



ФОРМИРОВАНИЕ ДЕЛЬТЫ Р. ЯНЫ И ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ЕЕ УСТЬЕВЫХ БАРОВ

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИИ

Русловой режим устьев сибирских рек мало изучен. Вместе с тем развитие народного хозяйства на Крайнем Севере и Северо-Востоке СССР обуславливает повышенные требования к водным путям, играющим здесь ведущую роль в обеспечении массовой доставки грузов. Мелководные устьевые бары — серьезные препятствия на стыке речных и морских путей. Выбор генерального направления трассы судового хода в устьевых участках должен основываться на тщательном анализе тенденций и темпов преформирования баров, а также их связи с процессами, протекающими в низовье реки и на прилегающем взморье.

В 1971—1973 гг. экспедицией МГУ выполнено исследование руслового режима дельты Яны и динамики ее устьевого взморья, позволившее установить основные особенности деформаций бара протоки Главное Русло (судоходного рукава дельты). Для более полного учета факторов в сферу исследований были включены главные рукава дельты. Полученные данные позволили разработать методику прогноза глубин на баре при различных сочетаниях стока реки и ветро-волновой обстановки на взморье. В результате работ составлена схема улучшения судоходных условий, предусматривающая снижение объемов землечерпания при одновременном увеличении глубин на основном фарватере.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕЛЬТЫ И ВЗМОРЬЯ

Яна впадает в Янский залив. Моря Лаптевых. Площадь дельты реки и ее устьевого взморья (т.е. устьевой области) составляет около 5300 км² (рис. 1). Влияние моря не выходит за пределы дельты, вершина которой располагается выше по течению, чем граница проникновения нагонов при штормах. До выхода на Дримерскую низменность р. Яна течет единым руслом. В районе

(Куогастаах). Очевидно, протоку назвали «Правой» гидрографы, проникавшие на реку с моря и шедшие с описанием против ее течения. В этом же узле берут начало левые маловодные протоки Ильин-Шар и Тарынгнаах, сливающиеся в нижнем течении и впадающие в губу Ильин-Шар. Длина протоки Правой от Развилки до устья — 93 км, Главного Русла — 101 км. Между вершиной дельты и урочищем Развилка русло Яны образует серию больших излучин, лишь изредка разделяясь на короткие протоки. Рукава дельты извилисты. Наиболее крутые излучины в низовьях рукавов прорваны спрямляющими протоками. Устье протоки Правой образует губу, заполненную низкими островами.

Район дельты Яны, заключенный между двумя основными рукавами, морфологически разнороден. Здесь можно выделить пойму высотой 3—7 м, развитую вдоль существующих и отмерших рукавов, а также морские террасы, состоящие из причленившихся береговых баров и разделяющих их лагунных понижений. На рельеф прибрежно-дельтовой равнины оказали также влияние мерзлотные процессы (полигональная трещиноватость, бугры пучения, морозобойные трещины и т. п.). Морской край дельты выдвинут в Янский залив примерно на 40 км к северу от общей линии берега залива и оконтурен двумя цепочками низких надводных береговых баров. Эти цепочки морских аккумулятивных образований разрываются в местах выхода к морю основных рукавов, формирующих устьевые бары. Малые протоки блокированы со стороны моря подводными и надводными мелями. Мелководное (до 5—6 м) устьевое взморье имеет ширину около 10 км.

Устьевые бары, которые образуются в зоне растекания речной воды, характерны для основных рукавов дельты. Бар протоки Главное Русло отделен от устьевого створа глубокой плесовой ложбиной; по мере удаления от устья глубина убывает, а в 2,5 км мористее фарватер разветвляется на две бороздины: Заманиху (левую) и Восточную судоходную (правую). Бороздины разделены мелководным осередком. Длина бороздин от узла разветвления до свала глубин равна 7,6 км (Восточная) и 7,2 км (Заманиха). Осередок между бороздинами имеет в плане треугольную форму. Длина его 6,5 км, ширина на морском крае 2,8 км. Морской склон бара с уклонами 0,002 на глубине 5 м переходит в выровненное дно Янского залива. Крыльевые части Янского бара мелководные, левая из них более массивная и отмеляя.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

Среднегодовой расход в низовьях Яны, определенный по данным водопоста Джангкы (225 км выше вершины дельты), составляет 916 м³/с. Почти весь объем стока (до 99%) проходит в летне-осенний период (июнь—сентябрь). Максимальные расходы воды наблюдаются как во время весеннего половодья, так и при летних паводках. Измеренный максимум расхода воды в поло-

с. Казачье (145 км от устья) начинается разветвление русла на рукава, имеющие самостоятельный выход в море. Наиболее многоводным из них является Самандон, место ответвления которого принято считать вершиной дельты.

