

Российская Федерация

**Труды**

Академии проблем водохозяйственных наук

Выпуск 7

**РУСЛОВЕДЕНИЕ  
И ГИДРОЭКОЛОГИЯ**

Москва 2001

## ВОДНОГРАНСПОРТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УСТЬЕВ РЕК\*

Реки и связанные с ними водные системы издавна служили путями сообщения. Многовековая история развития и эксплуатации внутренних водных путей и совершенствование габаритов судовых ходов по мере роста грузооборота, осадки судов, появление судов класса "река-море". Проблема воднотранспортного использования рек всегда была связана с проблемой поддержания гарантированных габаритов судового хода. До настоящего времени эта проблема несмотря на современный уровень технических средств дноуглубления и ограждения судовых ходов остается достаточно острой.

На устьевых участках крупных рек судоходство усложняется мелководностью дельтовых водотоков в зоне сопряжения их с приемным водосбором, где в результате резкого снижения транспортирующей способности речного потока формируются подводные конусы выноса речного аллювия – устьевые бары. (Путевые работы по поддержанию и совершенствованию гарантированных габаритных размеров судового хода (глубины, ширины, радиуса закрутления) в устьях рек помимо общизвестных проблем по обеспечению безопасного плавания на свободных равнинных реках значительно усложняется в зоне непредсказуемого контакта реки и моря (озера, водоканализации) проявлением специфических устьевых процессов.

Прежде всего это относится к особенностям распределения стока воды и наносов по дельтовым рукавам, когда начиная от вершин дельты к ее морскому краю происходит рассредоточение речного стока в соответствии с гидравлико-морфометрическими характеристиками водотоков. Поэтому основная задача, которая возникает при управлении русел многорукавных речных дельт, обычно заключается в выборе рукава, обеспечивающего необходимые габариты судового хода в течение всей навигации. История изучения и опыт освоения устьевых областей рек показывает, что от правильности выбора дельтовых рукавов в качестве судоходных и способов управления их судоходных качеств во многом зависели успех и эффективность путевых работ.

Следующей не менее важной и трудно решаемой задачей является проблема преодоления флотом мелководных акваторий устьевых баров. Большое разнообразие форм сопряжения дельтовых водотоков с приспособлением (запив, лагуна, лиман, эстуарий, открытое взморье), различие в рельфе для устьевого взморья (отмое или приплубое), роли речных и

морских факторов (сток воды и наносов, энергетическая активность моря, вдольбереговые течения и потоки наносов, приливы и нагоны), – все это определяет большую дифференциацию в приемах и способах управления морских устьев рек от простого выбора руслака и его дноуглубления до сооружения струенаправляющих дамб, отстойников и шлюзов.

Многолетняя практика дноуглубительных работ выработала вполне определенный набор способов улучшения судоходных условий на реках и в устьях рек, которые широко применяются во всем мире. Это – судоходные прорези (эксплуатационные и капитальные), каналы (стремянющие и полхолмые), затрудлы, ламбы (струенаправляющие, волостеснителевые и отраждающие), береговые укрепления (шпунтовые и фашинные стены, набережные, запоры и шпоры покрытия), шлюзы и отстойники. Способы регулирования русла на придельных участках речной долины, в привершинной части дельты и в крупных дельтовых рукавах до верхней границы приморской зоны мало чем отличаются от подобных работ в русле равнинных рек. В приморской зоне дельт, на акватории устьевых баров, в заливах и эстuarиях определенную специфику при выборе состава землечерпалательных и выправительных мероприятий для повышения гарантированных глубин и уменьшения заносимости прорезей и каналов вносят приливно-отливные и сплошно-нагонные колебания уровня, ветровое волнение и вдольбереговые течения, а также процессы, связанные с формированием галоклина в зоне контакта пресных речных и соленых морских вод (Грибанин и др., 1986; Легтирев, 1987; Маккавеев, 1949; Чалов, 1979). Оптимальный комплекс должен складываться из следующего:

1. В дельтах – выбор судоходного дельтового руслака, разработка прорезей на лимитирующих перекатах, регулирование распределения стока воды и наносов по дельтовым рукавам или сооружение соединительного канала со шлюзом в реке и аэропортом в море.

2. На устьевых барах – выбор баровой бороздины направления соединительного канала, места отвалов грунта и расположения прорезей-ловушек для вдольбереговых наносов на внешней границе взморья и транзитных речных наносов в зоне сопряжения русловой бороздины с каналом, землечерпание вдоль баровой бороздины.

3. В заливах и эстуариях – выбор оптимальной трассы судового хода с учетом рельфа дна и гидродинамики акватории, разработка стремяночных прорезей, сооружение отрайдерных и струенаправляющих дамб, wybór мест отвалов грунта (Михайлов, Коротаев, 1995, 1996).

### Опыт улучшения судоходных условий в устьях крупных рек севера

#### Сибири

Для рек севера Сибири, где строительство сложных гидroteхнических сооружений мало реально из-за высокой стоимости капитальных работ в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов, используются наибо-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 98-05-03907 и 00-15-98512).

лее простые и сравнимо дешевые способы улучшения судоходных условий. Опыт работ Географического факультета МГУ в устьях рек севера Сибири за период 1969-1977 гг. показал, что при научно обоснованном и рациональном использовании только землечерпательных работ можно добиваться желаемой эффективности в улучшении условий судоходства (Коротаев, Чапов, 1978).

Наиболее сложные навигационно-транспортные условия складываются сейчас в южной части Тазовской губы, являющейся естественным коллектором впадающих здесь многочисленных крупных и малых рек (Таз, Пур, Мессо-Яха, Юрхарово, Монго-Юрией). Вершинная часть губы длиной около 100 км представляет собой наиболее мелководную часть Тазовского эстуария, где лимитирующими судоходство участками являются мели Юрхаровская (глубина 2,8-2,9 м), Юрхаровская (глубина 2,2-2,4 м), Ниромесалинская (глубина 1,6-1,8 м) и устьевые бары Пуринский (глубина 1,8-2 м) и Тазовский (глубина 1,8-2 м). Существование этих мелководных участков ограничивает осадку судов, которые должны следовать по Обь-Тазовской водной магистрали и заходить в реки Таз и Пур. Усложняют судоходную обстановку периодические понижения уровня на 1,5 м при стоянках южных ветрах.

Судовой ход в его современном состоянии пропложен по естественным углублениям дна Тазовской губы, что нередко влечет за собой значительное увеличение его протяженности и ставит суда в условия, крайне неблагоприятные в волновом отношении. В частности, на Юрхаровском участке судового ходу прижимается к левому (южному) берегу губы, отгиба мелководье и расположаясь в зоне максимальных высот ветровых волн северного румба высота волн до 1,5 м при скоростях ветра 10-20 м/с).

Коренное улучшение судоходных условий в южной части Тазовской губы заключается в создании единого глубоководного пути с глубинами не менее 2,5 м. На Юрхаровском участке рекомендовано выполнить прорезь, соединяющую Находкинский жолоб с русиной ложбиной, вытянутой вдоль западного берега полуострова Нахodka. Эта работа позволила вдвое сократить протяженность судового хода и расположить его в менее активной волновой зоне. Объем работ при углублении до 2,5 м и ширине прорези 100 м составляет около 450 тыс. м<sup>3</sup> (табл. 1). Отвал грунта рекомендован на правую кромку прорези, чтобы избежать местной заносимости за счет перечленения материала свалки во время летних штормов. По данным зонирования мерзлые грунты по трассе дноуглубительных работ не обнаружены до глубины 2 м от поверхности дна. Вариант перевода судового хода на Юрхаровской отмели под Находкой (северный берег) оказался удачным, поскольку в дальнейшем из-за естественного размыя мелководной песчаной перекички и углубления ложбины создались условия для проводки судов новым фарватером без землечерпательных работ при уровнях близких к проектному. Выработанная в 1977 г контролльная прорезь сохранила

сялась в течение семи лет, имея четкие бровки, ширину не менее 150-200 м и глубины от 2,7 до 3 м.

Таблица 1. Объемы землечерпания в южной части Тазовской губы

Проектная глубина, см	Габариты прорези			Средняя толщина снимаемого слоя, м	Объем работ, м <sup>3</sup>
	ширина, м	длина, м	площадь, м <sup>2</sup>		
220 вост	60	1475	88500	1.01	89550
220 зап	60	4295	257700	0.95	246430
250 вост	100	4150	425500	1.10	468500
250 зап	100	8620	862000	1.10	943780
200	60	10075	604500	1.10	676125
250	100	15175	1517500	1.40	2133825
Тазовский бар					
200	60	3100	186000	1.30	241800
250	100	6825	682500	1.55	1062875

На участке южной части губы в районе Тазовского бара и Ниромесалинской отмели коренное улучшение судоходного хода может быть достигнуто только сооружением канала, соединяющего участки губы, ограниченные 3-х метровой изобатой, и отмели в губе. По трассе канала рекомендовалось выполнение двух стрямляющих прорезей до глубины 2,5 м от проектного уровня, что приводило к некоторому сокращению длины судового хода, который в новом положении располагался вдоль общего направления залива без перевалов от одного берега к другому. В результате гарантировался заход судов из губы в устье Таза в условиях стоянного понижения уровня в межень на 0,5 м.

Проблема улучшения условий плавания в южной части Тазовской губы неразрывно связана с условиями прохода судов через устьевые бары рек Таза и Пура. На Тазовском баре затруднительны для судоходства участки в районе отмели Сухая Коса и в зоне сопряжения дельтовой протоки Нуу-Яха с баровой бороздой, где гарантированная глубина 2 м не поддерживается на расстоянии 3,5 км и наблюдается очень сложный рельеф дна, созданный за счет аккумуляции наносов от впадающих здесь многочисленных небольших рукавов дельты р. Таза и выносов протоки Щучьей р. Мессо-Яхи. Поперечные устьевые косы, мели и осередки сильно искривляют и сужают бороздину Тазовского бара. Рекомендовалось более тщательное прораспределение судового хода и обставление его кромок от устья протоки Нуу-Яха до

внешнего края бара, чтобы избежать посадок судов на мели, а также разработка прорези вдоль баровой бороздины и в устье протоки Няу-Яка.

На устьевом баре р.Пура (Старопурскому и Безымянному) рекомендуется сохранить ныне существующее положение судового хода в борозде не устьевого бара протоки Ланга-Ям (Безымянной), которая в настоящее время является развивающейся в системе дельтовых рукавов р.Пура. Меньшая заносимость бара Безымянного по сравнению со Старопурским и заметное его самоуглубление создают благоприятные условия для создания здесь устойчивой трассы судового хода. Современное состояние судоходных условий на перекатах и устьевом баре протоки Ланга-Ям (0 – 20 км судового хода по лотманской карте 1981 г) не требует выполнения дноуглубительных работ в близкой зоне несколько лет. Минимальные глубины при проектном уровне +600 см по г.п. Находка составляют не менее 2,8-3 м.

Сложившаяся благоприятная обстановка для плавания является ре-

зультатом интенсивного землечерпания в объемах до 150 тыс. $m^3$  в год с 1969 по 1980 гг. и следствием начавшегося с 1982 г маловодного периода, в течение которого объем половодного стока не превышал 12 км $^3$ . Учитывая в

далльшем возможность повторения многоводного цикла, для сохранения тенденции концентрации стока в судоходном рукаве Ланга-Ям рекомендовано устройство полузаупруд в истоках проток Малый Пур, Старый (Большой) Пур и безымянных между островами Тобо-Мо и Пай-Мо, Хэйбиз-Мо и Аро-Мо, Тобо-Мо и Елик (Коротаев и др., 1976, 1988).

