

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ

На правах рукописи
УДК 556.54 + 556.5:528.77

КОВАЛЕВ ЕВГЕНИЙ ЭРЬЕВИЧ

**ДИНАМИКА
МЕЛКОВОДНОГО УСТЬЕВОГО ВЗМОРЬЯ Р. ВОЛГИ
ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК**

Специальность 25.00.27
Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва - 2005

Предметом защиты являются научные, методологические и прикладные результаты изучения динамики мелководного устьевоего взморья р. Волги под влиянием природных и антропогенных факторов за период с 1975 по 1997 гг. на основе использования материалов космических съемок:

1. Новые данные по распространению стоковых течений и надводной растительности на мелководном устьевом взморье р. Волги, закономерности зарастания надводной растительностью при повышении уровня Каспийского моря от -29,0 до -26,7 м БС, оценка стока воды и наносов по районам, данные по динамике морского края дельты.

2. Гидрографическое районирование мелководного устьевоего взморья р. Волги, уточненное по составленным картам стоковых течений. Уточнение внешних границ региона.

3. Компьютерная методика составления карт стоковых течений мелководного устьевоего взморья р. Волги по космическим фотоснимкам и расчета площадей распространения стоковых течений и надводной растительности.

4. Фоновый прогноз будущей русловой сети в пределах мелководного устьевоего взморья р. Волги при уровне Каспийского моря ниже -26,7 м БС и предложения по трассированию рыбоходных каналов в целях уменьшения их заносимости и увеличения пропускной способности.

Научная новизна работы.

1. Уточнены внешние границы и гидрографическое районирование мелководного устьевоего взморья р. Волги по составленным картам стоковых течений. Южная морская граница установлена впервые по зоне схождения речных стоковых струй и морских вдольбереговых течений.

2. Впервые создан электронный атлас стоковых струй мелководного устьевоего взморья р. Волги за период с 1975 по 1997 гг. Число струй в атласе превышает 300. Минимальная ширина струи 20 м. Каждая струя представлена в виде отдельного объекта данных и имеет точные координаты на местности.

3. Впервые составлены карты стоковых течений мелководного устьевоего взморья р. Волги в масштабе 1:200 000 при различных уровнях стояния Каспийского моря:

- в половодье при уровне моря от -29,0 до -28,2 м БС;
- в половодье при уровне моря от -28,2 до -26,7 м БС;
- в межень при уровне моря от -28,2 до -26,7 м БС;
- все течения за период с 1975 по 1997 гг.;

4. Определены закономерности изменения площадей распространения надводной растительности на мелководном взморье р. Волги при повышении уровня Каспийского моря от -29,0 до -26,7 м БС.

5. Разработана компьютерная методика составления карт стоковых течений мелководного устьевоего взморья р. Волги по космическим фотоснимкам.

Практическая значимость исследования связана с возможностью использования его результатов для трассирования судоходных и рыбоходных каналов на мелководном устьевом взморье р. Волги, планирования прокосов высшей водной растительности и других мелиоративных мероприятий, оценки запасов и путей транспортировки тростника к местам использования или переработки.

Разработанная в рамках методики компьютерная программа для расчета площадей, занятых надводной растительностью и стоковыми течениями, позволяет уменьшить затраты труда и времени при численной обработке космических снимков.

Апробация работы и публикации. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены на четырех конференциях. На конференции молодых ученых Института водных проблем РАН в 2003 году работа отмечена премией. Результаты исследований частично использованы при разработке ФЦНТП Мировой Океан 6.8. По теме диссертации опубликованы две статьи и тезисы на двух конференциях, еще две статьи находятся в печати.

взморья р. Волги производилось в условиях дефицита информации об этом регионе, и поэтому не могло полностью отражать его современные гидрологические особенности. Кроме того, отсутствие данных о пространственном положении стоковых струй не могло позволить точно установить границы районов, которые были проведены схематично.

Районирование мелководного устьевого взморья р. Волги было выполнено нами в соответствии с основными группами стоковых течений. Границы выделенных 11 районов (рис. 1, табл. 1) проходят по естественным преградам для водообмена между районами - островам, отмелям, косам и зарослям высшей водной растительности, вытянутым в меридиональном направлении вдоль стоковых струй. Каждый район имеет четкие границы с координатами. Границы районов разделяют всю транзитную часть на участки, не имеющие между собой существенного водообмена, что облегчает расчеты стока по районам. Площади районов составляют в среднем 700 км², а их протяженность по морскому краю дельты равняется от 15 до 25 км. Девять из одиннадцати районов имеют магистральные каналы, по имени которых они и называются. В двух оставшихся районах находятся вспомогательные каналы, которые в половодье не в состоянии отвести весь сток в соседний магистральный канал, в результате чего в данных районах наблюдаются обособленные группы стоковых струй.

Надводная растительность хорошо дешифрируется по космическим фотоснимкам, благодаря чему изучение ее динамики с их использованием существенно эффективнее, чем с помощью наземных обследований. Нами были получены данные по распространению надводной растительности в период 1975 – 1997 гг. (табл. 1). Для этого на космических фотокартах были выделены участки, занятые надводной растительностью, которые в зависимости от проективного покрытия были разделены на три типа: сплошную (с проективным покрытием более 80%), густую (от 50 до 80%) и редкую (от 30 до 50%) (рис. 2).

Табл. 1. Динамика надводной растительности на мелководном устьевом взморье р. Волги в период 1975 - 1997 гг. (в границах МУВ на 1975 г.).

Район мелководного устьевого взморья	Год	Сплошная		Густая		Редкая		Вся		Площадь района км ²
		км ²	%	км ²	%	км ²	%	км ²	%	
I Волго-Каспийский	1975	55,46	2,3	41,34	1,7	67,79	2,8	164,59	6,7	2463,73
	1997	145,48	5,9	143,90	5,8	82,55	3,4	371,94	15,1	
	Прирост	90,02	3,7	102,57	4,2	14,76	0,6	207,35	8,4	
II Гандуринский	1975	96,49	8,9	185,10	17,1	171,03	15,8	452,62	41,9	1081,12
	1997	165,24	15,3	36,96	3,4	308,72	28,6	510,92	47,3	
	Прирост	68,76	6,4	-148,14	-13,7	137,69	12,7	58,31	5,4	
III Никитинский	1975	5,03	0,8	91,18	15,0	125,31	20,6	221,52	36,4	608,88
	1997	19,03	3,1	17,08	2,8	212,78	35,0	248,89	40,9	
	Прирост	14,00	2,3	-74,10	-12,2	87,47	14,4	27,37	4,5	
IV Кировский	1975	0,00	0,0	3,89	1,1	86,71	24,0	90,61	25,0	361,81
	1997	17,21	4,8	4,48	1,2	79,31	21,9	101,00	27,9	
	Прирост	17,21	4,8	0,58	0,2	-7,40	-2,1	10,39	2,9	
V Бардынинско-Тишковский	1975	19,90	2,1	93,79	10,1	185,97	20,0	299,66	32,2	929,81
	1997	187,62	20,2	104,08	11,2	147,01	15,8	438,70	47,2	
	Прирост	167,72	18,0	10,29	1,1	-38,96	-4,2	139,05	15,0	
VI Белинский	1975	0,00	0,0	3,09	0,5	40,42	6,4	43,51	6,8	637,03
	1997	15,74	2,5	27,58	4,3	127,29	20,0	170,60	26,8	
	Прирост	15,74	2,5	24,49	3,8	86,86	13,6	127,09	20,0	
VII Карайский	1975	23,64	4,5	14,04	2,7	61,09	11,5	98,77	18,6	530,58
	1997	62,60	11,8	28,37	5,4	127,68	24,1	218,65	41,2	
	Прирост	38,95	7,3	14,34	2,7	66,59	12,6	119,88	22,6	
VIII Васильевский	1975	93,10	12,9	33,18	4,6	54,37	7,5	180,64	25,0	721,57
	1997	122,49	17,0	76,68	10,6	90,87	12,6	290,05	40,2	
	Прирост	29,40	4,1	43,51	6,0	36,50	5,1	109,41	15,2	
IX Обжоровский	1975	48,72	6,6	32,53	4,4	33,44	4,6	114,69	15,6	734,52
	1997	93,34	12,7	59,86	8,2	41,86	5,7	195,06	26,6	
	Прирост	44,62	6,1	27,33	3,7	8,42	1,2	80,38	10,9	
X Иголкинский	1975	62,28	5,5	18,94	1,7	19,79	1,8	101,00	8,9	1129,68
	1997	154,64	13,7	21,39	1,9	91,96	8,1	267,99	23,7	
	Прирост	92,36	8,2	2,45	0,2	72,17	6,4	166,99	14,8	
XI Ганюшкинский	1975	147,22	14,9	7,45	0,8	47,10	4,8	201,77	20,4	988,67
	1997	300,97	30,4	109,91	11,1	21,86	2,2	432,74	43,8	
	Прирост	153,75	15,6	102,46	10,4	-25,24	-2,6	230,97	23,4	
Итого	1975	551,83	5,4	524,52	5,2	893,01	8,8	1969,36	19,3	10187,39
	1997	1284,37	12,6	630,30	6,2	1331,87	13,1	3246,55	31,9	
	Прирост	732,54	7,2	105,78	1,0	438,86	4,3	1277,18	12,5	

В результате анализа полученных нами данных было обнаружено следующие закономерности. Несмотря на повышение уровня Каспийского моря, имевшее место в период с 1975 по 1997 гг., площадь мелководного устьевого взморья р. Волги, занятая надводной растительностью увеличилась

взморья р. Волги производилось в условиях дефицита информации об этом регионе, и поэтому не могло полностью отражать его современные гидрологические особенности. Кроме того, отсутствие данных о пространственном положении стоковых струй не могло позволить точно установить границы районов, которые были проведены схематично.

Районирование мелководного устьевого взморья р. Волги было выполнено нами в соответствии с основными группами стоковых течений. Границы выделенных 11 районов (рис. 1, табл. 1) проходят по естественным преградам для водообмена между районами - островам, отмелям, косам и зарослям высшей водной растительности, вытянутым в меридиональном направлении вдоль стоковых струй. Каждый район имеет четкие границы с координатами. Границы районов разделяют всю транзитную часть на участки, не имеющие между собой существенного водообмена, что облегчает расчеты стока по районам. Площади районов составляют в среднем 700 км², а их протяженность по морскому краю дельты равняется от 15 до 25 км. Девять из одиннадцати районов имеют магистральные каналы, по имени которых они и называются. В двух оставшихся районах находятся вспомогательные каналы, которые в половодье не в состоянии отвести весь сток в соседний магистральный канал, в результате чего в данных районах наблюдаются обособленные группы стоковых струй.

Надводная растительность хорошо дешифрируется по космическим фотоснимкам, благодаря чему изучение ее динамики с их использованием существенно эффективнее, чем с помощью наземных обследований. Нами были получены данные по распространению надводной растительности в период 1975 – 1997 гг. (табл. 1). Для этого на космических фотокартах были выделены участки, занятые надводной растительностью, которые в зависимости от проективного покрытия были разделены на три типа: сплошную (с проективным покрытием более 80%), густую (от 50 до 80%) и редкую (от 30 до 50%) (рис. 2).

Табл. 1. Динамика надводной растительности на мелководном устьевого взморье р. Волги в период 1975 - 1997 гг. (в границах МУВ на 1975 г.).

Район мелководного устьевого взморья	Год	Сплошная		Густая		Редкая		Вся		Площадь района км ²
		км ²	%	км ²	%	км ²	%	км ²	%	
I Волго-Каспийский	1975	55,46	2,3	41,34	1,7	67,79	2,8	164,59	6,7	2463,73
	1997	145,48	5,9	143,90	5,8	82,55	3,4	371,94	15,1	
	Прирост	90,02	3,7	102,57	4,2	14,76	0,6	207,35	8,4	
II Гандуринский	1975	96,49	8,9	185,10	17,1	171,03	15,8	452,62	18,9	1081,12
	1997	165,24	15,3	36,96	3,4	308,72	28,6	510,92	47,3	
	Прирост	68,76	6,4	-148,14	-13,7	137,69	12,7	58,31	5,4	
III Никитинский	1975	5,03	0,8	91,18	15,0	125,31	20,6	221,52	36,4	608,88
	1997	19,03	3,1	17,08	2,8	212,78	35,0	248,89	40,9	
	Прирост	14,00	2,3	-74,10	-12,2	87,47	14,4	27,37	4,5	
IV Кировский	1975	0,00	0,0	3,89	1,1	86,71	24,0	90,61	25,0	361,81
	1997	17,21	4,8	4,48	1,2	79,31	21,9	101,00	27,9	
	Прирост	17,21	4,8	0,58	0,2	-7,40	-2,1	10,39	2,9	
V Бардынинско-Тишковский	1975	19,90	2,1	93,79	10,1	185,97	20,0	299,66	32,2	929,81
	1997	187,62	20,2	104,08	11,2	147,01	15,8	438,70	47,2	
	Прирост	167,72	18,0	10,29	1,1	-38,96	-4,2	139,05	15,0	
VI Белинский	1975	0,00	0,0	3,09	0,5	40,42	6,4	43,51	6,8	637,03
	1997	15,74	2,5	27,58	4,3	127,29	20,0	170,60	26,8	
	Прирост	15,74	2,5	24,49	3,8	86,86	13,6	127,09	20,0	
VII Карайский	1975	23,64	4,5	14,04	2,7	61,09	11,5	98,77	18,6	530,58
	1997	62,60	11,8	28,37	5,4	127,68	24,1	218,65	41,2	
	Прирост	38,95	7,3	14,34	2,7	66,59	12,6	119,88	22,6	
VIII Васильевский	1975	93,10	12,9	33,18	4,6	54,37	7,5	180,64	25,0	721,57
	1997	122,49	17,0	76,68	10,6	90,87	12,6	290,05	40,2	
	Прирост	29,40	4,1	43,51	6,0	36,50	5,1	109,41	15,2	
IX Обжоровский	1975	48,72	6,6	32,53	4,4	33,44	4,6	114,69	15,6	734,52
	1997	93,34	12,7	59,86	8,2	41,86	5,7	195,06	26,6	
	Прирост	44,62	6,1	27,33	3,7	8,42	1,2	80,38	10,9	
X Иголкинский	1975	62,28	5,5	18,94	1,7	19,79	1,8	101,00	8,9	1129,68
	1997	154,64	13,7	21,39	1,9	91,96	8,1	267,99	23,7	
	Прирост	92,36	8,2	2,45	0,2	72,17	6,4	166,99	14,8	
XI Ганюшкинский	1975	147,22	14,9	7,45	0,8	47,10	4,8	201,77	20,4	988,67
	1997	300,97	30,4	109,91	11,1	21,86	2,2	432,74	43,8	
	Прирост	153,75	15,6	102,46	10,4	-25,24	-2,6	230,97	23,4	
Итого	1975	551,83	5,4	524,52	5,2	893,01	8,8	1969,36	19,3	10187,39
	1997	1284,37	12,6	630,30	6,2	1331,87	13,1	3246,55	31,9	
	Прирост	732,54	7,2	105,78	1,0	438,86	4,3	1277,18	12,5	

В результате анализа полученных нами данных было обнаружено следующие закономерности. Несмотря на повышение уровня Каспийского моря, имевшее место в период с 1975 по 1997 гг., площадь мелководного устьевого взморья р. Волги, занятая надводной растительностью увеличилась

с 1969 до 3247 км², т.е. практически в 1,7 раза. Если в 1975 году надводная растительность занимала 19,3% площади мелководного устьевго взморья р. Волги, то к 1997 году ее доля увеличилась до 32%. Увеличение площади, занятой сплошной надводной растительностью, имело место во всех районах мелководного устьевго взморья р. Волги без исключения. Увеличение площади, занятой надводной растительностью в восточной части мелководного устьевго взморья приблизительно в два раза больше, чем в западной. Факт более интенсивного зарастания восточной части мелководного взморья объясняется, по всей видимости, меньшим стоком, приходящимся на нее, особенно на крайние восточные районы.

Кроме того, нами было отмечено изменение отношения участков растительности с различным проективным покрытием. Если в начале периода соотношение сплошной, густой и редкой растительности составляло приблизительно 1 к 1 к 1,5, то к 1997 г. после повышения уровня моря оно стало равняться 2 к 1 к 2. Увеличение площади распространения надводной растительности произошло в основном за счет участков со сплошной растительностью, меньше за счет редкой растительности, и на последнем месте за счет густой.

Влияние повышения уровня Каспийского моря с -29,0 до -26,7 м БС выразилось в значительном уменьшении площадей, занятых густой надводной растительностью, с перераспределением ее доли в пользу редкой растительности в отдельных районах западной части мелководного устьевго взморья р. Волги, а именно в Гандуринском (II) (рис. 2) и Никитинском (III). Подобное уменьшение проективного покрытия растительностью в указанных районах мелководного взморья по-видимому объясняется предельными глубинами произрастания растительности на этих участках, вследствие чего повышение уровня привело к увеличению глубин более допустимых для данных видов растительности.

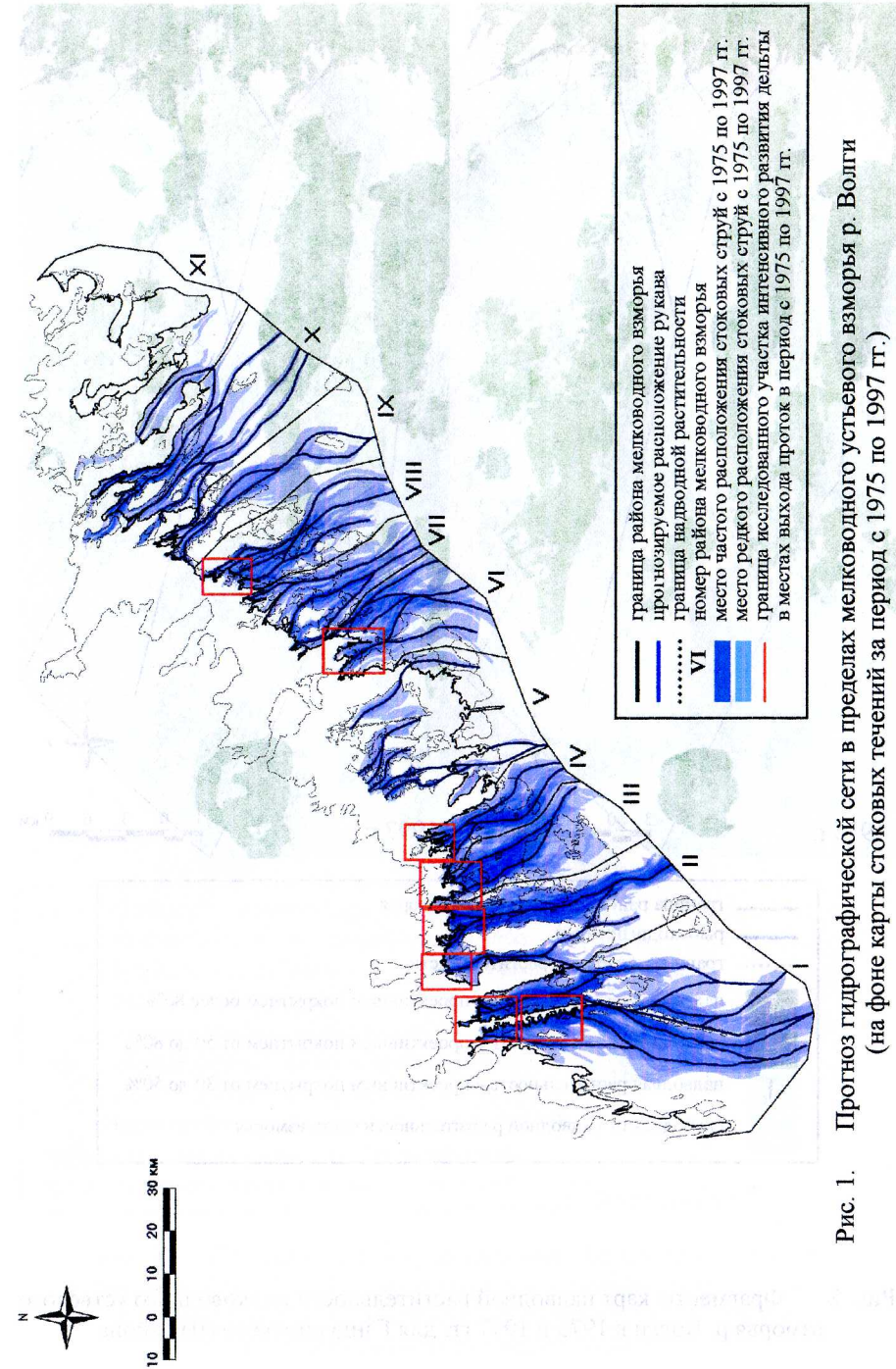


Рис. 1. Прогноз гидрографической сети в пределах мелководного устьевго взморья р. Волги (на фоне карты стоковых течений за период с 1975 по 1997 гг.)

Слабая изученность мелководного устьевого взморья связана с его труднодоступностью из-за малых глубин (1 - 2 м) и зарослей макрофитов. Дефицит информации заметно обострился в последние 10 - 15 лет, когда произошло резкое сокращение объема гидрометеорологических исследований в устье р. Волги. Значительная часть материалов и выводов, полученных ранее, устарела и не может быть использована для характеристики современных условий. Постепенное накопление натуральных данных, данных космических съемок, появление новых технологий обработки космических снимков позволяет получить новые научные и прикладные результаты.

Цель исследования заключается в определении пространственно-временных закономерностей гидролого-морфологических процессов на мелководном устьевом взморье р. Волги на основе компьютерной обработки материалов космических фотосъемок.

Для этого потребовалось решить ряд частных задач:

1. Изучить существующие методы дешифрирования и возможности компьютерной обработки графических данных применительно к материалам космических фотосъемок.

2. Создать электронный атлас фотокарт мелководного устьевого взморья р. Волги, включающий 43 фотокарты за период с 1975 по 1997 гг., выполненные в едином масштабе 1:200 000, пространственно совмещенные и имеющие наземное разрешение 20 м.

3. Разработать методику составления карт стоковых течений мелководного устьевого взморья р. Волги по космическим фотоснимкам.

4. Составить карты основных элементов природных комплексов мелководного устьевого взморья р. Волги, необходимые для оценки современного гидрологического состояния и прогноза изменений в будущем:

- карты надводной растительности за разные годы;
- карты стоковых течений в половодье и межень при различных уровнях стояния Каспийского моря.

5. Уточнить внешние границы и существующее гидрографическое

районирование мелководного устьевого взморья р. Волги на основе изучения переноса водных масс и наносов.

6. Изучить процессы, влияющие на формирование мелководного устьевого взморья р. Волги, в том числе:

- колебания уровней воды различного характера;
- закономерности зарастания высшей водной растительностью на всех участках мелководного взморья с учетом сезонной и многолетней динамики;
- закономерности распространения стоковых течений при различных гидрометеорологических условиях.

7. Разработать компьютерную программу расчета площадей мелководного устьевого взморья р. Волги, занятых надводной растительностью и стоковыми течениями. Получить количественные характеристики в границах выделенных районов.

Методика исследований и фактический материал. Основная идея исследования заключалась в применении современных методов компьютерной обработки графических данных к изучению материалов космических съемок. Пространственные распределения водных объектов, изменение гидрографической сети мелководного устьевого взморья, миграция морского края дельты, развитие дельты в местах выхода проток изучались на основе современных компьютерных технологий, что обеспечило получение главных научных результатов. Нами разработаны и использованы методика создания карт стоковых течений мелководного устьевого взморья р. Волги по космическим фотоснимкам и методика расчета площадей распространения надводной растительности и стоковых течений на мелководном устьевом взморье р. Волги по космическим фотоснимкам.

В работе использованы материалы космических съемок за период с 1975 по 1997 гг., выполненные камерой КФА-1000 с космических аппаратов серии "Ресурс-Ф1М", а также данные натуральных исследований устьевого взморья р. Волги экспедициями ИВП РАН и ГУ ГОИН.

Структура и объем работы. Диссертация включает введение, четыре главы, заключение и четыре приложения. Она изложена на 215 страницах машинописного текста (в т.ч. 72 рисунка, 48 таблиц). Список литературы насчитывает 64 наименования.

Благодарности. Автор диссертации благодарен чл.-корр. РАН Ю.С. Долотову, д.г.н. Г.Н. Панину, д.т.н. М.В. Болгову и д.б.н. Е.М. Гусеву за ценные советы и рекомендации. Глубочайшую признательность автор выражает д.г.н. Г.Ф. Красножону за научное руководство, конструктивную критику и неизменную поддержку на протяжении всей работы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение посвящено обоснованию актуальности темы диссертации, в нем определены ее цели и задачи, дана характеристика исходных материалов и методических подходов. Здесь же рассмотрена научная новизна и практическое значение вопросов изучения динамики мелководного устьевых р. Волги.

Глава 1. «Физико-географическая характеристика мелководного устьевых р. Волги». В главе уточнены границы и районирование региона, сделан обзор изученности, геологического строения, рельефа и донных грунтов. Приведены результаты исследования зарастаемости, рассмотрены вопросы использования космических съемок.

Начальным этапом работы было создание электронного атласа космических фотокарт мелководного устьевых р. Волги. Атлас был создан на основе черно-белых и спектральных космических фотоснимков, выполненных камерой КФА-1000 за период с 1975 по 1997 гг. В атлас вошло 43 фотокарты в масштабе 1:200 000, которые были приведены к единому наземному разрешению 20 м (один пиксель изображения соответствует 20 метрам на местности) и пространственно совмещены.

Наличие достаточного числа космических фотоснимков мелководного устьевых р. Волги позволило нам уточнить границы этого региона в разные годы и при разных уровнях стояния Каспийского моря. Северо-западная граница мелководного устьевых р. Волги определяется положением морского края дельты (МКД). Морской край дельты сильно изрезан и зарос надводной растительностью, поэтому точно установить "береговую" черту местами просто невозможно. При некоторых расчетах за границу между дельтой и устьевым взморьем условно принимают урез воды с отметкой -27,50 м БС. В нашей работе морской край дельты определялся по космическим снимкам и проводился по границе сплошной (с проективным покрытием более 80%) надводной растительности вблизи береговой линии. Такой способ проведения МКД предполагает некоторую погрешность в сторону мелководного взморья, но с учетом общей тенденции смещения МКД в сторону моря, наблюдавшейся в исследованный нами период с 1975 по 1997 гг., является допустимым, так как выделенная таким образом граница представляет собой будущее положение морского края дельты.

Юго-восточная (морская) граница мелководного устьевых р. Волги отделяет его от глубоководного взморья и проходит вблизи свала глубин и морского устьевых бара, бывшего когда-то морским краем прадельты р. Волги (изогипса -28 ~ -30 м БС). Обычно эта граница устанавливается приблизительно по свалу глубин морского устьевых бара (изогипса -28,0 ÷ -30,0 м БС). В нашей работе морская граница мелководного взморья установлена впервые по зоне схождения речных струй и морских вдольбереговых течений (рис. 1). Таким образом, было определено фактическое положение границы мелководного и глубоководного взморья при современных уровнях стояния Каспийского моря.

Полученные нами впервые подробные данные по пространственному распределению стоковых течений на мелководном устьевом взморье р. Волги позволили существенно уточнить существующее гидрографическое районирование этого региона. Ранее районирование мелководного устьевых

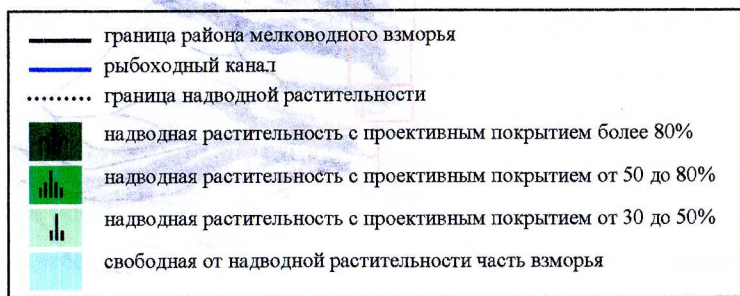
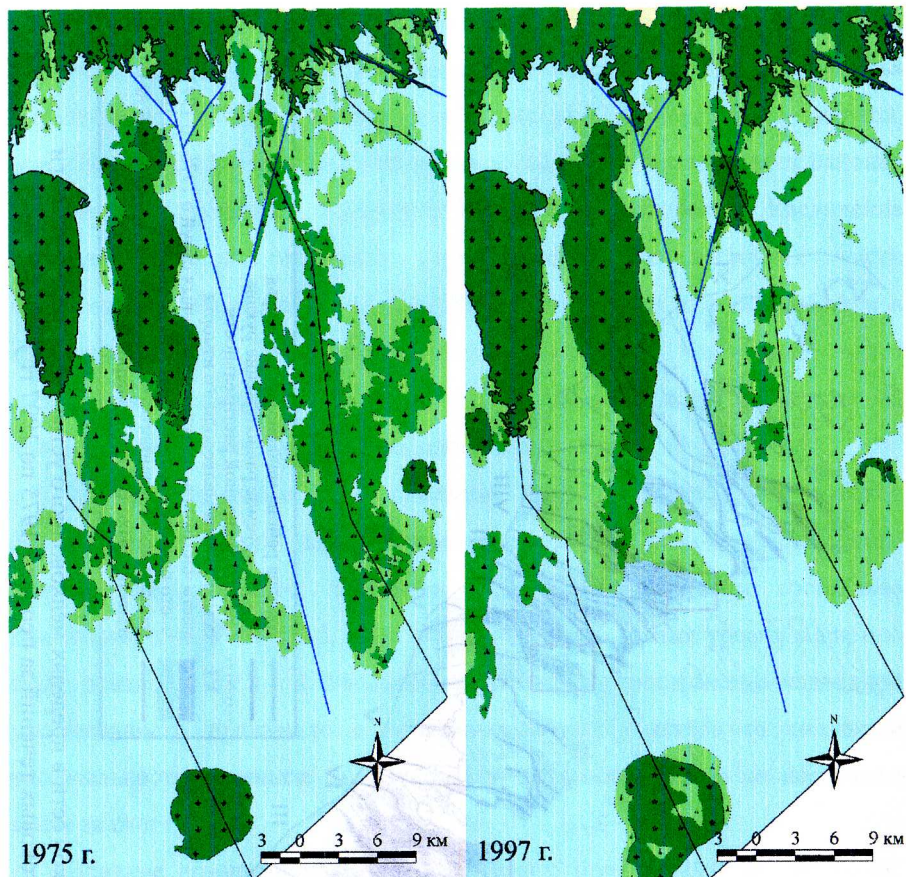


Рис. 2. Фрагменты карт надводной растительности мелководного устьевоего взморья р. Волги в 1975 и 1997 гг. для Гандуринского (II) района.

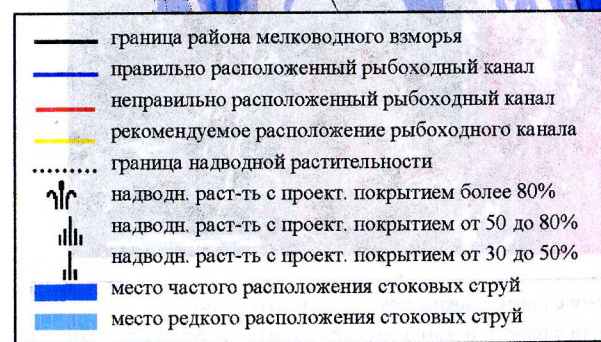
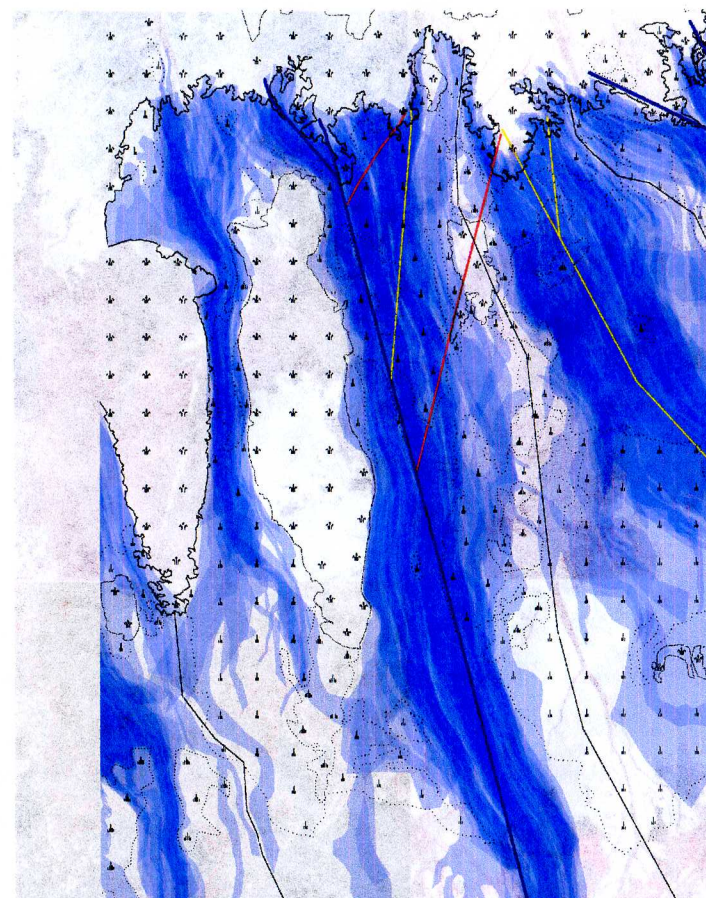
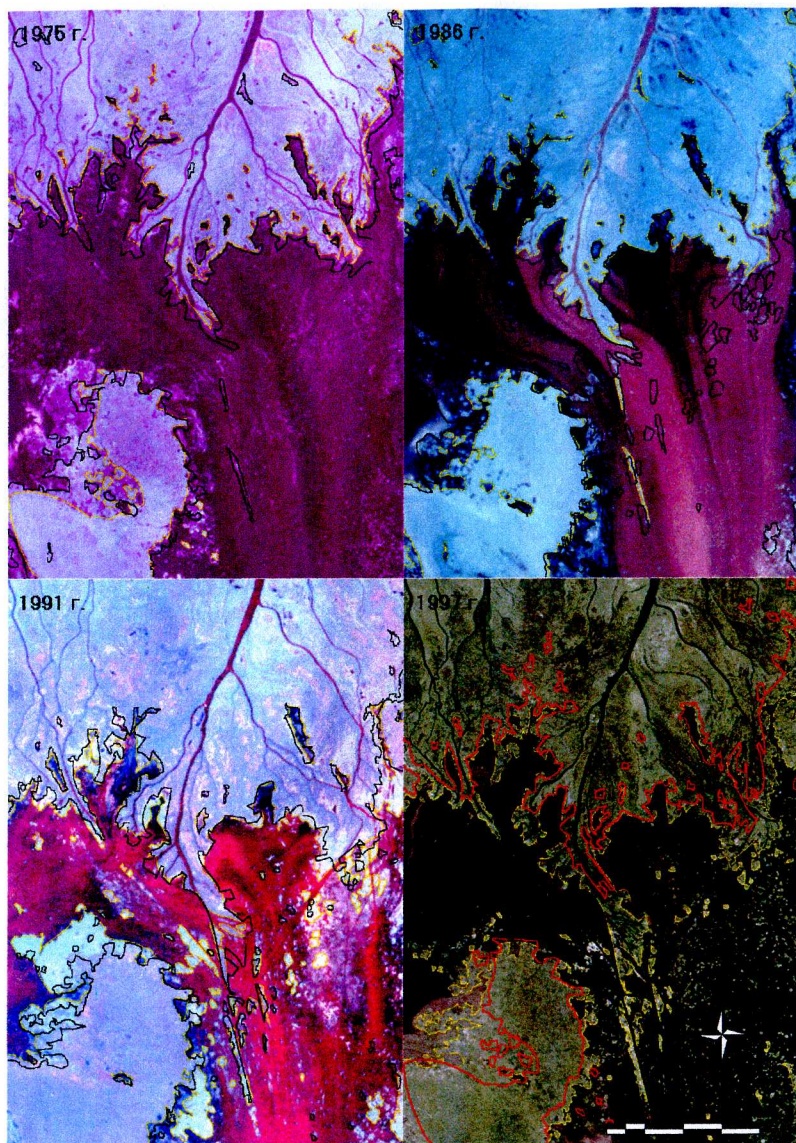