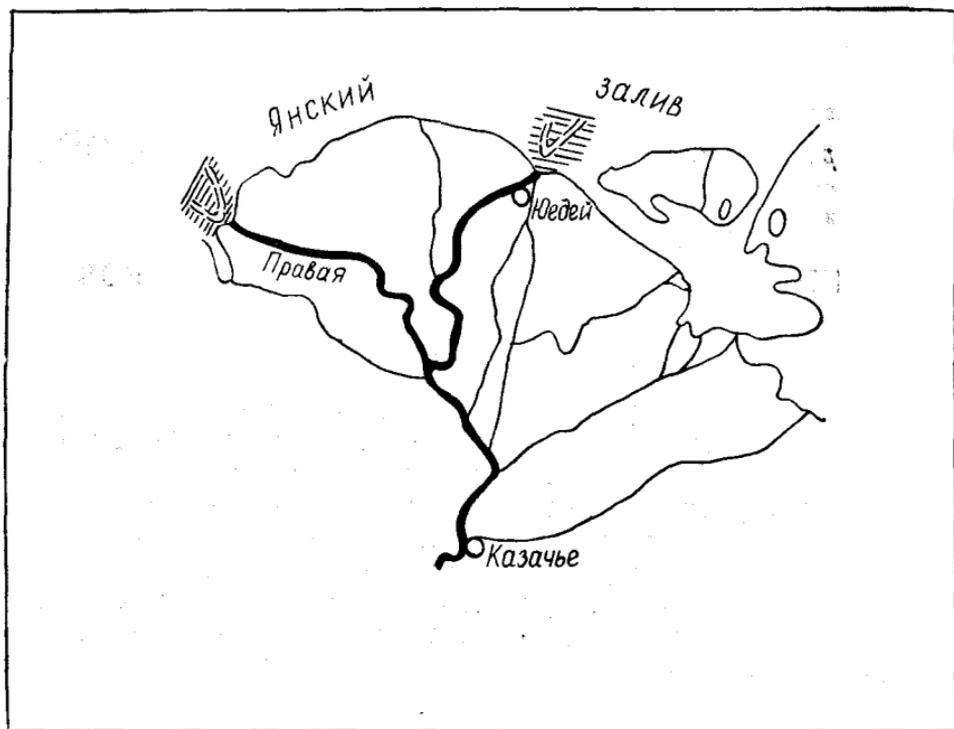


Рис. 1. Схема устьевой области р. Яны. Пунктиром показаны контуры бороздин на приустьевых барах

Самандон впадает в губу Асаабыт, отделяясь с юго-востока низким заболоченным водоразделом от бассейна р. Чондоон. Долина Самандона врезана в отложения морской каргинской террасы (Ломаченков, 1971). Южнее ее простирается Приморская равнина (едома) с крупными озерами и аласами; ее высота 30—60 м. Едома начинается резким уступом, возвышающимся над дельтой Яны, четко фиксируя ее западную и юго-восточную границы. Ниже по течению от основного русла Яны вправо отходит протока Кочевая, которая, в свою очередь, разветвляется на три протоки, впадающие в Чондоонскую губу, а затем, тоже вправо — протоки Дурганова и Камелек, текущие на север и впадающие объединенным потоком под названием Камелек у пос. Юедей в протоку Главное Русло близ ее устьевого створа.

В 100 км от устья располагается основной узел разветвления (урочище Развилка), где от Яны влево отходит протока Правая

воде равен 12 400 м³/с. (1968 г.), а в летний паводок 1950 г. был зафиксирован расход 13 000 м³/с. В зимнюю межень (октябрь — май) средний расход у Джангкы составляет 13,9 м³/с; в среднем каждые четыре года река один раз промерзает до дна.

За период 1940—1971 гг. можно выделить три группы лет маловодных (1940—1950, 1955—1961, 1961—1963 гг.) и две многоводных (1950—1955, 1968—1971 гг.). 1972 и 1973 г. относятся к маловодным. В табл. 1 приведены значения годовой нормы стока, коэффициентов вариации и асимметрии, рассчитанные по данным водопостов дельты. Хотя рассчитанная норма стока относится только к периоду, когда река свободна ото льда, это не вносит существенных погрешностей, так как годовой сток отличается от весенне-летнего не более чем на 2%.

Таблица 1

Характеристики среднемноголетнего стока для дельты р. Яны

Водомерный пост	Среднегодовой расход воды, м ³ /с	Коэффициент вариации	Коэффициент асимметрии
Джангкы (255 км выше вершины дельты)	936	0,21	0,42
Казачье (вершина дельты)	980	0,18	0,36
Развилка	590	0,17	0,34
Протока Главное Русло (исток)	354	0,17	0,34
Протока Правая (исток)	177	0,17	0,34
Протока Юедей (устье Главного Русла)	354	0,17	0,34
Ситцевый (устье протоки Правой)	177	0,17	0,34

Среднегодовой расход взвешенных наносов в створе Джангкы составляет 140 кг/с при средней мутности 150 г/м³. В период открытой воды он изменяется от 50 до 5 000 кг/с. К основному узлу разветвления дельты Яны (Развилке) он значительно уменьшается (от 20 до 800 кг/с). Соответственно в два-три раза уменьшается на участке Джангкы — Развилка и средняя мутность: от 50 до 25 г/м³ при расходе 1000 м³/с и от 750 до 216 г/м³ при расходе воды 6000 м³/с. Это, очевидно, связано с оттоком части воды в рукава дельты, а также с аккумуляцией, вызванной уменьшением скоростей течения при выходе реки из гор в дельту.

Сток наносов осуществляется в основном за теплый период (99,2%) (Бурдыкина, 1954). В разные годы, в зависимости от характера половодья и летних паводков, величина его колеблется при одном и том же расходе воды в широких пределах. В отдельные годы более насыщены наносами воды летних паводков, а не половодья. Например, в паводок 15—25 августа 1973 г. средняя мутность потока в створе Маяк колебалась от 191 до 435 г/м³, тогда как в половодье для тех же расходов она составляет 25—

140 г/м³. В среднем на долю летних паводков приходится 20—30% стока наносов, а иногда до 40%.

Мутность вод половодья в некоторой степени зависит от времени его начала. Если половодье раннее, то высокая вода проходит по неоттаявшим еще грунтам (конец мая — начало июня) и не так насыщается твердым материалом, как в позднее половодье. В результате этого сильно изменяется количество наносов, выносимых основными рукавами на приустьевые бары (табл. 2). Однако в целом проявляется зависимость количества поступающих на бар взвешенных наносов от водности года. В маловодные годы ($\Sigma Q_{\text{ср-мес}} < 10$ тыс. м³/с) на бар выносятся от 500 до 1000 тыс. т наносов, а в многоводные ($\Sigma Q_{\text{ср-мес}} > 11$ тыс. м³/с — от 1500 до 2200 тыс. т.

Таблица 2

Сток воды и наносов в дельте р. Яны

Год	Сумма средне- месячных расходов воды за год, м ³ /с, (водопост. Каза- чье)	Сток наносов устье про- голки Главное Русло, тыс. т (водопост Маяк)	Половодье		Летние паводки	
			тыс. т	%	тыс. т	%
1959	15 770	2178	122,5	5,6	1750,0	80,0
1960	9861	568	102,1	18,0	217,0	38,2
1961	15 571	2216	741,0	33,5	431,0	20,0
1962	10 649	933	278,5	30,0	19,4	2,1
1963	9789	827	704,0	85,0	51,1	6,2
1964	10 138	1074	856,0	80,0	89,0	8,3
1965	10 973	697	421,5	60,5	194,0	27,8
1966	13 413	1551	065,0	68,5	334,0	22,0
1967	13 954	2002	1 750,0	87,0	44,6	2,2
1968	15 050	1517	1 560,0	37,0	636,0	42,0
1969	10 660	834	297,5	35,8	294,0	35,0
1970	14 185	1874	1 692,0	90,5	—	—
1971	8890	551	1 209,5	38,2	155,0	28,0
1972	9200	714	373,2	52,4	246,0	35,0
1973	10 000	1920	331,0	17,2	1524,4	79,0

Показатели режима уровня воды в вершине дельты следующие: предполоводный подъем уровня начинается обычно в конце мая — начале июня. К моменту вскрытия реки его высота достигает 10—11 м над зимней меженью. Нередко повышение уровня воды обязано заторам льда, которые почти ежегодно образуются ниже с. Казачье (Головина, Головин, 1974). Максимальная высота собственно волны половодья не превосходила за годы наблюдений (1947—1973 гг.) 8 м над зимним уровнем (1098 см по водопосту Казачье). Как правило, половодье двухпиковое. Кратковременное снижение уровня сменяется резким повышением, вызываемым водами от таяния горных снегов, наледей и выпадающих в это время дождей. Летняя межень обычно нарушается паводками, число которых доходит до шести (Доронина, Смирнова,

1968). Из них первый имеет смешанное питание (талые воды и дожди), остальные — преимущественно дождевое. Отношение продолжительности спада паводка к продолжительности подъема варьирует от 1,5 до 2,0. В зимнюю межень наблюдаются самые низкие уровни воды: до 215 см над нулем графика водопоста Казачье. Изменчивость минимальных уровней мало ($C_v=0,08$).

Уровненный режим в пределах дельты характеризуется постепенным переходом от речных условий к условиям устьевому взморья и определяется взаимодействием речного стока, сгонно-нагонных и приливно-отливных явлений. Приливно-отливные колебания уровня на устьевом взморье незначительны. Амплитуда приливной волны зависит от ледовитости моря: летом в периоды стояния льдов у свала глубин она не превосходит 5 см, а с очищением восточной части моря возрастает до 10—15 см. Приливно-отливная волна полусуточная, прогрессивно стоячая, максимум уровня не совпадает ни с наибольшей, ни с нулевой скоростью приливно-отливного течения. Приливно-отливные волны проникают не более чем на 10—15 км от устьевых створов по протокам вверх по течению.

Амплитуда изменения уровней воды за счет сгонов и нагонов в низовьях дельты обычно не превышает 2 м. В катастрофические осенние нагоны около половины территории дельты может быть затоплено. Нагоны вызываются ветрами от северного до юго-западного направления, а ветры от южного до северо-восточного румбов вызывают сгоны. Для выделения базисного (стокового) уровня, от которого следует считать величину сгонов и нагонов, было принято, что уклон водной поверхности на устьевом участке при речном режиме зависит от уровня воды в вершине дельты, т. е. $H_p = \Delta H_y$, где H_p — уровень воды в вершине дельты, в см; ΔH_y — падение отметки водной поверхности на устьевом участке, в см. Используя данные о ветре по метеостанции Юедей и уровням по водопосту Казачье и Юедей, а также временным водопостам, организованным в дельте и на взморье (Нижнеянк, Маяк, Гребень бара), мы получили зависимости для расчета стокового уровня на этих постах: $H_{\text{Юедей}} = 0,1 \cdot H_{\text{Казачье}} + 91$; $H_{\text{Нижнеянк}} = 0,25 \cdot H_{\text{Казачье}} + 44$; $H_{\text{Маяк}} = 0,03 \cdot H_{\text{Казачье}} + 110$; $H_{\text{Гребень бара}} = 0,03 \cdot H_{\text{Казачье}} + 110$.

Полученные расчетом стоковые уровни использовались для вычисления сгонов и нагонов, значения которых получены как разность фактического и стокового уровня. Установлено, что в устьевом створе Маяк нагоны преобладают над сгонами (повторяемость соответственно 50 и 30%). Максимальная амплитуда сгонно-нагонных колебаний в устьевом створе составляет 210 см. Определена дальность проникновения вверх по реке нагонов различной высоты (рис. 2). Нагоны высотой 1 м (1%-ной обеспеченности) проникают на 60—70 км, а нагоны высотой 0,2 м (50%-ной обеспеченности) — на 30—35 км.

В связи с рассредоточением стока воды по рукавам и уменьшением уклонов водной поверхности вниз по течению средняя

Скорость потока убывает (например, на участке Казачье — Развилка в 1,5 раза). В устье основных рукавов уклон водной поверхности является функцией расхода воды в вершине дельты и высоты уровня на взморье. При высоких значениях стокового уровня в рукавах дельты уклоны значительно растут (табл. 3). При сгонах уклоны в низовьях еще больше увеличиваются и образуется выпуклая кривая спада. Нагоны создают подпор потока, и в низовьях дельтовых проток уклон иногда приобретает обратный знак. Скорости течения при стоковом уровне уменьшаются от 0,6—1,2 м/с в верхней части протоки Главное Русло до 0,3—0,6 м/с в ее устье. В протоке Правой скорости меняются меньше: от 0,5—0,8 м/с в ее начале до 0,4—0,7 м/с близ устья.

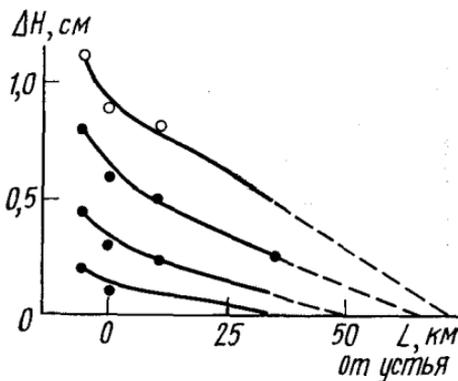


Рис. 2. Превышение нагонного уровня воды над стоковым уровнем (ΔH по длине протоки Главное Русло (для нагонов разной высоты))

На скорости течения в низовьях рукавов большое влияние оказывают колебания уровня моря (табл. 4). Во время сгона они резко возрастают, убывая или даже меняясь на обратные при нагонах. Ю. В. Налимов (1965) при сильном нагоне (+82 см) в 10 км от устьевого створа у пос. Юедей зафиксировал обратное течение со скоростью 0,033 м/с. Нами зафиксировано подобное явление 19 июля 1971 г. в устье протоки Камелек (ниже Юедей) при нагоне 60 см. Скорость обратного течения составляла 0,057 м/с. В устье протоки Правой при нагоне +80 см в 15 км выше

Таблица 3

Изменение уклонов водной поверхности, ‰, на различных участках дельты в зависимости от уровня воды в ее вершине

Водопост или участок	Уровень воды на водопосту Казачье, см								
	500	550	600	650	700	750	800	850	900
Казачье	0,034	0,039	0,045	0,051	0,057	0,063	0,069	0,075	0,081
Развилка	0,024	0,030	0,036	0,043	0,049	0,055	0,061	0,068	0,074
Казачье — Нижнеянск	0,020	0,024	0,027	0,030	0,033	0,036	0,039	0,043	0,046
Нижнеянск — Юедей	0,029	0,031	0,034	0,036	0,038	0,041	0,043	0,045	0,047
Юедей — Маяк	0,014	0,019	0,024	0,029	0,034	0,038	0,042	0,046	0,052

Изменение средней скорости потока, м/с, в устье протоки Главное Русло в зависимости от величины уровня воды в вершине дельты, нагона (плюс) и стога (минус)

Уровень воды по водопосту Казачье, см	500				700				800							
	+80	+60	+40	+20	0	-20	-40	+40	+60	+80	+60	+40	+20	0	-20	-40
Величина нагона (стога)	0,0	0,04	0,10	0,16	0,24	0,32	0,15	0,22	0,28	0,38	0,47	0,60	0,78	0,28	0,35	0,42
Юдей	—	—	—	—	—	—	—	—	0,35	0,43	0,53	0,70	0,87	—	—	0,50
Маяк	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,60
																0,47
																0,66
																0,85
																0,72
																0,87
																1,04

Сток воды, мутность и взвешенные наносы в рукавах дельты р. Яны

Рукав (протока) — пункт	Уровень воды на водопосту Казачье											
	840 см						500 см					
	Расход воды		Расход взвешенных наносов		Мутность, г/м³		Расход воды		Расход взвешенных наносов		Мутность, г/м³	
м³/с	%	кг/с	%	м³/с	г/м³	м³/с	%	кг/с	%	м³/с	г/м³	
Яна — Казачье	6000	100,0	3000,0	100,0	500	1250	100,0	30,0	100,0	24	24	
Самандон — исток	2180	36,4	2240,0	74,0	103	300	24,0	4,4	14,7	13	13	
Кочевая — исток	370	6,2	16,2	0,5	44	111	8,9	1,8	6,0	16	16	
Дурганова — исток	30	0,5	3,0	0,1	10	0	0,0	0,0	0,0	0	0	
Камелек — исток	320	5,3	82,2	2,7	257	70	5,6	1,1	3,7	16	16	
Яна — Развилка	3100	51,6	660,0	22,0	100,0	770	61,5	22,7	75,6	30	30	
Ильин-Шар — исток	400	6,7	120,0	4,0	300	10	0,8	0,1	4,3	10	10	
Правая — исток	850	14,1	210,0	7,0	248	300	24,0	5,0	12,7	17	17	
Главное Русло — исток	1850	30,8	330,0	11,0	178	460	36,8	17,6	58,6	38	38	
Главное Русло — устье	2700	—	420,0	—	156	640	—	18,0	—	28	28	
Правая — устье	890	—	163,0	—	183	220	—	3,6	—	16	16	

твеего створа средняя скорость обратного течения составила 18 м/с, при максимальной — 0,28 м/с.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА ВОДЫ И НАНОСОВ ПО РУКАВАМ; РУСЛОФОРМИРУЮЩИЕ РАСХОДЫ

С увеличением расхода воды у водопоста Казачье доля стока в главном русле вниз по течению убывает (табл. 5). Если при расходе воды в вершине дельты 1250 м³/с по пути к Развилке берется 38,4% стока, то с увеличением расхода до 7200 м³/с потери стока достигают 50,1%. В основном узле разветвления распределение стока по рукавам мало зависит от величины расхода у водопоста Казачье. По мере роста общего расхода увеличивается лишь доля стока в протоке Ильин-Шар (от 1,3 до 13%) за счет соответственного уменьшения водности протоки Правой.

При низких уровнях в вершине дельты почти все взвешенные наносы забираются протокой Главное Русло. С подъемом уровня воды увеличивается мутность в протоке Правой (от 17 до 250 г/м³ при уровнях соответственно 500 и 840 см на водопосту Казачье), и она начинает играть роль наносотсасывающей. Мутность воды в протоке Главное Русло при этом возрастает только в 5 раз. Протока Ильин-Шар при всех уровнях забирает наиболее насыщенную наносами воду (мутность от 10 до 300 г/м³).

Распределение стока воды в основном узле разветвления остается почти постоянным в течение 35 лет (1928—1974 гг.), несмотря на то что морфология узла за этот период, как будет показано ниже, изменилась. Так, в 1928 г. протока Правая забирала 30% общего расхода воды (Хмызников, 1934), в 1960 г. — 38% (Налимов, 1965); в настоящее время доля стока в ней колеблется от 30 до 39% в зависимости от уровня воды. По длине основных рукавов (в Главном Русле и протоке Правой) отток воды в мелкие ответвления компенсируется поступлением ее из озер, вследствие чего расход воды по длине мало изменяется. В Главном Русле расход к устью даже возрастает в среднем на 100 м³/с, а в протоке Правой — уменьшается всего на 60 м³/с.

Существенную трансформацию претерпевает эпюра руслоформирующего расхода от вершины дельты до устья. Расчет величины руслоформирующего расхода выполнен по методике Н. И. Маккавеева (1955). Для построения эпюры руслоформирующих расходов были использованы кривая повторяемости уровней воды в створе водопоста Казачье за период 1947—1973 гг., кривые связи соответственных уровней воды в вершине дельты и расходов воды на временных водопостах, а также кривые связи расходов воды и взвешенных наносов для каждого створа. Эпюры руслоформирующего расхода показаны на рис. 3, где Q — расход воды; PR — произведение среднего для данного интервала расхода взвешенных наносов на повторяемость \bar{P} расходов воды данного интервала. Для определения величины руслоформирующего расхода весь диапазон расходов воды разбивался на интервалы по

1000 м³/с в каждом. Величина R снималась с графиков связи расходов воды и наносов. Максимумы кривых на рис. 3 соответствуют руслоформирующим расходам воды.

Вследствие растекания воды по рукавам величина руслоформирующего расхода от створа Казачье до Развилки падает. В этом же направлении уменьшается и уровень воды в вершине дельты, соответствующий времени прохождения руслоформирующего расхода: от 950 см по водопосту Казачье до 900 см у Раз-

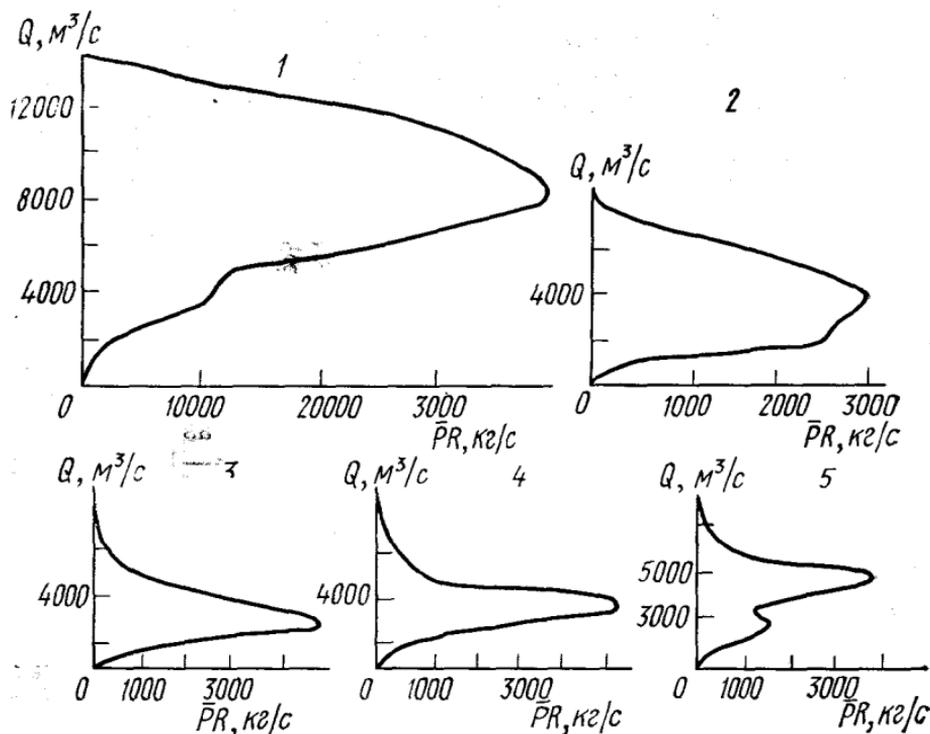


Рис. 3. Эпюры руслоформирующих расходов для различных водопостов: 1 — Казачье; 2 — Развилка; 3 — исток Главного Русла; 4 — Юедей; 5 — Маяк

вилки и до 850 см в истоке Главного Русла. Обеспеченность руслоформирующего расхода растет при этом от 3% в Казачьем до 7% на Развилке и до 8,5% в истоке Главного Русла. Таким образом, на разных участках дельты наиболее интенсивная перестройка руслового рельефа происходит при разных расходах: в вершине дельты — при уровнях затопления средней по высоте поймы, в урочище Развилка — при уровне затопления высоких прирусловых отмелей. Вдоль протоки Главное Русло уровень прохождения руслоформирующего расхода (в вершине дельты) меняется от 350 см в ее начале до 900 см в створе Юедей и до 950 см для устьевового створа Маяк (уровни по водопосту Казачье). В устьевом створе в эпюре руслоформирующего расхода

появляется второй, меньший максимум (750 см уровня по водопосту Казачье).

ДИНАМИКА ВОДНЫХ МАСС НА УСТЬЕВОМ ВЗМОРЬЕ

Речной сток на устьевом взморье не оказывает прямого влияния на уровень воды, так как волны паводков почти полностью распластываются уже в нижних частях дельтовых рукавов. Но косвенное его влияние значительное, поскольку с увеличением речного стока при прочих равных условиях нагоны становятся меньше, а сгоны — больше.

На устьевом баре протоки Главное Русло колебания уровня определяются главным образом приливно-отливными и сгонно-нагонными явлениями. В тесной связи с ними находятся изменения уклонов водной поверхности, которые в штиль близки к нулю. Во время нагона формируется кривая подпора, появляется отрицательный уклон тем больший, чем выше подъем уровня (рис. 4).

При сгоне свободная поверхность воды на баре характеризуется кривой спада; положительный продольный уклон возрастает. Кроме того, на баре возникает поперечный уклон водной поверхности с запада на восток, который даже при небольших нагонах достигает 2—5 см/км.

От устьевого створа начинается быстрое растекание речного потока. Из-за наличия поперечного уклона растекание происходит преимущественно на правое крыло бара, что влияет на распределение расходов воды между баровыми бороздинами. Интегральное распределение расходов воды при штиле

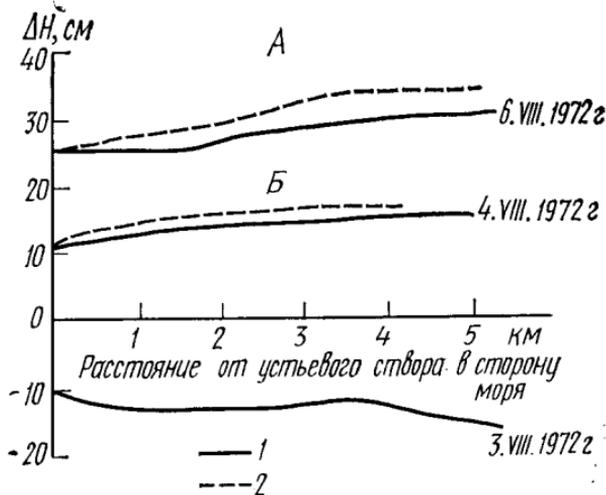


Рис. 4. Форма свободной поверхности воды на устьевом баре протоки Главное Русло во время нагона (А) и сгона (Б):
1 — Восточная бороздина; 2 — Заманиха; ΔH — величина сгона и нагона по водопосту Маяк

показано на рис. 5. К приверху барового осередка доходит 90% стока воды, поступающего к устьевому створу. Между баровыми бороздинами в их начале поток распределяется примерно одинаково. До устья западной бороздины Заманихи доходит 10% общего расхода. К устью Восточной (судоходной) бороздины доходит лишь 5% общего стока. Уже небольшой подпор меняет картину распределения расходов воды (рис. 5,Б). На протяжении первых 7 км на правое крыло бара уходит 65% всего стока. Судоходная бороздина на ее морском крае наполнена водой, поступающей через осередок из Заманихи.

Скорости течения и их направления по устьевому бару в штиль показаны на рис. 6,А. В связи с существованием двух бороздин течение на बारे имеет два стержня. Скорости течения в истоках обеих бороздин около 70 см/с. Вдоль Заманихи на начальном участке длиной 5 км они увеличиваются, а затем, из-за растекания струй, падают до 20 см/с. Вдоль Восточной (судоходной) бороздины уменьшение скоростей течения происходит быст-

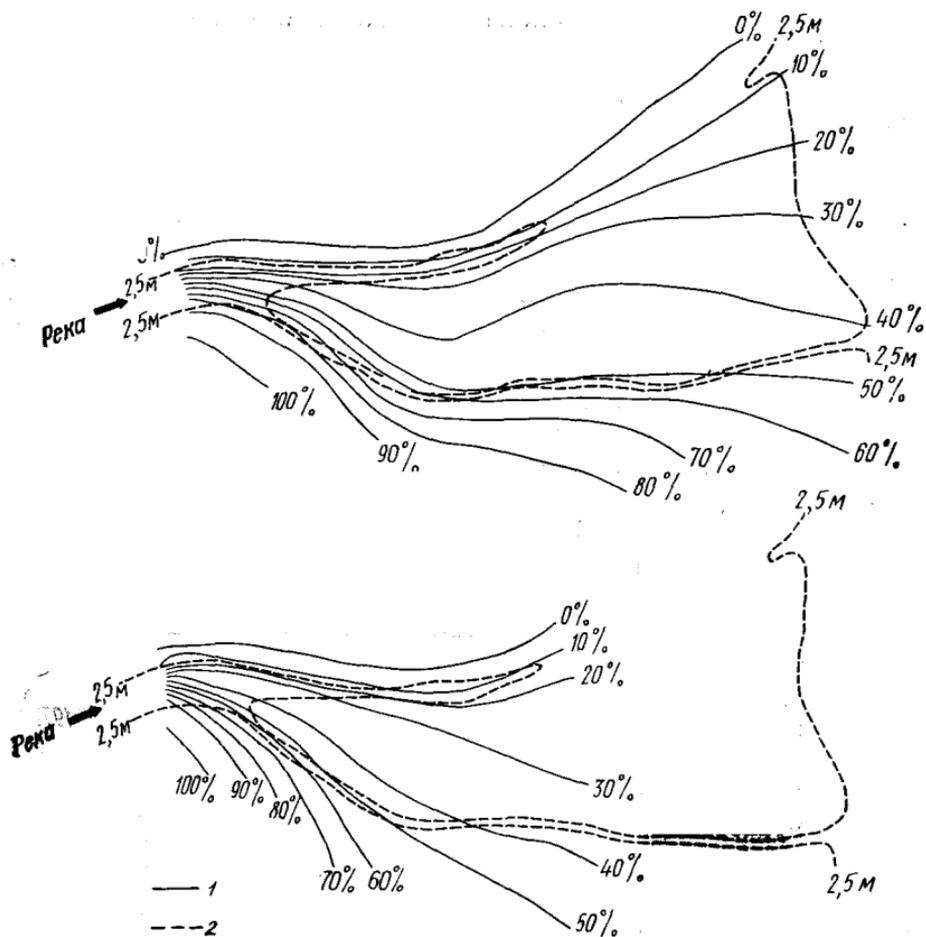


Рис. 5. Интегральное распределение расходов воды (в % к общему расходу) на устьевом बारे протоки Главное Русло при штиле (А) и при нагоне (Б):

1 — контуры бороздин и морского края; 2 — границы плановых струй

рее, в ее устье величина скорости всего 10—15 см/с. Скорости на осередке убывают от 40 см/с в районе приверха до 10 см/с на морском крае бара. В разные годы направление течения может сильно различаться. В 1960 г. оно отклонялось на 20—40° к западу, в 1971 г.—на 40—60° к востоку от направления изобат. В 1972 г. отклонение к востоку стало меньше—20—50°. В 1973 г.