При управлении многорукавных дельт большое значение имеет выбор соответствующего рувера для использования его в качестве судоходного. В дельтах заполнения заливов для рек с небольшой средней мутностью вод (не более 50 г/м $^3$ ) наиболее целесообразным является использование наиболее многоводных и развивающихся рукавов. Характерным примером в этом отношении может быть *дельта Енисея*, где наблюдается медленное перераспределение стока воды из Охотско-Дерябинской системы рукавов в систему водотоков восточной части дельты. Регулирование стока Енисея водохранителями в верхней части бассейна реки привело к существенному сокращению среднемноголетнего стока взвешенных наносов с 13 до 4 млн. тонн в год в створе Игарки. Последствия этого сказались в изменении тенденции развития некоторых дельтовых рукавов: заметно активизировалось протоки Чаяшина и Лопатинская и наметилась тенденция к отмиранию протоки Судной в устье Большого Енисея. Известный для судоводителей Турудинский перекат в настоящее время находится в уставших, способствующих росту отметок дна и требует ежегодного дноуглубления. Согласно требованиям на этом участке должны поддерживаться глубины не менее 10,4 м, однако при естественном режиме прохождение переката судами было связано с большими затруднениями из-за периодического отложения наносов на этом участке русла Енисея, связанного с колебаниями волности реки.

Установлено, что многолетние тенденции в развитии Турудинского переката обусловлены чередованием многоводных и маловодных циклов:

1958-1962 гг. – расходы были выше нормы; 1976-1977 гг. – средние расходы воды в половодье были ниже среднемноголетних на 10-15 тыс. $m^3$ /с. В первом случае это приводило к аккумуляции наносов в слое около 0,7 м на верхнем и 1,0 м на нижнем перекатах; в маловодные циклы наблюдалась общая размыв переката в слое 0,5-0,7 м.

Поддержание гарантированной глубины 10,4 м на Турудинском перекате требует разработки прорези через пребене переката длиной 6 км и шириной 140-250 м и подрезки подводной косы в ухвостье о-ва Лопатного. Общий объем землечерпания на Турудинском перекате составляет около 2 млн  $m^3$  при максимальной ширине прорези и проектной глубине 10,4 м.

В настоящее время ежегодно разрабатываемая на перекате прорезь обеспечивает необходимые для судоходства глубины, однако установленная тенденция к отмиранию устья Большого Енисея и расположение Турудинского переката в зоне постоянного повышения отметок дна, заставляют искаль способы коренного улучшения условий судоходства в этом районе дельты Енисея. В будущем предполагается перенос судовой ход ниже островов Песчаных в активно развивающуюся прорезку Чайшину и далее в устьевую часть прорезки Каменний Енисей, выполнив для этого необходимые дноуглубительные работы в истоках прорезки Чайшиной (Михайлов и др., 1982; Бабич и др., 1983).

Другим примером управления многорукавных дельт выдвижения на открытом взморье представляется *дельта р.Лены*, имеющая среднемноголетний сток взвешенных наносов около 21 млн. т при средней мутности воды 40 г/м $^3$ . Ограниченные сроки навигации, сложные гидрометеорологические условия и большая изменчивость глубин в устьевой области р.Лены поставила перед Ленским бассейновым управлением пути задачу по изысканию мер по поддержанию гарантированной глубины 400 см по изысканию морским портом Тикси (Водные пути бассейна Лены, 1995).

Современный облик прорезки Быковская прибрежна за последнее тысячелетие. До этого времени на ее месте существовала обширная водная акватория, ограниченная на севере и востоке остистыми едомы (острова Сардах, Собо-Сисэ, полуостров Быковский); южная граница контролировалась пра-вым коренным берегом. Первоначально область наибольшей аккумуляции прорезки к северо-восточной части затона, а затем сместилась к югу в залив Несеево. В настоящее время основной сток воды и наносов сосредоточился вдоль правого коренного берега, где наблюдается интенсивное заполнение остаточных акватоний песчаными мелями, осередками и островами, обсыхающими в межень. Здесь расположена основная русловая бороздина с глубинами 5-10 м и находятся 8 перекатов, три из которых периодически лимитируют судоходство (Бурдуктах, Артыльях и Дашка). На этих перекатах в многоводные годы происходит аккумуляция наносов и увеличивается кризис фарватера. В маловодные годы наблюдается обратный процесс. Сезонные деформации перекатов Бурдуктах и Артыльях связаны с преуму-де-

ственным воздействием речного потока и заключаются в увеличении глубин от половодья к межени; на перекате Дашка, расположеннном в зоне паводкового подпора, процессы аккумуляции наблюдаются в течение всего навигационного сезона (Коротаев и др., 1990).

Опыт землечерпания в протоке Быковской показал, что оно эффективно в течении маловодного или близкого к среднему по волнности периода. Объемы извлеченного из прорезей грунта колебались в следующих пределах: Крест-Хомо – 240 тыс. $m^3$ , Чай-Ары – 80 тыс. $m^3$ , Черный – 190 тыс. $m^3$ , Артызых – 400-440 тыс. $m^3$ , Дашка – 950 тыс. $m^3$ . В многоводные годы программа заносится так, что в течение одного года восстанавливается первоначальный рельф дна. Эффективность дноуглубительных работ в такие периоды очень мала. Многолетние наблюдения за режимом перформирования перекатов в протоке Быковской показали, что поддержание гарантированной глубины 300 см обеспечивается природными факторами практически при любом режиме реки. Достигание глубин более 300 см за период 1980-1988 гг. требовало землечерпательных работ в объеме более 8 млн. м $^3$ . В настоящее время экономическая ситуация складывается таким образом, что затраты на выполнение коренного улучшения судоходных участков в Быковской протоке и достижения гарантированных глубин 400 см не будут адекватны реальной транспортной нагрузке этого водного пути.

Учитывая значительную удаленность Быковской протоки от Жиганского района водных путей (900 км), короткий период наивания и техническую сложность транспортировки дноуглубительной техники, следует болеезвешенно подходить к планированию дноуглубительных работ, сознавая затраты с их фактической эффективностью.

Проблема судоходства в *низовьях Яны* связана с преодолением водным транспортом мелководного бара в устье протоки Главное Русло. Этой проблеме является типичной для большинства неприливных устьев рек, поскольку устьевые бары представляют собой основной негативный фактор, осложняющий сообщение река-море. Мировой опыт управления морских устьев рек показывает, что решение проблемы судоходства может базироваться на двух крайних принципах:

**1. Пассивный метод**, при котором используются благоприятные природные условия при прохождении устьевых баров (нагоны, приливы) или вынужденная перевозка грузов на мелкосидящие речные суда;

**2. Активный метод**, связанный с разработкой соединительного судоходного канала для обеспечения гарантированных габаритов пути. При этом эффективность дноуглубительных работ зависит от соответствия выбраных способов регулирования гидродинамике и режиму деформации устьевого взморья.

В истории освоения судоходного пути по протоке Главное Русло можно выделить два этапа: первый – до 70-х годов, когда использовался пассивный способ преодоления мелководного устьевого бара, с частичной расчисткой судов на открытом рейде Янского залива; второй – в период с 1971 по

1988 г., когда Нижнеанским техническим участком был выполнен значительный объем дноуглубительных работ (от 30 тыс. $m^3$  в 1966 г до 2200 тыс. $m^3$  в 1987 г), результатом которых явилось создание соединительного канала вдоль Восточной баровой бороздины шириной до 100 м и глубинами

по фарватеру 5-7 м. Суда класса «рекак-море» с осадкой до 3-2 м получили возможность свободного захода в устье протоки Главное Русло и разгрузки у причалов порта Нижнеанск, расположенного в 25 км от морского края дельты. При высоких уровнях воды реки осуществлялись также единичные проводки до Нижнеанской морской судов с осадкой до 5 м.

Создание канала привело к коренному изменению гидрологической обстановки на акватории Янского бара из-за формирования в канале галоп-лини и перераспределения большой части стока волы и наносов в пользу западной баровой бороздины (Заманихи), которая стала интенсивно заливаться. Капитальное углубление Восточной бороздины и постоянное землечерпание привели к стабилизации положения бороздины, которая до начала дноуглубления испытывала тенденцию к смешению из востока, Приспособившись к новым гидравлическим условиям, Восточная (судоходная) бороздина резко увеличила извилистость и уменьшила ширину русла в границах изобаты 2,7 м до 50 м.

Стабилизация планового положения Восточной баровой бороздины на фоне постоянного смещения Заманихи на восток со скоростью до 40 м/год создала потенциальные условия для сближения баровых бороздин (ширина раздела между ними уменьшилась с 1,3 до 0,6 км). При сохранении существовавших условий стока (период близкий к среднему по волнности) этот процесс мог продолжаться сравнительно долго. Однако экспериментальный по волности 1966 г способствовал катастрофическим разрывам берегов дельтовой поймы в протоке Главное Русло и привел к коренному перестройке русла на баровом участке. Мощная аккумуляция на требуемом участке бара в районе западной бороздины, где глубины уменьшились до 2 м, привела к смещению Заманихи в восточном направлении и образованию нового выхода в море по переуглубленной части соединительного канала в низовье Восточной бороздины. Оказалось в условиях местного подпора, верховая часть старого судоходного канала стала интенсивно заноситься и быстро потеряла свои судоходные качества. В настоящее время

проложена новая трасса судоходного пути через акваторию Янского бара, которая использует верхнюю часть бороздины Заманиха и нижнюю часть Восточной баровой бороздины, соединенные прорваном через баровый оседлок. Основные проблемы, поддержанные гарантированными глубинами в новом судоходном канале связаны с зависимостью зон сопряжения канала с открытым взморьем за счет аккумуляции вдоль береговых наносов и с периодическим углублением прорана (Коротаев и др., 1978; Бабич и др., 1992).

Другой проблемой судоходства в низовьях Яны является преодоление судами дельтовых перекатов, из которых наиболее затруднительными

являются перекаты Ближний (38-35,5 км судового хода), Забытый (42-40,4 км), Полярный (79,7-78,6 км), Молодой (91,3-90 км), Роман-Сирэ (98-95 км), Кресты (131,5-129 км) и Самандон (146,1-137 км). В течение 1970-1980-х годов на этих перекатах был выполнен значительный объем дноуглубительных работ (табл. 2).

Анализ сопоставленных планов перекатов за многолетний период (от 5 до 30 лет) показал, что они в целом представляют собой достаточно устойчивые аккумулятивные образования в русле реки. Изменения глубины и ширины судового хода на их гребнях связанны, главным образом, с колебаниями водности реки. Наиболее значимость дноуглубительных прорезей на большинстве перекатов отмечается в многоводные годы. Характер естественных деформаций гребней перекатов тесно связан с их морфологическими особенностями. Так, на некоторых перекатах, образованных грядами, пересекающими русло под острым углом, отмечаются циклические перформирования, длившиеся несколько лет. Наиболее динамичен из них перекат Средний Самандон, где в связи с чередованием пиклов водности положение линии наибольших глубин на гребне переката многократно менялось. Здесь же отмечены и наиболее сложные сезонные вертикальные деформации, связанные с внутриголовой изменчивостью стока. В большинстве случаев на подъеме паводка происходит аккумуляция наносов и повышение отметок дна. Размыв и увеличение глубин более характерно для периода спада паводков.

Перекат Самандон является наиболее затруднительным для судоходства участком русла р. Яны, требующим проведения дноуглубительных работ. В качестве основного приема предлагается проведение подрезки косы на правой кромке Верхнего Самандона и перекрытие правой несудоходной протоки выпрямительным сооружением от левого берега. Необходимо также строительство продольной дамбы для концентрации стока по наиболее перспективному направлению судового хода на перекате Ниж. Самандон, что должно уменьшить объемы эксплуатационных работ.

На участке русла р. Яны от пос. Юсей (10 км судового хода) до пос. Кресты (135 км) по результатам промеров 1988 г. выдерживается гарантитированная глубина 2,2 м при ширине судового хода от 300 до 100 м. Помимо возможно увеличение гарантитированной глубины до 3,1 м без дополнительных затрат на дноуглубительные работы. За период 1985-1988 гг. заметно улучшились коридор перекатов Ближнего, Забытого, Полярного и Молодого, где глубины по фарватеру составляют не менее 3,2-4,5 м. В целом на этом участке русла р. Яны прослеживается тенденция к естественному улучшению судоходных условий за счет саморазмыва гребней перекатов. Эта благоприятная для судоходства ситуация поддерживалась относительно маловодным циклом в бассейне р. Яны, наметившимся после экстремального по водности 1985 г. Однако в последние годы в связи с практическим прекращением землечерпания, совавшим с многоводным циклом и отсутствием возможности проведения на перекатах изыскательских

работ, судоходные условия на дельтовых перекатах значительно осложнены (Нижняя Яна, 1998).

Таблица 2. Объемы землечерпания на перекатах в дельте р. Яны

Перекат, км судового хода	Год	Объем, тыс.м <sup>3</sup>	Перекат, км судового хода	Год	Объем, тыс.м <sup>3</sup>
Верхний Самандон (146,1-143 км)	1973	116,5	Кресты (131,5-129,0 км)	1984	60,7
	1974	61,0		1985	73,5
	1975	157,9		1986	224,5
	1976	54,0		1987	125,4
	1977	81,7			
	1978	38,3			
Средний Самандон (143-140,5 км)	1979	16,2			
	1981	101,1			
	1982	63,2			
	1983	53,0			
	1984	88,9			
	1985	176,1			
	1986	154,9			
Нижний Самандон (140,5-137,0 км)	1974	144,9	Молодой (79,7-78,6 км)	1981	77,8
	1975	121,3		1982	71,7
	1976	307,5		1983	69,6
	1977	237,2		1984	48,3
	1978	275,8		1985	60,0
	1979	327,9		1986	38,0
	1980	219,9		1987	38,0
	1981	270,1		1988	38,0
	1982	187,6		1989	50,0
	1983	248,4		1990	60,0
	1984	137,2		1991	12,4
	1985	171,4		1992	60,0
	1986	95,3		1993	60,0
	1987	69,5		1994	70,0
	1988	62,2		1995	48,0
	1989	57,7		1996	15,6
	1990	25,1		1997	15,6
	1991	3,8		1998	15,6
	1992	9,0			
	1993	106,7			
	1994	103,2			
	1995	237,0			
	1996	103,1			

В *дельте р. Индигирки* главной судоходной артерией является наиболее многоводная протока Средняя. Протяжением ее на отмели в заморье является бороздина устьевого бара, выдвинутого на расстояние 15 км от

устяевого створа. В направлении к морю постепенно убывает глубина (от 4,8 до 3,0 м) и уменьшается ширина баровой бороздины (от 600 до 200 м).

Далее на расстоянии 3–4 км расположается мелководный (0,7–1 м) гребень бара, постепенно переходящий в ровный морской склон бара, достигающий глубин 5 м на расстоянии 26 км от морского края дельты. Вся акватория бара с глубинами менее 2 м находится в мерзлом состоянии, причем толщина слоя сезонного протагивания не превышает 1 м. Плановое положение баровой бороздины довольно устойчивое, а высотные деформации обуславливаются изменчивостью стока воды и наносов Индигирки (Богомолов и др., 1979; Коротаев, 1998).

По начала дноуглубительных работ на баре, когда существовал широкий мелководный гребень, в зимнее время лед ложился непосредственно на грунт и во время прохождения половодной волны он выполнял роль ледяной плотины. Резкое уменьшение скоростей волнного потока приводило к аккумуляции наносов и затыканию баровой бороздины. Гребень бара после таяния льда даже несколько размылся. Боковое растекание весной на Индигирском баре было ничтожным, так как лед всплывал только вдоль баровой бороздины, а на крыльях бара таял на месте.

После разработки через гребень бара в 1975 г прорези глубиной до 2,5 м и шириной 60 м, весенний речной поток мог относительно свободно проходить по баровой бороздине до морского края бара и аккумулировать на носы на всем протяжении гребня. Стабильный разлив происходил на речном склоне бара. Для уменьшения заносимости канала было рекомендовано сделать прорезь-ловушку в зоне сопряжения канала с баровой бороздиной. Объем выработки составил 200 тыс. м<sup>3</sup>, отвал грунта был произведен на правую кромку прорези. Летние эксплуатационные работы ограничивались расчисткой ловушки, сокращая объем дноуглубительных работ в канале, где производительность землеройных и наливных морозных грунтоукладчиков и штормовых установок была крайне мала из-за сложных ледовых

относительная стабильность положения баровой бороздины, которая до 1960-х годов испытывала медленное смешение излучин вниз по течению была нарушена разработкой прорези, которая искусственно удлинила баровую бороздину на 7 км. Это нашло отражение в активизации нижних излучин баровой бороздины: их смешение за последние 20 лет составило 500–850 м, а ширина уменьшилась в 2–3 раза. Наиболее интенсивно этот процессшел до начала 1980-х годов, после чего наступила относительная стабилизация, что свидетельствовало о достижении оптимальной формы русла бороздины при измененных гидрологоморфологических условиях. Дальнейшее углубление канала до глубин 3–4 м могло привести к новой активации процесса мелиорирования нижних излучин и распространение процесса формирования излучин непосредственно в прорези. Однако эксплуатация канала осуществлялась почти без проведения дноуглубительных работ, что при ежегодной заносимости в слое до 1 м привело к постепенной утрате канала его судоходных габаритов.

#### Опыт улучшения судоходных условий в устьях крупных рек юга России

Транспортное освоение устьев южных рек также имеет давнюю историю и специфику, связанную с региональными природными условиями и социально-экономическими аспектами. Большинство устьев крупных рек юга России (Дон, Кубань, Волга) подверглись длительному антропогенному воздействию: их дельтовые равнины освоены под сельское хозяйство и промышленность, сток воды и наносов зарегулирован волокхранилищами, а природные ландшафты и экосистемы сильно изменины. На юге России водные магистрали не являются единственным средством сообщения, как это имеет место в районах Крайнего Севера. Здесь достаточно развита инфраструктура автомобильных и железнодорожных дорог, а водный транспорт долгое время был наиболее лёгким средством перевозок.

В истории водотранспортного освоения устьев южных рек долгое время выбор лёгкого ручава в качестве судоходного осуществлялся по так называемым «принципам Хартли», одобренным международным конгрессом по внутренним водным путям в 1889 г.

Одним из первых проектов по улучшению судоходных условий в устье Дона имелось мелководные выхолы в Азовское море, было предложенное Петру I бомбардиром азовского флота Гумартом в 1700 г предложить перекрыть сплошными плотинами многочисленные ручава дельты и дать возможность реке самой углубить себе оставшийся выход в море. В 1703 г были перекрыты почти все ручава кроме самого многоводного – Кривой Кутумры. Однако в 1704 г ледоход, высокое половодье и западные штормы разрушили многие плотины, и эта идея была вскоре оставлена. Также при Петре I были осуществлены попытки углубить некоторые устьевые бары.

