физической географии. М.: Советская энциклопедия. 703 с.
161. Эдельштейн К.К. 1991. Водные массы долинных водохранилищ. М.: Изд-во Моск. ун-та. 175 с.
162. Эдельштейн К.К. 2005. Структурная гидрология суши. М.: ГЕОС. 316 с.
163. Эдельштейн К.К. 2007. Водные массы гидрологических объектов суши // Тр. конференции «Водные массы океанов и морей (к 100-летию А.Д. Добровольского)». МГУ, октябрь 2007 г. М.: МАКС Пресс. С. 275–304.
164. Экологический энциклопедический словарь. М.: Изд. дом «Ноосфера», 1999. 930 с.
165. Экспедиция к Алеутским островам капитанов Креницина и Левашева (1764-69 г.) // Записки гидрографического департамента Морского министерства. 1852. Часть X. С. 70–103.
166. Эскизный проект автогужевой дороги по западному берегу Камчатки. 1937. Фонд 541, опись 1, дело №.4 и 79 в государственном архиве Камчатской области.
167. Эстуарно-дельтовые системы России и Китая: гидролого-морфологические процессы, геоморфология и прогноз развития. 2007. М.: ГЕОС. 445 с.
168. Cameron W.M., Pritchard D.W. 1965. Estuaries // The sea. New York: A Wiley Interscience Publication. Vol. 2. P. 306–324.

169. Climate Change–2007: Synthesis Report. Summary for Policymakers. (<http://www.ipecc.ch>)
170. Day J.H. 1981. The nature, origin and classification of estuaries // Estuarine ecology with particular reference to southern Africa. Rotterdam: A.A. Balkema. P. 1–6.
171. Dyer K.R. 1973. Estuaries: a physical introduction. A Wiley Interscience Publication. 140 p.
172. Dyer K.R. 1986. Coastal and estuarine sediment dynamics. A Wiley Interscience Publication. 342 p.
173. Dyer K.R. 1990. The rich diversity of estuaries // Estuaries. Vol. 13. N. 4. P. 504–505.
174. Dyer K.R., New A.L. 1986. Intermittency in estuarine mixing // Estuarine variability/ New-York^ Academic Press. P. 321–339.
175. Estuaries (<http://www.es.flinders.edu.au>)
176. Evans J., Prego R. 2003. Rias, estuaries and incised valleys: is a ria an estuary? // Marine geology. Vol.196. P. 171–175.
177. Guidelines on the study of seawater intrusion into rivers // Studies and reports in hydrology. 1991. Paris: UNESCO. 117 p.
178. Hansen D.V., Rattray M. 1966. New dimensions in estuary classification // Limnol. and oceanogr. Vol. 11. N. 3. P. 319–326.
179. Ketchum B.H. 1951. The exchange of fresh and salt waters in tidal estuaries // Journ. of Marine Research. Vol. 10. N. 1. P. 18–38.
180. Ketchum B.H. 1983. Estuarine characteristics // Estuaries and enclosed seas. — Amsterdam. P. 1–14.
181. Kinne O. 1971. Salinity — Animals — Invertebrates // Marine Ecology. L. ect., Wiley. Vol. 1, pt. 2. P. 821–995.
182. Larras J. 1964. Embouchures, estuaries, lagunes et deltas. Paris. 117 p.
183. Mikhailov V.N., Mikhailova M.V. 2008. River mouths // The Black Sea Environment. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. P. 93–133.
184. Officer Ch.B. 1976. Physical oceanography of estuaries (and associated coastal waters). A Wiley Interscience Publication. 465 p.

185. Pantyulin A.N. 2003. Hydrological System of the White Sea // *Oceanology*. Vol. 43. Suppl. 1. pp. S1–S14.
186. Pritchard D.W. 1952. Estuarine hydrography // *Adv. Ecophys.* N. 1. P. 243–280.
187. Pritchard D.W. 1967. What is an estuary: a physical viewpoint // *Estuaries*. Washington: Amer. Ass. of Advanced Science. Publ. 83. P. 3–5.
188. Remane A. 1934. Die Brackwasserfauna // *Zool. Anz. (Suppl.)*, Bd. 7. 34–74.
189. Schubel J.R., Pritchard D.W. 1971. What is an estuary? // *Estuarine environment*. Washington: Amer. Ecol. Inst. P. 1–11.
190. Schubel J.R., Pritchard D.W. 1990. Great Lakes estuaries — phooey // *Estuaries*. Vol. 13. N. 4. P. 508–509.
191. Simmons H.B. 1955. Some effects of upland discharge on estuarine hydraulics // *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.* 81. Sep. paper 792. P. 1–20.
192. Stanford J.A., Lorang, M.S., Hauer F.R. 2005. The shifting habitat mosaic of river ecosystems // *Verh. Internat. Verein. Limnol.* N. 29. P. 123–136.
193. Tansley A. 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms // *Ecology*. Vol. 16. N. 4.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВНИРО — Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва

ГГИ — Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург

ГИН — геологический институт РАН, г. Москва

ГОИН — Государственный океанографический институт, г. Москва

ГУНиО МО РФ — Главное управление навигации и океанографии Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург

ДВГУ — Дальневосточный государственный университет, г. Владивосток

ДВНИГМИ — Дальневосточный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, г. Владивосток

ИБМ ДВО РАН — Институт биологии моря им. А.В. Жирмунского дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток

ИВиС ДВО РАН — Институт вулканологии и сейсмологии дальневосточного отделения РАН, г. Петропавловск-Камчатский

ИИЕТ РАН — Институт истории естествознания и техники РАН, г. Москва

ИО РАН — Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

КамчатНИРО — Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Петропавловск-Камчатский

КОТИРХ — Камчатское отделение Тихоокеанского института рыбного хозяйства (впоследствии КамчатНИРО), г. Петропавловск-Камчатский

МГУ — Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

НКПП — Наркомат пищевой промышленности (в 1930-х гг.)

РГО — Русское географическое общество

СахНИРО — Сахалинский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Южно-Сахалинск

СОПС АН СССР — Совет по изучению производительных сил при АН СССР

ТИНРО — Тихоокеанский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Владивосток

УГМС — управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды