

ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

УДК 556.54:551.468.6(282.247.41:262.81)

В.Н. Михайлов¹, М.В. Исупова²

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ, МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ АНОМАЛЬНОГО СОПРЯЖЕНИЯ ВОЛГИ И КАСПИЙСКОГО МОРЯ³

Рассмотрены особенности сопряжения реки и моря в устьевой области Волги. Показано, что при уровне Каспия ниже $-27,0$ м БС гидравлическая связь между водотоками дельты и морем разрывается и дальнейшее понижение уровня моря на гидрологические процессы в дельте заметного влияния не оказывает. Такое аномальное сопряжение реки и моря в устье Волги радикально отличает этот объект от устьев других рек России и мира и объясняется наличием на устьевом взморье Волги обширной мелководной буферной зоны.

Выявлены причины возникновения аномальных гидравлических условий в устье Волги, рассчитаны отметки уровня воды на морском крае дельты, определены величины перепадов уровня воды между морским краем дельты и морем. В колебаниях уровня воды в рукавах дельты и в отмелой зоне взморья в период недавнего повышения уровня Каспия выделены стоковая и подпорная составляющие. Рассмотрены основные гидрологические, морфологические и экологические следствия аномального сопряжения реки и моря в устье Волги.

Ключевые слова: Волга, Каспийское море, устье, дельта, устьевое взморье, изменения уровня воды.

Введение. Устьевая область Волги, включая крупную дельту и обширное устьевое взморье, — один из важнейших в экологическом и экономическом отношениях устьевой объект в России. Считается, что устье Волги — наиболее изученное в нашей стране. В работах [2—4, 19], которые признаны в исследованиях устья Волги фундаментальными, этот объект рассматривался как типичный для любых районов взаимодействия большой реки и непривливногo водоема и как пример при изучении хуже исследованных аналогичных природных объектов. Поэтому не случайно результаты изучения дельты и взморья Волги в руководстве, посвященном методам исследования устьев рек [15], использованы как образцы и аналоги.

Исследования в устье Волги, проведенные в последующие годы, показали, однако, что ряд гидрологических процессов в устье Волги обладает существенными особенностями, отличающими этот объект от непривливногo устьев других рек, в том числе также впадающих в Каспийское море. Эти отличия проявились, например, в очень слабой реакции дельты Волги на крупномасштабное понижение уровня Каспия в середине XX в. и особенно на резкое и значительное повышение уровня моря в 1978—1995 гг., заметно отличающейся от аналогичной реакции дельт других рек Каспийского региона. Выявлена неадекватность изменения уровня воды в дельте колебаниям уровня моря. Обнаруженная особенность гидрологического режима дельты Волги была объяснена влиянием мел-

ководной части устьевогo взморья, частично блокирующей влияние моря на придельтовую часть взморья и саму дельту.

Впервые на эту роль рельефа устьевогo взморья было обращено внимание в работе [14], отмелая часть устьевогo взморья Волги названа в ней буферной зоной. Позже выводы об аномальности сопряжения реки и моря в устье Волги подтверждены в работах [6, 7, 9, 10, 12, 13, 20].

Вместе с тем гидравлико-гидрологические свойства буферной зоны и ее влияние на гидролого-морфологические и экологические процессы в устье Волги (особенно в период недавнего значительного повышения уровня Каспия) подробно не изучены, не установлено, можно ли по-прежнему считать устье Волги типичным эталоном при изучении устьев других рек. Ответ на эти вопросы и есть цель нашей работы.

Постановка проблемы. Исследования гидролого-морфологических процессов в устьях рек Каспийского региона, проведенные при участии авторов статьи [5, 6, 8—10, 20], показали, что реакция устьев разных рек региона на одни и те же изменения уровня Каспийского моря существенно отличается. Особенно наглядно это проявляется при сравнении изменения отметок среднегодового уровня воды на разных гидрологических постах (ГП) в дельтах рек и в море на ГП Махачкала (рис. 1). Графики, приведенные на этом рисунке, показывают, что в устьях рек Сулак и Кура (рис. 1, *з, д*) с приглубым взморьем изменение уровня

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, ст. науч. с., докт. геогр. н.; *e-mail*: vn.mikhailov@mail.ru

² Институт водных проблем РАН, ст. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail*: misupova@yandex.ru

³ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 11-05-00199 и 13-05-00141).