Новые дноуглубительные работы были проведены в устье Мокрой Каланчи в 1861–1864 гг. Одновременно были перекрыты некоторые второстепенные рукава. Однако эти работы не дали удовлетворительных результатов, что еще раз доказало несостоятельность способа затруд для выравнивания морских устьев рек.

В 1865 г был учрежден Комитет донских гирь, которому поручалось улучшить судоходные условия в дельте Дона. Этот комитет пригласил инженера К.Хартли, известного сравнительно удачными работами в устье Дуная. По его указанию в 1866–1867 гг. в дельте Дона были проведены изыскания (Белянский, 1888), на основании которых Хартли сделал следующее заключение: в устье Дона нельзя применять метод выравнивания русла путем сооружения параллельных молов, как это было сделано в устье Сулинского рукава дельты Дуная. Основные претензии для этого – очень слабые речные течения, преобладание наточных ветров и мелководность Таганрогского залива, что потребовало бы сооружение очень длинных молов. Хартли отверг также способ перекрытия второстепенных рукавов. Значительные

стоно-нагонные колебания уровня на устьевом взморье Дона посужили причиной неприменимости сооружения шлюзов и специального обходного канала. В таких условиях единственным средством улучшения судоходных условий в устье Дона оставались дноуглубительные работы.

Из трех дельтовых рукавов — Кутермы, Переволоки и Егорлы — для углубления был выбран последний. Однако в канале на устьевом баре глубин более 2 м достичь не удавалось, хотя объем землечерпательных работ был значительно увеличен. К 1913–1914 гг. канал через устьевой бар рукава Егорлы имел длину 22 км, ширину до 100 м и глубину 4 м. Запасность канала была очень велика. Трудности поддержания глубин на трассе Дон-Большая Каланга-Большая Кутерма-Переволочка-гирло Егорлы привели к поиску более удобного выхода в море. В 1927–1928 гг. в качестве судоходной трассы был избран путь Дон-Старый Дон-проток Песчаный. На устьевом баре протоки Песчаной был прорыт канал длиной 40,5 км и глубиной 4 м. Для отражения канала с его правой (северной) стороны была насыпана дамба длиной 2 км и шириной 100–200 м. Новая трасса (Азов-Донской канал) оказалась более удобной и судоходством по этому пути было осуществлено в настоящее время (Роднов, 1958).

Богатые природные ресурсы устья Волги издавна широко использовались населением. Здесь с древних времен насаждались сады, бахчи, огороды, виноградники, пасли скот, ловили рыбу, облавливали острова и превращали их в сельскохозяйственные угодья (Михайлов, 1997). К началу XIX в. в дельте Волги было обваловано более 24 тыс. га земель. В 1874 г. началось сооружение Волго-Каспийского судоходного канала. Водный путь из Волги в Каспийское море давно играет важную роль в экономике Волгограда, нефти и нефтепродукты, лес, сухофрукты, овощи и др. Лимитирующими участками на судоходном пути всегда были приморские участки дельтовых рукавов и отмелое устьевое взморье (Богуславский, 1895; Тимонов, 1924; Плабдин, 1925; Валединский, Аполлов, 1928).

Направление водного пути через рукава дельты Волги не было постоянным: в XVI в. главный фарватер проходил по рукаву Болда, в XVII в. — через Иванчуг, а во времена Петра I основное судоходство осуществлялось по Старой Волге.

С началом эксплуатации водных путей в дельте Волги возникла проблема улучшения судоходных условий из-за мелководности перекатов в дельтовых рукавах и отмелью обширного устьевого взморья. Изыскания, имевшие целью разработку мероприятий по улучшению судоходных условий, производились в различное время, начиная с I четверти XIX столетия, причем на первый план была выдвинута идея обустройства камызякского и бахтемирского направлений. В исследованих и проектирований трассы канала непосредственное участие принимали известные русские инженеры-гидротехники Н.А.Богуславский, М.Н.Герсанов, В.Е.Тимонов. Пробное землечерпание на камызякском направлении показало значитель-

ную заносимость экспериментальных прорезей. Поэтому еще в середине XIX в. судовой ход был перенесен в Бахтемир, углубление которого начались в 1874 г. Особенно интенсивно дноуглубительные работы велись после 1901 г., в частности в 1915–1916 и 1924–1926 гг. К началу 90-х годов XX века объем эксплуатационного землечерпания по трассе Волго-Каспийского канала достиг 5 млн. м<sup>3</sup> грунта в год. В итоге за 120 лет был создан один из крупнейших морских каналов, не имеющий аналогов в мировой практике регулирования морских устьев рек (Королев, 1999). В современном состоянии его общая протяженность составляет около 180 км при средней ширине 120 м, причем более половины длины канала проложено на открытом взморье.

Природа низовьев дельты Волги характеризуется чрезвычайной динамичностью, обусловленной как естественной изменчивостью дельтообразующих факторов, так и антропогенным воздействием. Современный этап развития отличается высоким масштабом хозяйственного освоения и усиления влияния на нее крупных гидротехнических сооружений на Волге. Систематическое уменьшение водного стока и количества взвешенных наносов, поступающих к вершине дельты, вызвали коренное пересмотрение стока по дельтовым рукавам и изменения обводненности различных частей дельты Волги. В условиях зарегулированного стока Волги, строительства вододелителя в вершине дельты, Недавнего подъема уровня Каспийского моря следует ожидать направленных изменений эрозионно-аккумулятивных процессов в русле.

По данным исследований последних десятилетий (Байдин и др., 1956; Устьевая область Волги, 1998; Михайлов, Серебренникова, 1996; Коротаев, 1995) в дельте Волги характерны процессы перестройки руселовой сети, заключающиеся в активизации некоторых крупных рукавов (Волгобахтемир, Бузан-Лыагина-Будима-Бельянский банк, Камызяк-Никитинский банк) и отмирании малых водотоков. В большинстве активных водотоков, тяготеющих к судоходным или рыболовным каналам на устьевом взморье, происходит рост глубин. Отмывающие водотоки постепенно уменьшают свою пропускную способность, повышают отметки дна и уменьшают ширину русла.