Рис. 3. Предложения по трассированию рыбоходных каналов в Гандуринском (II) районе мелководного устьевоего взморья р. Волги (на фоне карты стоковых течений за период с 1975 по 1997 гг. и карты надводной растительности в 1997 г.).



— граница надводн. раст-ти с проект. покрытием >80% на дату съемки
— граница надводн. раст-ти с проект. покрытием >80% на дату следующей съемки
— граница надводн. раст-ти с проект. покрытием >80% в 1975 г.

Рис. 4. Выдвижение морского края дельты р. Волги в месте выхода Гандуринского канала в период с 1975 по 1997 гг. по космическим снимкам.

Для расчета площадей распространения надводной растительности и стоковых течений на мелководном устьевом взморье р. Волги нами была разработана специализированная компьютерная программа, позволяющая вычислять величину площади по цветовым характеристикам изображения. Такой способ позволяет вычислять площади любых объектов, имеющих характерные цветовые параметры, сокращает временные затраты на численную обработку космических фотоснимков и увеличивает точность получаемых результатов. Методика широко использована в настоящей работе, благодаря чему получены новые количественные характеристики мелководного устьевого взморья р. Волги за период с 1975 по 1997 гг.

Глава 2. «Гидрологический режим мелководного устьевого взморья р. Волги». В главе рассмотрены вопросы, связанные с колебаниями уровней воды различного характера, уклонами водной поверхности и скоростями течений, рассчитан сток воды и наносов по районам, исследовано пространственное распределение стоковых течений.

Для эффективного изучения стоковых течений мелководного устьевого взморья р. Волги нами была разработана компьютерная методика составления карт стоковых течений по космическим фотоснимкам. Наносы реки маркируют стоковые струи на мелководном устьевом взморье р. Волги, что делает их хорошо заметными и позволяет дешифровать на космических фотоснимках, полученных в широкой полосе видимого электромагнитного диапазона. Основными достоинствами методики являются использование средств автоматизации дешифрирования стоковых течений и электронный атлас стоковых струй. Под автоматизацией дешифрирования подразумевается использование компьютерных средств автоматического выделения границы объектов в случае их достаточной контрастности на конкретном фотоснимке и автоматическое выделение всего объекта, если на изображении он имеет характерные цветовые параметры.

Ключевым элементом методики является электронный атлас стоковых струй, представляющий собой электронное хранилище информации по

стоковым струям, дешифрованным на космических фотоснимках мелководного взморья. Каждая струя в атласе хранится в виде отдельного объекта данных и имеет точные координаты на местности, также сохраняется информация об исходном фотоснимке и дата проведения съемок. Кроме того, вычисляется относительная яркость струи, определяемая как разность между средней яркостью струи и минимальной яркостью водной поверхности на данном фотоснимке. Этот параметр необходим для составления карт мутности и изучения стока наносов реки.

Физически атлас является файлом в формате "TIFF", в котором каждая стоковая струя представлена в виде векторного объекта, называемого в программе Adobe Photoshop термином "Path" ("Контур"). Подобное представление данных позволяет масштабировать объекты без искажения информации, а также отличается малым объемом занимаемой памяти. Главным же преимуществом электронного атласа является то, что он обеспечивает возможность произвольной выборки необходимых стоковых струй в зависимости от составляемой карты течений. Кроме того, атлас является основой для мониторинга стоковых течений устьевого взморья, так как может быть легко дополнен новыми данными с новых космических фотоснимков.

В электронный атлас стоковых струй мелководного устьевого взморья р. Волги, созданный в соответствии с разработанной методикой, вошло более 300 струй с космических фотоснимков за период с 1975 по 1997 гг., ширина которых была не менее 20 м. На его основе были составлены четыре карты стоковых течений мелководного взморья:

- в половодье при уровне моря от -29,0 до -28,2 м БС;
- в половодье при уровне моря от -28,2 до -26,7 м БС;
- в межень при уровне моря от -28,2 до -26,7 м БС;
- все течения за период с 1975 по 1997 гг. (рис. 1).

Нами был впервые предложен и использован такой вид карт стоковых течений, на котором при наложении струй друг на друга интенсивность цвета

в месте наложения увеличивается. На таких картах наглядно видны области, где струи встречаются чаще всего, и наоборот. Светло синие места на карте соответствуют участкам, на которых наблюдались стоковые струи в исследуемый период, но это происходило один или малое число раз. Более темные места соответствуют участкам, где струи наблюдались чаще, т.е. вероятность расположения струи на этом участке больше.