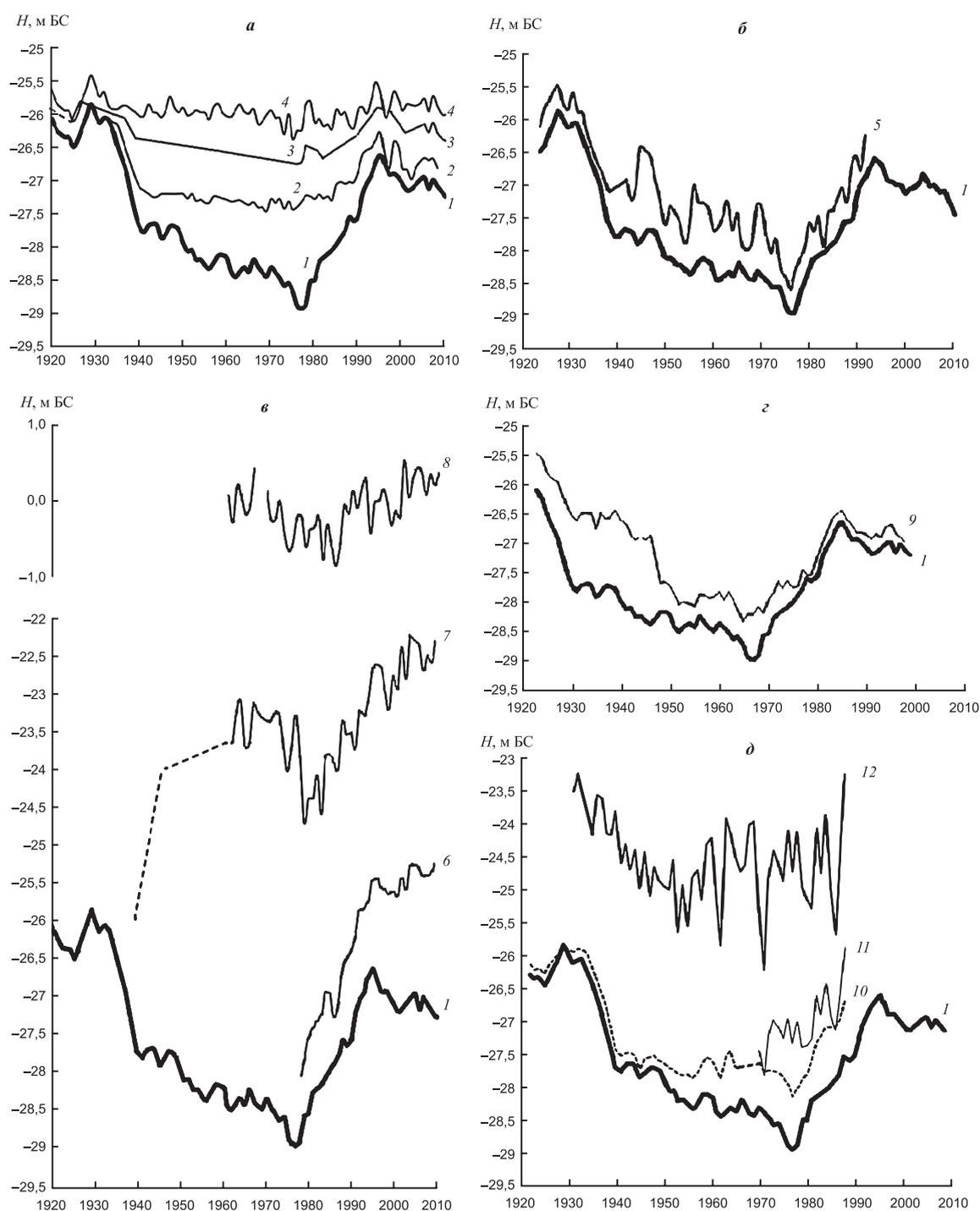


Рис. 1. Многолетние изменения уровня воды на ГП Махачкала (море) (1) и в устьях рек: а — Волга: 2 — ГП о. Искусственный, 3 — МКД, 4 — ГП Оля; б — Урал: 5 — ГП Гурьев (ныне Атырау); в — Терек: 6 — ГП Дамба, 7 — ГП Аликазган, 8 — ГП Нижний бьеф Каргалинского гидроузла; г — Сулак: 9 — ГП Сулак; д — Кура: 10 — ГП Устье, 11 — ГП Каравелли, 12 — ГП Сальяны

Каспия (как понижение, так и повышение) практически сразу сказывается на уровне воды на нижних участках рукавов дельт. Одновременно вверх по течению начинает распространяться волна гидравлического спада, сопровождающаяся попятной эрозией русла (в случае понижения уровня моря), или волна гидравлического подпора, сопровождающаяся попятной аккумуляцией наносов (в случае повышения уровня моря). После сооружения прорези через Аграханский

п-ов и вывода вод Терека непосредственно в Средний Каспий в условиях начавшегося в 1978 г. подъема уровня моря повышение уровня воды и аккумуляция наносов наблюдались и в главном рукаве дельты Терека (рис. 1, в).

Главное условие развития описанных выше гидролого-морфологических процессов в рукавах дельт — совпадение отметок уровня воды в море и на морском крае дельт (МКД), что возможно лишь при отсут-

ствии в рассматриваемом устье буферной зоны. Такой зоны не может быть на приглубом взморье (с уклоном дна $>1\%$), в некоторых редких случаях буферная зона может отсутствовать и на отмелем взморье. В устье Урала с умеренно отмелым взморьем в период падения уровня Каспия в 1930-х гг., по-видимому, так же, как в устье Волги, возникла буферная зона. Однако она была искусственно ликвидирована в результате сооружения в эти же годы Урало-Каспийского канала (УКК). УКК прорезал более узкое, чем в устье Волги, отмелое устьевое взморье, что привело к сосредоточению в канале и подводящем к нему рукаве Золотой почти всего стока р. Урал [12]. По этой причине гидролого-морфологические процессы, происходившие в дельте и на устьевом участке Урала во второй половине XX в., развивались после сооружения УКК по той же схеме (рис. 1, б), что и в устьях Сулака и Куры, о которых сказано выше.

Процессы в устье Волги происходили по аналогичным схемам, возможно, только до начала быстрого снижения уровня Каспия в 1930-х гг. В дальнейшем процессы в устье Волги стали развиваться совершенно иначе, чем в устьях других рек, впадающих в Каспийское море (рис. 1). Режим дельты и взморья Волги за последние 70 лет изменялся не так, как следовало ожидать для объекта, который считался ранее и хорошо изученным, и эталоном при изучении устьев других рек. Несмотря на значительное снижение уровня моря, начиная с 1950—1960-х гг., уровень воды в рукавах дельты и в отмелой зоне взморья стабилизировался (рис. 1, а), а пассивное выдвигание МКД Волги сильно замедлилось и почти прекратилось. Результаты проведенных в последнее время исследований полной ясности в причины, особенности и следствия аномального сопряжения реки и моря в устье Волги пока не внесли. По этим причинам более детальный анализ гидролого-морфологических процессов в устье Волги за последние 70 лет становится важной научной и даже практической проблемой.

Материалы и методы исследований. В качестве основных материалов использованы данные наблюдений Астраханского областного и Дагестанского республиканского центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды: ежедневные, среднемесячные и среднегодовые отметки уровня воды в Балтийской системе высот (БС) на гидропостах (ГП) в рукавах дельты Волги, на ее устьевом взморье (ГП о. Искусственный) и в море (ГП Махачкала), а также ежедневный расход воды Волги в вершине дельты (ВД). Используются также топографические и навигационные карты, космические снимки дельты Волги и результаты их анализа [1, 2, 4, 11, 18].