Бахтемирский рукав, являясь частью сложной воднотранспортной магистрали в дельте р.Волги, играет особую роль, так как связывает транспортные потоки Дона и Волги с Каспийским морем через Волго-Каспийский канал (ВКК). На большей части рукава Бахтемир в настоящее время поддерживается гарантированные глубины при проектном уровне. Наибольшие затруднения вызывает участок русла на 70–80 км судового хода — так называемое «Харбайское колено», где происходит разветвление Бахтемира на протоки Тальча, Полстепок и Гаваний.

Систематически проводимые дноуглубительные работы позволяют обеспечивать рост глубин до определенных пределов, после чего этот процесс прекращается. Именно такая ситуация наблюдалась на прямолинейном

участке Харбайского колена в рукаве Бахтемир в период с 1950 до 1977 гг.

когда интенсивное землечерпание в объеме 7,1 млн м<sup>3</sup> в сочетании с увеличением стока в системе водотоков Бахтемира привели к увеличению глубин на 1,5-3,5 м и увеличению ширины русла на 25-50 м. Однако за последние десятилетия (1977-1990 гг.) тенденции к увеличению глубин уже не наблюдается.

Изыскания и расчеты, выполненные Географическим факультетом МГУ, показывают, что гарантированная глубина 5,0 м в рукаве Бахтемир на Харбайском участке значительно превышает допустимую при проектном расходе 550 м<sup>3</sup>/с и ширине судового хода 120 м. Коренное улучшение судоходных условий на Харбайском перекатном участке может быть достигнуто посредством регулирования стока в узле разветвления Бахтемира и Талычи с целью увеличения проектного расхода в Харбай не менее 800 м<sup>3</sup>/с (Бортаев, Михайлов, 1995; Коротаев, Иланов, 1998). Увеличение глубин на акватории устьевого взморья Волги в период последнего повышения уровня Каспийского моря на 2 м позволяет существенно снизить объемы эксплуатационного землечерпания в морской части Волго-Каспийского канала.

#### Экологические последствия регулирования устьев рек

В морских устьях рек транзитные судоходство сталкивается с рядом объективных трудностей, обусловленных сложностью гидролого-морфологических и руссковых процессов, многогранностью деятельности и извилистостью дельтовых водотоков, наличием многочисленных узлов слияния и разделения, мелководностью устьевых баров. Выбор средств и способов регулирования морских устьев рек в каждом конкретном случае определяется морфогенетическим типом устьевой области, ландшафтно-климатическими условиями и региональными особенностями проявления дельтогенерирующих и устьевых процессов. Природное многообразие морфологических типов речных устьев и сложность региональной специфики гидрологических и руссковых процессов не позволяет создать унифицированную схему регулирования многорукавных устьев рек и их устьевых баров, о чем свидетельствует длительная история улучшения судоходных устьев в морских устьях рек.

Кроме того, разрабатывая принципы регулирования морских устьев рек, следует иметь ввиду, что результаты выполнительных работ с целью увеличения глубин и прикрытия фронтовому более обычных для судоходства форм, могут иметь неблагоприятные последствия.

1) *Увеличение стока наносов в углубляемом русле.* Нередко этот эффект не учитывается, но часто именно он сводит на нет все усилия по улучшению условий судоходства. Увеличение поступления наносов в углубленный рукав (даже если это углубление осуществлялось лишь на устьевом баре) меняет характер отложения как взвешенных, так и влекомых

наносов, приводит к его обмелению и необходимости выполнять дноуглубительные работы в возрастающих объемах.

2) *Возникновение или усиление процесса проникновения осолоненных вод в устья углубленных рукавов.* В связи с разработкой на устьевом баре прорези-канала возникнут условия, активизирующие процесс проникновения осолоненных вод в русло рукава. Причина этого явления состоит в уничтожении естественной преграды в виде гребня бара и непосредственным увеличении глубины. Проникновение осолоненных вод в углубленный рукав и миграция по нему клина соленых вод, являющегося своеобразным барьером, на котором откладываются вынесенные с речным стоком взвешенные наносы, влияют на заносимость как ряда химических и биохимических процессов (алгоритмо и флокуляцию частиц наносов), что приводит к образованию в углубленном канале образований типа "липкой пробки" или "липкого крена" (Бабич, 1999).

3) *Усиление проникновения в углубленный рукав склонно-изогонных колебаний уровня.* Результатом дноуглубительных работ являются не только увеличение глубины, но и некоторое уменьшение уклонов водной поверхности. Следствием этого может быть усиление проникновения наносов в рукава, что сопровождается проникновением в него осолоненных вод.

4) *Изменение режима мутности вод.* При выполнении дноуглубительных работ в устьях рек используются молотые землесосы, оснащенные специальными насадками для разрыхления грунта (фреза или гидромонтор). В результате возникает временное повышение мутности воды до 2 раз по сравнению с фоновой, особенно при работе землеснаряда в режиме гидроброска пульпы на бровках прорези. Непосредственно в зоне разрыхления грунта фрезой или гидромонтором мутность воды может возрастать в 8-200-250 м, что при больших размерах устьевого взморья является не более малой величиной. Тем не менее следует при оценке этого явления иметь ввиду, что во время штормов, когда землечерпания не проводятся, фоновая мутность не меньше, а часто становится больше чем созданная землечерпанием, охватывающая всю акваторию бара. Наиболее оптимальным и экологически безопасным является рефурпирование грунтовой пульпы по трубопроводам или вывоз ее на плаванах с последующим складированием (дампинг). Однако в силу ряда обстоятельств, прежде всего климатических, эти методы используются не всегда, в частности они неприменимы в устьях арктических рек.

О.К.Жиганбекова, А.В.Бабич, Д.Б.Бабич, Д.Б.Гидрохимическая характеристика зоны проникновения морских вод в дельту р.Яны//Вестник МГУ. Сер.5.География. 1999.№5.  
Бабич Д.Б., Бозомолов А.Л., Засец Г.М., Коротаев В.Н., Лобанов Р.В.,  
Михайлов В.Н., Сидорук А.Ю., Чаплов Р.С. Современные процессы дельто-

образования и этапы формирования дельты Енисея // Эрозия почв и русло-  
вые процессы. М.: изд-во МГУ, 1983. Вып.9.