направление течения в штиль в целом соответствовало направлению изобат, слабо ($5-10^\circ$) отклоняясь на запад.

Во время нагона (а при малом речном стоке и в прилив) скорости течения убывают по всему устьевому бару (рис. 6,Б) и

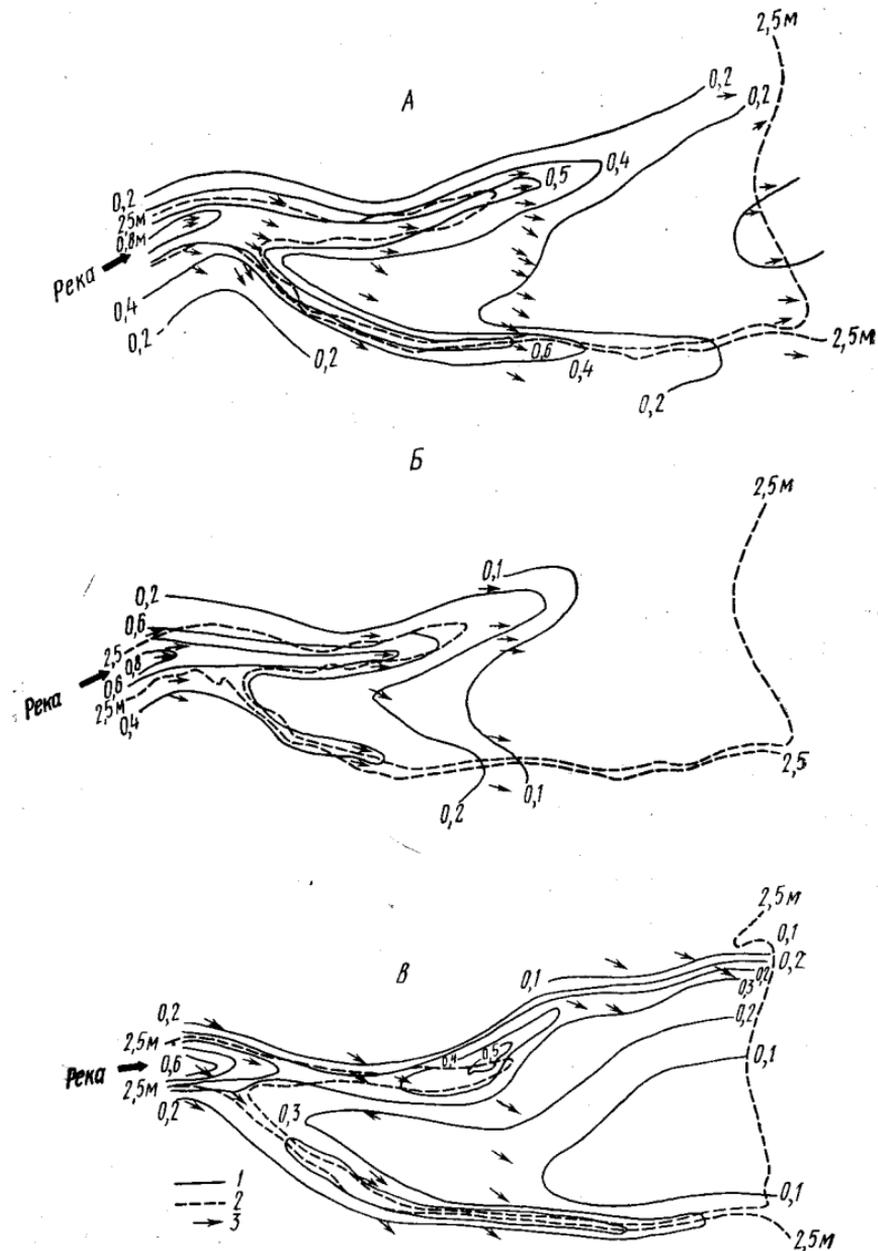


Рис. 6. Скорости и направления течения на устьевом баре протоки Главное Русло при штиле (уровень 750 см по водопосту Казачье) (А), при нагоне (Б) и при сгоне (В):

1 — изотахи, м/с; 2 — изобаты; 3 — направления течения

особенно в мористой его части. С увеличением высоты нагона течение в мористой части бара совершает левый поворот и меняет свое направление на обратное. Совершенно другого характера трансформацию течений вызывают сгоны и отливы (рис. 6, В). Скорости течения особенно заметно повышаются в Заманихе. Динамическая ось потока при этом смещается на правое крыло бороздины, а устьевая часть Заманихи попадает под влияние вод взморья, поступающих с запада.

Распределение мутности по глубине потока на устьевом баре характеризуется ее увеличением ко дну. От поверхности до горизонта 0,6 Н мутность меняется мало, ниже быстро растет и в придонных горизонтах более чем в 1,5—2,0 раза превышает мутность в верхнем слое воды. Распределение мутности воды в плане зависит во время штиля от фазы гидрологического режима реки. При низких уровнях воды в реке мутность невелика (до 70 г/м³) и изменяется вдоль Заманихи от 30—70 до 10—40 г/м³, а вдоль судоходной бороздины от 20—40 до 10—20 г/м³. На осередке мутность не превышает 10—20 г/м³. На подъеме волны паводка мутность вод, поступающих на бар, сильно увеличивается. В Заманихе средняя мутность возрастает до 400—600 г/м³, а максимальная до 1040 г/м³. На осередке и в судоходной бороздине мутность редко превышает 150—250 г/м³. Высокие значения мутности воды сохраняются вдоль бороздин вплоть до свала глубин, где они резко уменьшаются. Зависимость мутности от местной скорости течения и уровня воды показана в табл. 6. Во время шторма интенсивное взмучивание донного грунта приводит к сильному росту мутности воды на осередке (до 400 г/м³) и в устьевых частях бороздин (до 600 г/м³).