При обработке гидрометрических данных применяются стандартные методики, принятые в устьевой гидрологии [6, 12, 15]. Анализ многолетней изменчивости уровня воды велся по графикам, примеры которых представлены на рис. 1. Кроме того, использованы графические и аналитические связи между уровнем

воды на разных ГП. Для оценки вклада стоковой и подпорной составляющих в изменения уровня воды были применены эмпирические зависимости вида

$$H_i = f(Q, H_M). \quad (1)$$

Такие зависимости широко применяются при изучении гидрологических процессов в неприливных устьях рек. В данном случае в семействах кривых вида (1) использованы ежедневные значения уровня воды (H_i) на ГП в рукавах дельты и на устьевом взморье Волги, ежемесячный средний уровень моря (H_M) на ГП Махачкала и ежедневный суммарный расход воды в ВД Волги (ГП Верхнее Лебяжье) (Q_c), равный сумме расхода воды в русле Волги, водотоках Волго-Ахтубинской поймы и пойменном рукаве Ахтуба.

Поскольку выяснилось, что, в отличие от устьев других рек, впадающих в Каспийское море, в устье Волги уровень воды на ее МКД и в море, как правило, не совпадает, а на МКД Волги нет ни одного поста, была разработана специальная методика для расчета неизвестных заранее значений уровня воды на МКД. Учитывая небольшой уклон водной поверхности на участке Волго-Каспийского морского судоходного канала (ВКМСК) между ГП Оля в нижней части рукава Бахтемир и ГП о. Искусственный (отмелая зона устьевое взморье), для расчета применена линейная интерполяция отметок уровня между ГП Оля ($H_{\text{Оля}}$) и о. Искусственный ($H_{\text{Иск}}$). В настоящее время эти ГП находятся на 22,0 км выше по течению от МКД и на 29,2 км мористее МКД соответственно.

Расчет $H_{\text{МКД}}$ выполнен по формуле

$$H_{\text{МКД}} = H_{\text{Оля}} - \Delta H_{\text{Оля/Иск}} \cdot l/51,2, \quad (2)$$

где $\Delta H_{\text{Оля/Иск}}$ — перепад среднегодовых значений уровня воды между постами, равный $H_{\text{Оля}} - H_{\text{Иск}}$; l — расстояние МКД в данном году от ГП Оля в км; 51,2 км — расстояние между обоими постами в км.

Результаты исследований и их обсуждение. Причины аномального сопряжения реки и моря в устье Волги. Неадекватность как многолетних изменений уровня воды в дельте и на устьевом взморье Волги, так и интенсивности выдвигания дельты в море колебаниям уровня Каспия объясняется особыми гидравлическими условиями на устьевом взморье Волги. При уровне моря ниже $-27...-27,5$ м БС дальнейшее понижение уровня моря уже практически не сказывается на уровне воды не только в водотоках дельты, но и в отмелой зоне устьевое взморья (рис. 1, а). Это обусловлено тем, что дно устьевое взморья на обширном пространстве имеет отметки около $-28,0$ м БС (рис. 2), поэтому уровень воды в этой части устьевой области ниже опуститься не может. При отметках уровня моря около $-27,0...-27,5$ м БС гидравлическая связь водотоков дельты и моря разрывается. Большая часть взморья в это время превращается в буферную зону и начинает функционировать как огромный затопленный водослив с широким порогом, через который переливаются волжские воды.

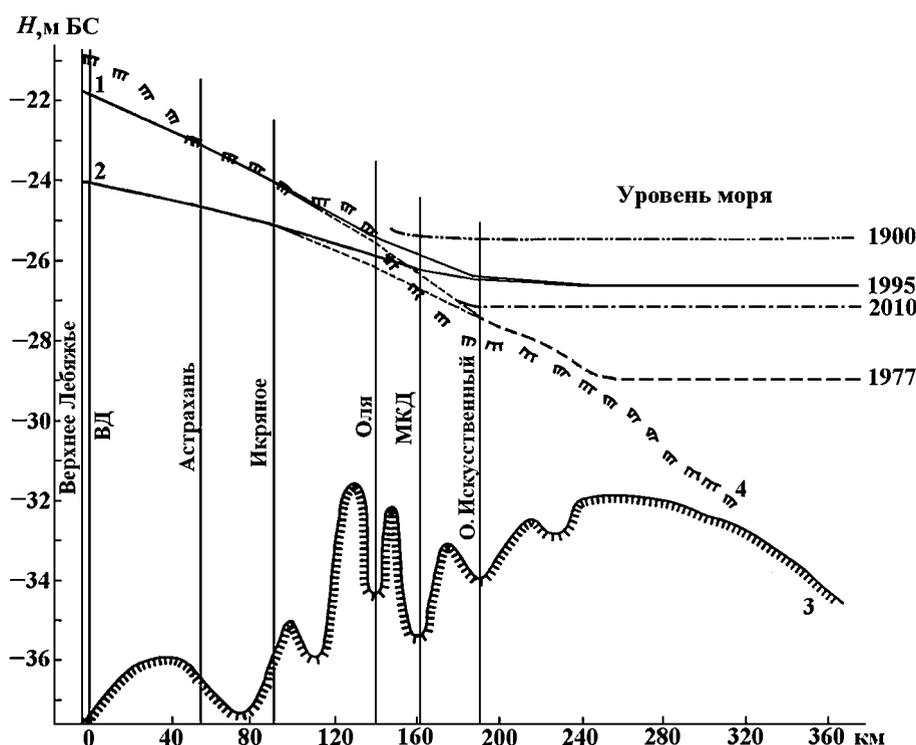


Рис. 2. Продольные профили водной поверхности в половодье (1) и межень (2), дна русла вдоль рукавов Волга и Бахтемир и Волго-Каспийского морского судоходного канала (3), поверхности дельты и дна устьевое взморья вне рукавов и каналов (4) в устьевой области Волги, по [6, 9]

Наличие очень мелководного и широкого устьевое взморья (буферной зоны) — главное отличие устьевой области Волги не только от устьев других рек, впадающих в Каспийское море, но и от большинства устьев рек мира. Дно этого взморья — реликт более ранних периодов дельтообразования в устье Волги; в современном рельефе дна взморья проявились геолого-структурные особенности этой части моря [13, 14, 18, 20] и, возможно, остатки древней дельты, сформировавшейся здесь при более низких значениях уровня моря.

Расчет уровня воды на МКД Волги и анализ его изменчивости. Поскольку как распространение подпора со стороны моря в рукава, так и выдвигание или отступление дельты зависят в устье Волги не от уровня моря, а именно от уровня воды на МКД, его расчеты становятся ключевой проблемой при оценке аномального сопряжения реки и моря.

Расчеты величин $\Delta H_{МКД}$ выполнены по уравнению (2) для тех лет, когда можно было по картам или космическим снимкам определить расстояние l между ГП Оля и МКД. Эти расчеты позволили также определить величины перепада среднегодового уровня между МКД и морем $\Delta H_{МКД/море} = H_{МКД} - H_{м}$.

Результаты расчета показали следующее. Отметки уровня на МКД и в море (за пределами устьевой области Волги), особенно при $H_{м} < -27,0$ м БС, сильно отличаются (в отличие от устьев других рек Каспийского региона). Расчеты перепада уровней $\Delta H_{МКД/море}$ дали неожиданные результаты (рис. 3). Этот перепад начал быстро возрастать с середины 1930-х гг. и достиг

максимума в годы самого низкого положения уровня моря в XX в.: 2,25 м в 1977 г. ($H_{м} = -29,01$ м БС) и 2,44 м в 1978 г. ($H_{м} = -28,95$ м БС). Эти данные относятся лишь к среднегодовым величинам перепада уровня. При сезонных и сгонных понижениях уровня моря и повышенном расходе воды Волги в период половодья в эти же годы величины $\Delta H_{МКД/море}$ могли быть еще больше. После 1978 г. по мере повышения уровня моря перепад уровня быстро уменьшился до 0,70 м в 1995 г. (год наивысшего уровня моря, равного $-26,66$ м БС). Позже величина перепада уровня между МКД и морем в условиях нового небольшого понижения уровня моря установилась на значениях 0,82—0,89 м.

Величины перепада уровня между МКД и морем $\Delta H_{МКД/море}$ и уровня на МКД тесно связаны с отметкой уровня моря $H_{м}$. Зависимость $\Delta H_{МКД/море}$ от $H_{м}$ аппроксимирована пригодным для практического использования уравнением

$$\Delta H_{МКД/море} = 0,089H_{м}^2 + 4,220H_{м} + 49,859 \quad (3)$$

с очень высокой степенью достоверности аппроксимации ($R^2 = 0,976$). В форме, удобной для использования, результаты расчета зависимостей среднегодовых величин $\Delta H_{МКД/море}$ и $H_{МКД}$ от уровня моря $H_{м}$ представлены в табл. 1.

К сожалению, пока не вполне ясен вопрос о том, в каком районе устьевое взморья сосредоточена основная часть перепада уровня между МКД Волги и морем. Согласно данным работы [20], это место находится в районе морского устьевое бара на границе между отмелой и приглубой зонами устьевое взмо-

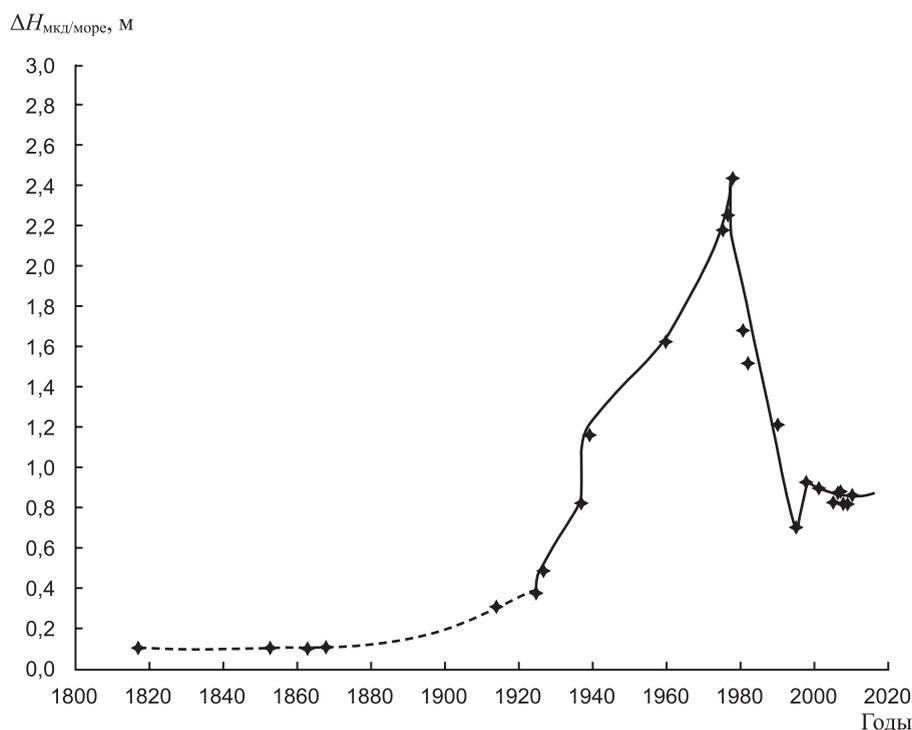


Рис. 3. Многолетние изменения перепада уровня на участке МКД Волги — море ($\Delta H_{\text{МКД/море}}$)

Таблица 1

Величины перепада уровня воды на участке МКД Волги — море ($\Delta H_{\text{МКД/море}}$) и уровня воды на МКД ($H_{\text{МКД}}$) в зависимости от отметок уровня моря на ГП Махачкала ($H_{\text{м}}$)

Уровень моря, $H_{\text{м}}$, м БС	−29,00	−28,50	−28,00	−27,50	−27,00	−26,50	−26,00	−25,50	−25,00
Перепад уровня $\Delta H_{\text{МКД/море}}$, м	2,33	1,88	1,48	1,12	0,80	0,53	0,30	0,12	0,02
Уровень на МКД $H_{\text{МКД}}$, м БС	−26,67	−26,62	−26,52	−26,38	−26,20	−25,97	−25,70	−25,38	−24,98

рья (отсутствие ГП на островах в этих районах взморья не позволяет уточнить этот вопрос). Вполне логичными следует рассматривать предположения, высказанные в работе [7], о том, что по мере повышения уровня Каспия район основного перепада уровня смещается в сторону МКД, это следует и из рис. 2.