**Бабич Д.Б., Зач Г.М., Коротаев В.Н., Михайлов В.Н.** Гидролого-  
морфологические процессы в устьевой области р.Яны, их природная и ан-  
тропогенная изменчивость // Экологические проблемы эрозии почв и русло-  
вых процессов. М.: изд-во МГУ. 1992.

**Байдин С.С., Липберг Ф.Н., Самойлов И.В.** Гидрология дельты Вол-  
ги. – Л.: Гидрометеониздат. 1956.

**Беляевский П.Е.** Донские гирла. – СПб. 1888.

**Бозулаевский Н.А.** О судоходных условиях в устьях Волги и север-  
ной части Каспийского моря и о мерах, необходимых для восполнения  
судоходству на этой части дельты // Материалы для описания русских ком-  
мерческих портов и историй их сооружения. СПб. 1895.Вып.IV.

**Балеевский В.В., Акопов Б.А.** Дельта Волги (по данным изыска-  
ний 1919-1925 гг.) // Труды отдела портов и управления внутренних водных  
путей. Т.1. Вып.5. Тифлис. 1928.

**Водные пути бассейна Лены** – М.: МИКИС. 1995.

**Гришкин К.В., В.Д.Лестяров, Селезнев В.М.** Водные пути. – М.:

Транспорт. 1986.

**Дегтярев В.В.** Улучшение судоходных условий сибирских рек. –

М.: Транспорт. 1987.

**Коротаев В.Н.** Интенсивность и направленность русловых дефор-  
маций в дельте Волги // Вестник МГУ. Сер.5. География. 1995. №5.

**Коротаев В.Н.** Геоморфология и современные процессы формиро-  
вания аллювиально-дельтовой равнины в устье Индигирки // Динамика арк-  
тических побережий России. М.: изд-во МГУ, 1998.

**Коротаев В.Н.** Волго-Каспийский канал: современное состояние и  
проблемы регулирования // Современное состояние водных путей и про-  
блемы русловых процессов. М.: изд-во МГУ. 1999.

**Коротаев В.Н., Ильин В.В.** Динамика зоны сопряжения рукава

Бахтемир с устьевым взморьем Волги при колебаниях уровня моря // Вест-  
ник МГУ. Сер.5. География. 1998. №1.

**Коротаев В.Н., Михайлов В.Н.** Изменения гидрологического режек-  
ма и руслование дельтового рукава Бахтемир в условиях регули-  
рования стока Волги и колебаний уровня Каспийского моря // Эро-  
зионные процессы. М.: изд-во МГУ. 1995. Вып.10.

**Коротаев В.Н., Лодина Р.В., Чалов Р.С., Штюров А.М.** Формирова-  
ние устьев рек Таза и Пура и рельефа дна южной части Тазовской губы //

Эрозия почв и русловые процессы. М.: изд-во МГУ. 1976. Вып.5.

**Коротаев В.Н., Лодина Р.В., Милютинич В.А., Сидорук А.Ю., Чалов Р.С.** Формирование дельты р.Яны и прогноз развития ее устьевых баров // Эрозия почв и русловые процессы. М.: изд-во МГУ. 1978. Вып.6.

**Коротаев В.Н., Михайлов В.Н., Бабич Д.Б., Зач Г.М., Бозулаевский**  
**А.П.** Гидролого-морфологические процессы, динамика гидрографической

сети и русловые деформации в дельте р.Лены // Земельные и водные ресур-  
сы, противодействие и регулирование русел (Эрозия почв и русловых

процессов). М.: изд-во МГУ. 1990. Вып.10.

**Коротаев В.Н., Чалов Р.С.** Экспедиционные исследования устьев  
северных рек для обоснования рекомендаций по улучшению условий судо-  
ходства (методика, задачи, результаты) // Вестник МГУ. Сер.5. География.

1978. №6.

**Маккаев Н.И.** Русовой режим рек и транссижение прорезей. –

М.: ЦНИИГР. 1949.

**Михайлов В.Н.** Устья рек России и сопредельных стран: прошлое,  
настоящее и будущее. – М.: ГЕОС. 1997.

**Михайлов В.Н., Коротаев В.Н.** Основные принципы регулирования  
многорукового устья реки // Труды Академии водных наук. М.: изд-во  
АН. 1995. Вып.1.

**Михайлов В.Н., Коротаев В.Н.** Устьевые бары непримивных устьев  
рек: морфологические типы и способы регулирования // Труды Академии  
водохоз. наук. М.: изд-во АН. 1996. Вып.3.

**Михайлов В.Н., Серебренникова Н.А.** Изменения гидролого-

морфометрических характеристик водотоков дельты Волги // Вестник Моск.  
ун-та. Сер.5. География. 1996. №2.

**Михайлов В.Н., Коротаев В.Н., Сидорук А.Ю., Чалов Р.С., Бабич**

Д.Б. Исследование водного и руслового режимов устьевой области Енисея //  
Географические аспекты исследований и использование водных ресурсов в  
СССР. М.: изд-во МГФ ГО СССР. 1982.

**Нижняя Янти: устьевые и русловые процессы** (под ред. В.Н. Ко-  
раяева, В.Н. Михайлова, Р.С. Чалова), – М.: ГЕОС. 1998.

**Родионов Н.А.** Гидрология устьевой области Дона. – М.: Гидроме-  
теоиздат. 1958.

**Тимонов В.Е.** Как улучшить судоходность устья р.Волги // Водный

транспорт. М. 1924. Т.П. Вып.3.

**Устьевая область Волги: гидролого-морфологические процессы,  
режим загрязняющих веществ и влияние колебаний уровня Каспийского мо-  
ря** (под ред. В.Ф.Полонского, В.Н.Михайлова, С.В.Кириянова). – М.: ГЕОС.

1998.

**Шабдин И.В.** История развития земледелия на р.Волге. Волж-  
ское земледелие и его достижение // Материалы для описания русских  
рек и истории улучшения их судоходных условий. Л.: изд-во Центр. упр.  
внутр. водн. путей. 1925. №1.

**Чалов Р.С.** Географические исследования русловых процессов. –

М.: изд-во МГУ. 1979.