По созданным картам с использованием разработанной компьютерной программы были вычислены площади, занятые стоковыми течениями в половодье и межень при различных уровнях стояния Каспийского моря. Анализ полученных данных показал, что при уровне моря в диапазоне от -29,0 до -28,2 м БС площадь, занятая стоковыми течениями в половодье не превышает 3,6 тыс. км², что составляет приблизительно 35% от площади мелководного взморья (табл. 2).

Табл. 2. Площади стоковых течений мелководного устьевого взморья р. Волги в половодье при уровне Каспийского моря от -29,0 до -28,2 м БС (в границах МУВ на 1975 г.)

Район мелководного устьевого взморья	Без надводной растительности		Сквозь надводную растительность		Суммарная		Свободная от струй		Площадь района
	км ²	%	км ²	%	км ²	%	км ²	%	
I Волго-Каспийский	771,57	31,3	18,60	0,8	790,18	32,1	1 673,55	67,9	2 463,73
II Гандуринский	363,54	33,6	89,93	8,3	453,47	41,9	627,64	58,1	1 081,12
III Никитинский	174,83	28,7	48,56	8,0	223,38	36,7	385,49	63,3	608,88
IV Кировский	223,70	61,8	64,47	17,8	288,17	79,7	73,63	20,4	361,81
V Бардынинско-Тишковский	89,99	9,7	97,86	10,5	187,85	20,2	741,96	79,8	929,81
VI Белинский	308,64	48,5	17,85	2,8	326,48	51,3	310,55	48,8	637,03
VII Карайский	311,17	58,7	44,43	8,4	355,60	67,0	174,98	33,0	530,58
VIII Васильевский	347,93	48,2	50,20	7,0	398,14	55,2	323,43	44,8	721,57
IX Обжоровский	73,67	10,0	17,90	2,4	91,57	12,5	642,95	87,5	734,52
X Иголкинский	427,74	37,9	18,95	1,7	446,69	39,5	682,99	60,5	1 129,68
XI Ганюшкинский	22,76	2,3	0,00	0,0	22,76	2,3	965,91	97,7	988,67
Итого	3 115,55	30,6	468,75	4,6	3 584,30	35,2	6 603,09	64,8	10 187,39

Повышение уровня Каспийского моря незначительно повлияло на величину площади, занятой струйными течениями. Абсолютная величина

площади уменьшилась на 257 км², в то время как процентное отношение к площади мелководного устьевого взморья увеличилось на 1,5%. Большая часть площади, занятой струйными течениями свободна от надводной растительности, и лишь 4,6% площади мелководного взморья занято течениями, идущими сквозь надводную растительность.

Глава 3. «Формирование гидрографической сети мелководного устьевого взморья р. Волги». В главе исследована динамика морского края дельты и морского устьевого бара, изучено формирование русловой сети в местах основных стоковых струй и сделан обобщенный прогноз на будущее.

В результате обработки космических фотоснимков за период с 1975 по 1997 гг., нами были получены данные по площадному приросту дельты за указанный период для всех районов мелководного взморья. Было выделено и исследовано 8 участков активного развития дельты в местах выхода основных протоков (рис. 1). Каждый из отмеченных участков изучался по нескольким космическим снимкам, по возможности равномерно распределенным во времени в период с 1975 по 1997 гг. (рис. 4).

Полученные данные свидетельствуют о выдвигании морского края дельты за период с 1975 по 1997 гг. по всем районам мелководного взморья. Интенсивное смещение морского края наблюдалось в местах выхода протоков во всех районах западной части, а также в Белинском (VI) и Васильевском (VIII) районах восточной части мелководного взморья. В остальных районах этого обнаружено не было.

Анализ составленных карт распространения надводной растительности мелководного устьевого взморья р. Волги в разные годы и карт стоковых течений при различных уровнях стояния Каспийского моря совместно с данными натурных исследований позволил нам составить обобщенный прогноз гидрографической сети в пределах этого региона.

Сток в половодье проходит мелководное взморье (длина пути до 70 км) резко очерченными струйными течениями, которые практически не перемешиваются друг с другом и почти не изменяют своей ширины.

Незначительность поперечного перемешивания указывает на однотипное распределение уклонов воды. Интенсивное зарастание региона при стабильном положении основных участков распространения высшей водной растительности характеризуется наличием обратной связи в расположении стоковых струй и зарослей растительности. Все это позволяет считать главными факторами в эволюции мелководного взморья глубину воды, расположение струйных течений и зарастание надводной растительностью.

Для условий постоянного уровня моря или его понижения положение основных будущих рукавов должно совпадать с положением основных стоковых струй, намеченных с учетом дальнейшего зарастания региона. Современные особенности развития уже сформировавшейся в дельте гидрографической сети указывают на ее чрезвычайную устойчивость. Эта особенность позволяет при прогнозировании будущую гидрографическую сеть "подстраивать" к современной, а также предполагать, что подводное продолжение речных рукавов на мелководном взморье, ограниченное интенсивно развивающейся водной растительностью, будет также устойчивым. На рис. 1 приведена карта-схема расположения основных элементов будущей гидрографической сети в пределах мелководного устьевого взморья р. Волги для уровня стояния Каспийского моря не выше -26,7 м БС, построенная на основе высказанных положений. Естественно, что сеть в действительности будет более густой, за счет большого числа протоков между основными рукавами. Такой прогноз может быть откорректирован по данным наземных наблюдений за динамикой глубин в этом регионе.

Мы полагаем, что прогнозирование будущего положения гидрографической сети в пределах мелководного взморья р. Волги на основе анализа динамики надводной растительности и стоковых течений является в настоящее время наиболее перспективной методикой, так как она позволяет постоянно улучшать прогноз на основе материалов последующих лет, и не отрицает возможность использования обычных гидрологических методов. Уточнение прогноза может проводиться не чаще одного раза в 5 - 10 лет.

Глава 4. «Использование мелководного устьевого взморья р. Волги в народном хозяйстве и возможные пути контроля и улучшения его гидрологического режима». В главе рассмотрены вопросы хозяйственного использования мелководного взморья, регулирования зарастаемости, сделаны предложения по трассированию рыбоходных каналов с целью уменьшения их заносимости и увеличения пропускной способности.

Существующие каналы на мелководном устьевом взморье р. Волги во многом утратили свое назначение. Причинами этого называют интенсивное развитие высшей водной растительности, дробление водотоков в нижней части дельты, неправильное трассирование каналов, в связи с чем они мелеют и их глубины не соответствуют требуемым рыбным хозяйством.

Полученные нами впервые подробные данные по пространственному расположению стоковых течений на мелководном устьевом взморье р. Волги и составленные карты надводной растительности за разные годы позволили оценить существующие каналы с точки зрения правильности их положения относительно стоковых струй и участков интенсивного развития надводной растительности и дать предложения по трассированию каналов, обеспечивающему наименьшее сопротивление, наибольшую пропускную способность и наименьшую аккумуляцию наносов.