Гидрологические следствия аномального сопряжения реки и моря в устье Волги. Главное гидрологическое проявление такой аномальности — неадекватность изменения уровня воды в отмелой зоне устьевого взморья и в дельте колебаниям уровня моря. Основные гидрологические следствия такой неадекватности следующие:

1) относительная стабильность среднегодового уровня воды на нижних участках рукавов дельты, на МКД и в придельтовой части устьевого взморья при уровне моря ниже отметки −27,0 м БС (рис. 1, а);

2) особенности реакции уровня воды в устье Волги на понижение и повышение уровня моря с конца XIX по начало XXI в. При высоком стоянии уровня Каспия в конце XIX — начале XX в. уровень воды у с. Оля, на МКД и в придельтовой части взморья был также высоким (рис. 1, а) и выше уровня моря всего на 0,1–0,4 м. С 1927 по 1945 г. уровень моря резко

снизился почти на 2 м, что (как и в устьях других рек, впадающих в Каспийское море) привело к заметному снижению уровня в районе МКД и на прилегающих участках рукавов дельты Волги и прибрежной зоны (рис. 1, а). Это снижение уровней сопровождалось (как и в устьях Урала, Сулака и Куры [5, 12]) эрозией русел. Однако после 1950 г., когда стало проявляться влияние буферной зоны, снижение уровня в рассматриваемой части устья Волги замедлилось, а затем и прекратилось (рис. 1, а), несмотря на продолжающееся падение уровня Каспия. Это отличало гидрологический режим в устье Волги от такового в устьях других рек Каспийского региона (рис. 1).

Начавшийся в 1978 г. резкий подъем уровня моря распространялся сначала по взморью, затопляя его, а потом, достигнув МКД, в низовья рукавов уже не так быстро, как изменялся уровень воды в 1930-е гг. По данным, уточненным в [6, 10], подпор со стороны Каспия, возникший в результате повышения его уровня в 1978–1995 гг. до наивысшей отметки −26,66 м БС, проявился довольно слабо, с запозданием во времени, и распространился в дельту Волги на относительно небольшое расстояние (табл. 2). Наибольшая

дальность распространения подпора со стороны моря (от МКД) при небольшом расходе воды составила: вдоль рукавов Бахтемир около 80, Кизань (Камызяк) 60, Большая Болда 40, Бузан 60 км. В глубоком рукаве Бахтемир, имеющем в устье искусственно углубленный канал, условия для распространения в дельту подпора были наиболее благоприятными. Однако подпор и в этот рукав распространился лишь немного выше ГП Икряное и не дошел до ГП Астрахань. Сведения о распространении подпора в рукав Бахтемир при разных расходах воды Волги приведены в табл. 3. Несмотря на очень небольшой уклон водной поверхности в дельте Волги дальность распространения подпора оказалась в этом объекте намного меньше, чем в дельтах и на устьевых участках Куры (>130 км) и Урала (>230 км) [10]. Причина этого заключается в небольшом повышении уровня воды на МКД Волги (~0,6 м);

Таблица 2

Годы начала повышения и величины приращения уровня воды на некоторых постах на взморье и в дельте Волги в 1978—1995 г. при разном суммарном расходе воды реки (Q_c) в вершине дельты на подъеме половодья, по [6]

$Q_c, \text{ м}^3/\text{с}$	ГП	Год начала заметного повышения уровня воды на посту	Приращение уровня воды к 1995 г., м
8000	О. Искусственный	1981	1,0
	Оля	1988	0,4
	Икряное	1993	<0,1
	Караульное	1993	0,1
	Камызяк	1993	<0,1
	Зеленга	1990	0,2—0,3
	Большой Могой	1992	0,2
	Володарский	1992	0,1—0,2
10 000	О. Искусственный	1982	0,8
	Оля	1989	0,3
	Икряное	1994	<0,1
	Зеленга	1992	0,2
	Большой Могой	1993	0,1
	Володарский	1994	<0,1
16 000	О. Искусственный	1983	0,7
	Оля	1990	0,2
	Зеленга	1993	0,1
	Большой Могой	1993	<0,1
20 000	О. Искусственный	1983	0,6
	Оля	1992	<0,1

Таблица 3

Дальность распространения подпора (L_p), вызванного повышением уровня Каспийского моря на 2,35 м в 1978—1995 гг., в рукаве Бахтемир в дельте Волги на подъеме половодья

$Q_c, \text{ м}^3/\text{с}$	Подъем уровня воды на			$L_p, \text{ км от МКД}$
	ГП о. Искусственный, $\Delta H_{\text{Иск}}, \text{ м}$	МКД, $\Delta H_{\text{МКД}}, \text{ м}$	ГП Оля, $\Delta H_{\text{Оля}}, \text{ м}$	
8000	1,0	0,6	0,4	80
10 000	0,8	0,5	0,3	60
16 000	0,7	0,4	0,2	40—50
20 000	0,2	0,14	0,1	<20

3) стоково-подпорные изменения уровня воды. Важное значение для устья Волги имеет анализ совместного влияния изменения стока Волги и уровня Каспия на уровень воды на постах и расчет этих стоково-подпорных изменений уровня. Как и во всех непреливных устьях рек, ежедневные значения уровня воды на отдельных постах H_i можно рассчитать с помощью эмпирических связей вида (1). Для устья Волги такие связи, отражающие гидрологические условия в середине XX — начале XXI в., получены в работе [6]. В качестве примера для главного рукава дельты Волги (Волга—Бахтемир—ВКМСК) такие графики в схематическом виде приведены на рис. 4. Они представляют собой семейство кривых $Q = f(H)$, а точнее $H = \varphi(Q)$, при разных значениях уровня моря ΔH_m (ГП Махачкала). Анализ полученных результатов показал, что значительного многолетнего изменения уровней воды на постах в устье Волги не произошло;

4) отсутствие заметного затопления дельты Волги в период повышения уровня моря в 1978—1995 гг. Подъем уровня моря практически не вызвал затопления приморской зоны дельты. Надежные данные о возможном затоплении суши, к сожалению, отсутствуют. Имеются сведения о небольших площадях затопления части дельты [1, 16, 19], а по данным некоторых других исследований [10, 11, 13, 18], затопление суши вблизи МКД вообще не произошло. В работах [11, 18] отмечены факты лишь полного или частичного затопления островов на взморье (например, о. Чистая Банка, о-ва Барские и др.). Упомянутые процессы в устье Волги разительно отличаются от крупномасштабного затопления дельт Урала, Сулака и Куры в тот же период повышения уровня Каспия. Площадь перечисленных дельт уменьшилась на 30—50% [10].

Морфологические следствия аномального сопряжения реки и моря в устье Волги. К их числу относятся следующие особенности морфологии современной устьевой области Волги:

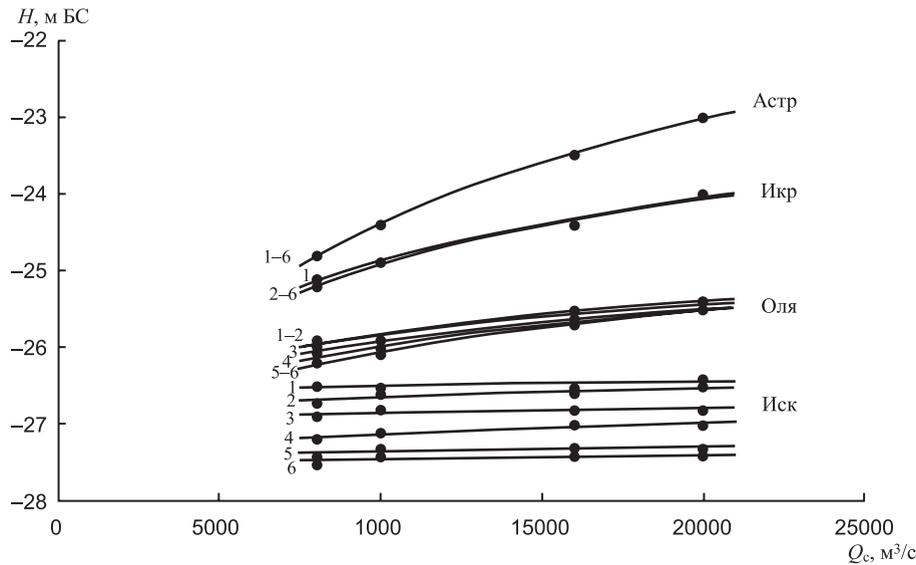


Рис. 4. Зависимость уровня воды на постах Астрахань (Астр), Икряное (Икр), Оля (Оля), о. Искусственный (Иск) от суммарного расхода воды Волги (ГП Верхнее Лебяжье) и фонового уровня (м БС) Каспийского моря (ГП Махачкала): 1 — -26,7; 2 — -27,0; 3 — -27,5; 4 — -28,0; 5 — -28,5; 6 — -29,0, по [6]

1) относительная стабильность МКД в последние полвека. Вследствие стабилизации уровня воды на МКД, о чем говорилось выше, в 1950—1960-х гг. практически прекратились и пространственные смещения МКД Волги [6, 8—10, 13, 14, 20]. После 1960 г. не произошло ни быстрого пассивного выдвигания дельты в море, которое наблюдалось с середины XIX в. по 1940-е гг. [1, 2—4, 19], ни заметного ее отступления;

2) исключительная многорукавность дельты Волги. При исследованиях дельты Волги всегда отмечалась ее большая многорукавность. Точно рассчитать число водотоков, выходящих на МКД Волги, невозможно. Приближенные оценки показали, что в 1930 г. на устьевое взморье впадало около 500 водотоков, а после снижения уровня моря в 1930-х гг. их число сократилось до 230 [2]. В 1960 г. число таких водотоков составило около 800, а в 1980 г. — 1000 [12, 13, 20]. В настоящее время на МКД Волги выходит приблизительно столько же водотоков. На земном шаре нет ни одной крупной дельты, которая по числу рукавов приближалась бы к дельте Волги. С дельтой Волги нельзя сравнить даже такие многорукавные дельты, как дельты Лены, Ганга и Брахмапутры, Нигера, Ориноко и др. Причины исключительной многорукавности дельты Волги — очень мелководное взморье, защищенность МКД от воздействия волнения и ветровых течений мелководьем и зарослями тростника, расчлененность отмелой зоны взморья судоходными и рыбоходными каналами и отвалами грунта по их бровкам, отсутствие приливов, небольшой сток наносов реки;

3) слабые современные вертикальные деформации в рукавах, связанные с изменениями уровня моря. В противоположность дельтам Урала, Сулака и Куры, где значительные вертикальные русловые деформации были обусловлены прежде всего либо повышением, либо понижением уровня Каспия [5, 8, 10, 12], в дельте

Волги начиная с 1940-х гг. русловые процессы в рукавах с небольшими колебаниями уровня воды на МКД и на ГП в дельте, о чем говорилось выше, связаны были мало [12, 16, 20]. Существенные изменения глубины в рукавах дельты были связаны в основном либо со смещением крупных форм руслового рельефа (перекатов, гряд разного размера), либо с перераспределением стока между рукавами и сопутствующими процессами размыва одних рукавов и заиления других [6, 11, 12, 16, 20]. Лишь в низовьях крупных рукавов (например, Бахтемира) отмечены затухающие процессы эрозии русла как отдаленная запоздавшая реакция на падение уровня моря в 1930-х гг.