При пересечении канала стоковыми струями под значительными углами происходит торможение руслового потока вторгающимися в него массами воды, имеющими существенно меньшие скорости течения. Это приводит к значительному уменьшению пропускной способности русла и отложению наносов, переносимых стоковыми струями. Интенсивно развивающаяся растительность также препятствует пропуску воды и способствует заилению русла канала. Таким образом, правильным считалось трассирование канала в месте частого расположения стоковых струй, вдоль или под незначительным углом к ним, и вне участков распространения водной растительности.

В качестве примера, на рис. 3 показаны предложения по трассированию каналов в Гандуринском (II) районе мелководного взморья. Здесь, помимо

расположенного с востока подводящего Никитинского канала, необходимость в котором отпадает при наличии в соседнем районе предложенного магистрального канала, существует другой подводящий канал Горный. Средний угол пересечения канала и струй составляет по полученным нами данным $39,8^\circ$, в то время как максимальный угол достигает $47,2^\circ$. Нами предложено другое расположение канала, при котором углы его пересечения со стоковыми струями будут существенно меньше. Аналогичным образом даны предложения по всем районам мелководного взморья р. Волги.

Приложения. В приложение А вынесены карты надводной растительности мелководного устьевого взморья р. Волги в 1975 и 1997 гг., выполненные в масштабе 1:200 000. В приложении В приведены 4 карты стоковых течений мелководного устьевого взморья р. Волги, выполненные в масштабе 1:200 000:

- в половодье при уровне моря от -29,0 до -28,2 м БС;
- в половодье при уровне моря от -28,2 до -26,7 м БС;
- в межень при уровне моря от -28,2 до -26,7 м БС;
- все течения за период с 1975 по 1997 гг.

В приложение С вынесены 3 таблицы с данными по стоку и расходам воды, рассчитанными для каждого из районов мелководного взморья:

- сток за период с 1951 по 1989 гг. при различных расходах в вершине дельты;
- средние, максимальные и минимальные годовые расходы воды различной обеспеченности;
- внутригодовое распределение стока воды за период с 1950 по 1993 гг., осредненное по шести временным интервалам.

В приложение D вынесена таблица с рассчитанными данными по внутригодовому распределению стока наносов по районам мелководного устьевого взморья р. Волги за период с 1950 по 1993 гг..

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВЫВОДЫ

1. По материалам космических съемок уточнены границы и размеры мелководного устьевых взморья р. Волги за период с 1975 по 1997 гг. Южная морская граница мелководного взморья установлена впервые по зоне схождения речных стоковых струй и морских вдольбереговых течений. Уточнено гидрографическое районирование мелководного устьевых взморья с учетом расположения основных групп стоковых струй.

2. Разработана методика составления карт стоковых течений мелководного устьевых взморья р. Волги по космическим фотоснимкам. Созданы 4 карты стоковых течений при различных уровнях стояния Каспийского моря:

- в половодье при уровне моря от -29,0 до -28,2 м БС;
- в половодье при уровне моря от -28,2 до -26,7 м БС;
- в межень при уровне моря от -28,2 до -26,7 м БС;
- все течения за период с 1975 по 1997 гг.

3. Разработана методика расчета площадей распространения надводной растительности и стоковых течений на мелководном устьевом взморье р. Волги по космическим фотоснимкам. Разработана специализированная компьютерная программа, позволяющая подсчитывать площади по цветовым характеристикам выбранного пикселя. Получены новые количественные данные по динамике мелководного устьевых взморья р. Волги за период с 1975 по 1997 гг. Подсчитаны площади, занятые надводной растительностью и стоковыми течениями при различных уровнях стояния Каспийского моря.

4. Изучено влияние повышения уровня Каспийского моря от -29,0 до -26,7 м БС на интенсивность развития процессов на мелководном устьевом взморье р. Волги. Определены закономерности изменения площадей распространения надводной растительности. Исследована динамика морского края дельты р. Волги за период с 1975 по 1997 гг.

5. Выполнен фоновый прогноз расположения будущей русловой сети на мелководном устьевом взморье р. Волги при уровне Каспийского моря не выше -26,7 м БС на основе анализа положения стоковых струй и динамики развития надводной растительности.

6. Выполнен анализ трассирования рыбоходных каналов на мелководном устьевом взморье р. Волги и даны рекомендации по уменьшению их заносимости и увеличению пропускной способности. Предложено наиболее оптимальное положение каналов относительно основных групп стоковых струй и участков, заросших надводной растительностью.

7. Созданы электронные атласы мелководного устьевых взморья р. Волги, позволяющие эффективнее использовать результаты настоящей работы. В будущем атласы могут быть легко пополнены новыми данными, полученными в результате обработки новых космических снимков.

- Электронный атлас фотокарт мелководного устьевых взморья р. Волги. В состав атласа входят 43 фотокарты за период с 1975 по 1997 гг., выполненные в едином масштабе 1:200 000, пространственно совмещенные и с наземным разрешением 20 м.
- Электронный атлас стоковых струй мелководного устьевых взморья р. Волги за период с 1975 по 1997 гг. Число струй в атласе превышает 300. Минимальная ширина струи 20 м. Каждая струя представлена в виде отдельного объекта данных и имеет точные координаты на местности.

8. Наиболее эффективным методом изучения мелководного устьевых взморья р. Волги признано совместное использование материалов космических съемок и данных натурных исследований. Мониторинг и контроль в условиях малых глубин и больших размеров взморья может быть налажен путем слежения за динамикой стоковых течений и растительности, как индикаторов многих процессов.

РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Дельта и мелководное взморье р. Волги по материалам космических фотосъемок за последние 30 лет // Водные ресурсы. 2005. В печати. (соавторы Г.Ф. Красножон)
2. О возможности получения гидролого-экологической информации по дельте Волги при помощи компьютерной обработки космических фотоснимков // Труды III международной конференции по сельскохозяйственным и природным ресурсам. Т. 2. 2004. с. 958 – 962. (соавторы Г.Ф. Красножон)
3. Оценка гидролого-экологического состояния устья Волги по данным космических фотосъемок // Аридные экосистемы. 2004. Том 10. №21. с. 70 – 81. (соавторы Г.Ф. Красножон)
4. Стоковые течения мелководного устьевоего взморья р. Волги по данным космических съемок // Водные ресурсы. 2005. В печати.
5. Течения на мелководном устьевом взморье Волги // Труды VI конференции «Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей». Тезисы. Москва. 22 - 26 ноября 2004 г. с. 546 – 547. (соавторы Г.Ф. Красножон)
6. Possibility of obtaining hydrological and ecological information on Volga delta by means of space photography computer processing // The 3rd International IRAN and RUSSIA Conference "Agriculture and Natural Resources". Abstracts. Moscow Timiriazev Agricultural Academy. 2002. P. 242. (co-author G.F. Krasnodgon)

Г.Ф. Красножон



3.05.2005г.

ъем. 1п.л.

аз №201

во-Пресс»

ер., д 6.