Экологические и экономические последствия аномального сопряжения реки и моря в устье Волги. При низком уровне Каспийского моря (ниже -27 м БС) в режиме отмелой зоны устьевое взморье Волги все большую роль играет водная растительность. После уменьшения глубины в этой зоне <1,5—2 м создались благоприятные условия для развития тростника и другой растительности. По данным Н.А. Скриптунова [12, 20], до 1930-х гг. водная растительность занимала на взморье Волги лишь узкую полосу вдоль МКД шириной 0,5—3 км. В 1940—1950 гг. (после резкого снижения уровня моря) сильно заросла придельтовая култучная полоса взморья вдоль МКД. Дальнейшее обмеление взморья привело к значительному увеличению площади зарослей. В начале 1960-х гг. растительность заняла 20% площади отмелой зоны взморья, в 1970 г. она стала занимать уже 30% этой зоны, в 1978 г. — 62%, в 1978 г. — 87%. Эта доля сохранялась, несмотря на начавшееся повышение уровня моря, до середины 1980-х гг. Растительный покров на взморье в 1970—1980 гг. превратился в естественный барьер шириной 30—50 км, который стал препятствием для стоковых и ветровых течений — своеобразным фильтром, задер-

живающим выносимые волжскими водами растворенные вещества, включая биогенные [12, 14, 20].

Дальнейшему развитию растительности способствовали отложение взвесей и накопление биогенных веществ, а также закрепление растений на отвалах грунта вдоль судоходных и рыбоходных каналов. Повышение уровня моря и увеличение глубины в отмелой зоне взморья с 0,3–0,5 до 1,5–2,5 м отрицательно сказалось на развитии растительности. К 1996 г. площадь, занятая растительностью в отмелой зоне взморья, сократилась до 70–75% [20]. Современное медленное понижение уровня в море и отмелой зоне взморья, по оценкам И.А. Лабутиной, выполненным с помощью анализа космических снимков, вновь привело к расширению ареала, занятого водной растительностью [11, 18].

Мелководная и сильно заросшая надводной, внутриводной и донной растительностью буферная зона на устьевом взморье сильно влияет на весь комплекс экологических условий в устье Волги. При низком уровне моря влияние этой зоны на ихтиофауну — главный биологический ресурс устья Волги — становится крайне неблагоприятным [12, 14, 20]. Во-первых, ухудшаются условия воспроизводства рыбных ресурсов не только на взморье, но и во всем Северном Каспии. Сокращается кормовая база для рыб ценных пород. Обмеление приводит к уменьшению площади зоны смещения речных и морских вод в приглубой зоне взморья — наиболее биопродуктивном районе Северного Каспия, мест преднерестовой концентрации рыб — производителей и адаптации молоди к изменению солености окружающих вод [14]. Во-вторых, заросшая мелководная буферная зона существенно затрудняет миграцию проходных и полупроходных взрослых особей рыб на нерест в дельту и в Нижнюю Волгу. Это требует как сооружения каналов-рыбоходов, так и их периодической расчистки.

Существование буферной зоны в устье Волги оказывает, таким образом, существенное влияние и на экономику этого объекта и всего Северного Каспия. Три отрасли хозяйства зависят от гидрологического, морфологического и экологического состояния района сопряжения реки и моря в устье Волги. Это прежде всего рыбное хозяйство — наиболее уязвимая к условиям природной среды отрасль экономики, а кроме того, транзитный водный транспорт и нефтегазовый комплекс на шельфе Северного Каспия, которые зависят от изменения глубины на взморье и связанных с ними течений и волнения. Поэтому рациональное использование природных ресурсов взморья Волги требует не только проведения комплекса инженерных и мелиоративных работ (углубления и расчистки судоходных и рыбоходных каналов, создания прокозов через заросли на взморье, искусственного перераспределения стока между рукавами в приморской зоне дельты и др.), но и усовершенствования системы постоянно действующего гидролого-морфологиче-

ского и гидролого-экологического мониторинга в устьевой области Волги.

Выводы:

— характерная особенность современной устьевой области Волги — наличие на устьевом взморье чрезвычайно отмелой буферной зоны со средней отметкой поверхности около –28,0 м БС. При уровне Каспия ниже –27,0 м БС гидравлическая связь потоков дельты Волги и моря нарушается, отмелое взморье превращается в так называемую буферную зону, блокирующую воздействие морских факторов — многолетних, сезонных и сгонно-нагонных колебаний уровня моря, а также ветровых течений и волнения — на дельту;

— наиболее характерная черта такого аномального сопряжения реки и моря в устье Волги — несовпадение при низком фоновом уровне Каспия отметок уровня на МКД Волги и в открытом море. Эта особенность устья Волги отличает его как от устьев других рек, впадающих в Каспийское море, так и от большинства неприливых устьев рек мира;

— к числу основных гидрологических следствий аномального сопряжения реки и моря в устье Волги относятся: относительная стабильность уровня воды на МКД Волги при уровне моря ниже –27,0 м БС; неожиданно небольшое (в отличие от устьев других рек, впадающих в Каспий) распространение подпора в дельту Волги во время подъема уровня моря в 1978–1995 гг.; слабое воздействие моря на заиливание дельты и перераспределение стока по ее рукавам;

— главные морфологические следствия аномального сопряжения реки и моря в устье Волги — слабые смещения МКД (в отличие от устьев других рек региона) при снижении уровня моря в 1950–1980-х гг. и резком повышении уровня в 1978–1995 гг.; чрезвычайная многорукавность дельты; слабая связь современных необратимых русловых деформаций в рукавах дельты с колебаниями уровня моря;

— аномальное сопряжение реки и моря в устье Волги имеет экологические и экономические следствия: очень сильная зарастаемость мелководного взморья, ухудшающая условия обитания и миграции ихтиофауны; мелководность взморья и заносимость каналов при низком уровне моря, что затрудняет транзитное судоходство;

— исследования и сравнение устья Волги с неприливыми устьями других рек России и мира свидетельствуют о том, что этот объект и процессы, в нем происходящие, нельзя признать типичными для других устьевых объектов, как полагали раньше и иногда считают сейчас, и аналогами при оценке возможных изменений строения и режима устьев рек в результате прогнозируемого повышения уровня Мирового океана и связанных с ним морей в XXI в. Такими аналогами можно считать процессы, происходившие в 1978–1995 гг. в устьях Сулака, Урала и Куры (для устьев рек с небольшим стоком наносов), а также Терка (для устьев рек с большим стоком наносов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеевский Н.И., Айбулатов Д.Н.* Динамика гидрографической сети и морского края дельты Волги с 1800 по 2010 г. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2011. № 5. С. 96—102.
2. *Байдин С.С.* Сток и уровни дельты Волги. М.: Гидрометеоздат, 1962. 337 с.
3. *Байдин С.С., Линберг Ф.Н., Самойлов И.В.* Гидрология дельты Волги. Л.: Гидрометеоздат, 1956. 331 с.
4. *Валединский В.В., Аполлов Б.А.* Дельта реки Волги (по данным изысканий 1919—1925 гг.) // Тр. Отдела и управления внутренних водных путей. Тифлис, 1928. Т. 1, вып. 5. 661 с.
5. Гидрология устьев рек Терека и Сулака / Под ред. А.Н. Косарева, В.Н. Михайлова. М.: Наука, 1993. 160 с.
6. *Исупова М.В.* Многолетние изменения уровней воды в устьевой области Волги и их зависимость от колебаний уровня Каспийского моря // Водные ресурсы. 2008. Т. 35, № 6. С. 643—662.
7. *Кортаев В.Н., Иванов В.В.* Динамика зоны сопряжения рукава Бахтемир с устьевым взморьем при колебаниях уровня моря // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1998. № 1. С. 63—67.
8. *Михайлов В.Н.* Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС, 1997. 413 с.
9. *Михайлов В.Н., Кортаев В.Н., Полонский В.Ф.* и др. Гидролого-морфологические процессы в устьевой области Волги и их изменение под влиянием колебаний уровня Каспийского моря // Геоморфология. 1993. № 4. С. 97—107.
10. *Михайлов В.Н., Магрицкий Д.В., Кравцова В.И.* и др. Воздействие изменений уровня Каспийского моря и водохозяйственных мероприятий на гидрологический режим и морфологию устьев рек // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2011. № 2. С. 85—95.
11. Нижняя Волга: геоморфология, палеогеография и русловая морфодинамика / Под ред. Г.И. Рычагова, В.Н. Кортаева. М.: ГЕОС, 2002. 242 с.
12. *Полонский В.Ф., Лупачев Ю.В., Скриптунов Н.А.* Гидролого-морфологические процессы в устьях рек и методы их расчета (прогноза). СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 383 с.
13. *Рогов М.М.* Некоторые особенности развития дельты Волги и ее гидрографической сети // Тр. ГОИН. 1986. Вып. 179. С. 56—80.
14. *Рогов М.М., Скриптунов Н.А.* Некоторые гидролого-морфологические особенности устьевой области Волги и их влияние на пути рационального использования водных ресурсов региона // Тр. ГОИН. 1984. Вып. 172. С. 7—19.
15. Руководство по гидрологическому исследованию морских устьев рек. М.: Гидрометеоздат, 1965. 339 с.
16. Русловые процессы в дельте Волги / Под ред. Н.И. Алексеевского. М., 1997. 165 с.
17. *Рычагов Г.И., Кортаев В.Н.* Геоморфология и история формирования дельты Волги // Теоретические проблемы современной геоморфологии: Мат-лы XXXI пленума Геоморфологической комиссии РАН. Астрахань: Изд-во Астраханского госуниверситета, 2011. С. 103—108.
18. *Рычагов Г.И., Кортаев В.Н., Лабутина И.А.* Геоморфология дельты Волги и динамика ее морского края // XXV Пленарное межвуз. координ. совещ. по проблеме эрозийных, русловых и устьевых процессов: Доклады и сообщения. Астрахань: Изд-во Астраханского ун-та, 2010. С. 29—37.
19. *Самойлов И.В.* Устья рек. М.: Географгиз, 1952. 526 с.
20. Устьевая область Волги: гидролого-морфологические процессы, режим загрязняющих веществ и влияние колебаний уровня Каспийского моря / Под ред. В.Ф. Полонского, В.Н. Михайлова, С.В. Кирьянова. М.: ГЕОС, 1998. 278 с.

Поступила в редакцию
01.08.2013

V.N. Mikhailov, M.V. Isupova

**HYDROLOGICAL, MORPHOLOGICAL AND ECOLOGICAL EFFECTS
AT THE VOLGA RIVER-CASPIAN SEA CONNECTION**

Specific features of river-sea connection in the Volga River mouth area are discussed. It is shown that at the Caspian Sea level below -27 m BS hydraulic connection between delta watercourses and the sea is disrupted, and the further sea level fall has no pronounced impact on the hydrological processes in the delta area. Such abnormal situation in the Volga River mouth area radically differs from other river mouths in Russia and in the world. It could be explained by the presence of a vast shallow buffer zone within the Volga River mouth nearshore. Causes of abnormal hydraulic conditions in the Volga River mouth are revealed; unknown water levels at the delta coastline are calculated, as well as level differences between the delta coastline and the sea. River flow and backwater components were identified for the water level oscillations in delta channels and the nearshore shallow zone during the recent rise of the Caspian Sea level. Principal hydrological, morphological and ecological effects of the abnormal river-sea connection in the Volga River mouth area are described.

Key words: Volga River, Caspian Sea, mouth, delta, mouth nearshore area, fluctuations of water level.