Таблица 6

Изменение средней мутности воды в судоходной бороздине в зависимости от местной скорости потока и уровня воды в вершине

Скорость течения, м/с	Мутность потока, г/м ³ , при уровнях воды в створе Казацье, см		
	600	650	700
0,2	15	32	48
0,4	25	45	62
0,6	33	52	80
0,8	40	60	93

Зависимость мутности от местной скорости течения и уровня воды показана в табл. 6. Во время шторма интенсивное взмучивание донного грунта приводит к сильному росту мутности воды на осередке (до 400 г/м³) и в устьевых частях бороздин (до 600 г/м³).

Высоты ветровых волн рассчитывались по методу

спектра для двух положений кромки льда, определяющих длину разгона: первое — на морском крае устьевого бара около 5-метровой изобаты (минимальный разгон), второе — на расстоянии 42 км и более от морского края бара, приблизительно в районе 20-метровой изобаты. Учитывались шторма всех направлений, кроме южных, при скоростях ветра 10 и 20 м/с. В зависимости от скорости и направления ветра определялась глубина на баре, изменяющаяся в результате сгона либо нагона и перекося водной поверхности. Высоты волн устанавливались по номограммам А. П. Браславского (1952).

Анализ построенных полей высот волн на устьевом баре Главного Русла позволяет установить, что наибольшей высоты волны достигают при ветрах северной четверти. При этих ветрах волны особенно высоки в баровых бороздинах и русле реки у устьевого створа. Основное отличие между волнами, возбуждаемыми ветрами западного и восточного румбов, определяется неодинаковой глубиной на крыльях бара. Мелководность западного крыла и приглубость восточного обуславливают возникновение самых больших волн в Восточной (судоходной) бороздине. При положении кромки льда в 45 км от морского края бара волна, попадая на бар, трансформируется и уменьшает высоту. При положении кромки льда на свале глубин морского края высота волн вдоль бара увеличивается.

На участке устьевого взморья между барами обеих главных протоков динамика водных масс определяется преимущественно морскими факторами. Здесь возникает циркуляция воды, типичная для пляжей, и система ветроволновых прибойных течений. Если течения на взморье вызываются в основном массовым переносом воды ветровыми волнами, т. е. являются энергетическими (Шадрин, 1972), то соотношение между потоками, перпендикулярными и параллельными берегу, будет зависеть от угла подхода волновых фронтов к линии берега (скорость вдольберегового потока находится в прямой зависимости от синуса угла подхода фронта, а перпендикулярных течений — от его косинуса). По методу волновых лучей (Бретшнайдер, 1970) были построены рефракционные диаграммы для ветров со скоростью 10 м/с всех волнообразующих направлений с различной величиной разгона. Поле скоростей волн определялось по номограммам (Ржеплинский и др., 1968). Анализ рефракционных диаграмм показал, что при разгонах ветра меньше 10 км по северному направлению рефракции практически не происходит, волны подходят к берегу под углом, соответствующим направлению ветра и простираию линии уреза. Западный и северо-западный ветры создают вдольбереговое течение, направленное на восток на восточном участке взморья. Восточный ветер развивает на этом участке перенос воды на запад. Северо-восточные ветры обуславливают течение на запад вдоль всего края дельты, северный ветер продуцирует вдольбереговую составляющую течения на запад только на западном участке взморья.

Когда ледовый покров отступает от края дельты более чем на 30 км, волны претерпевают полную рефракцию на пологой прибрежной отмели Янского залива и подходят параллельными берегу фронтами при ветрах всех северных румбов; при этих ветрах развивается интенсивный перенос воды перпендикулярно береговой линии. Хорошо развитые вдольбереговые течения возникают только при западных и восточных ветрах (направление течения соответствует направлению ветра) на восточном участке взморья. Первый из упомянутых вариантов прибрежной цирку-

ляции вод — при малых длинах разгона волн — наблюдается реже (в течение не более одного месяца за лето), чем второй, когда волны проходят достаточный путь, чтобы перестроить свой фронт параллельно изобатам. Соответственно на значительной части приустьевого взморья течения, переносящие воду и наносы перпендикулярно берегу, играют меньшую роль, чем вдольбереговые течения.

ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ДЕЛЬТОВЫХ ПРОТОК И УСТЬЕВЫХ БАРОВ

Современные отложения в основных рукавах дельты и на их барах имеют различный гранулометрический состав от мелкоалевритового ила до мелкой гальки. Все песчаные типы наносов характеризуются (по классификации Н. М. Страхова и др., 1954) хорошей сортированностью (коэффициент сортировки $S_0 = 1,03 - 1,45$). Сортированность более тонкого материала заметно ухудшается: для крупного алеврита она колеблется в пределах 1,28—2,2, а для мелкоалевритового ила 1,4—2,3. В вершине дельты русло выстилается преимущественно галькой, но уже в районе Развилки галька исчезает, и лишь немногим более 50% площади речного ложа покрыто песчаными грунтами, остальная часть — алевритовыми илами. В результате средневзвешенный диаметр наносов $d_{ср}$ в районе основного узла разветвления составляет всего 0,11 мм.

Максимальная крупность наносов в протоке Главное Русло составляет 0,13 мм, в протоке Правой — 0,11 мм, а минимальная — 0,04 мм для обеих протоков. От Развилки вниз по течению происходят уменьшение средней крупности наносов и постепенная смена песчаного аллювия алевритами. В протоке Правой песчаные наносы исчезают полностью в 10 км от устья, сменяясь крупными алевритами, а на выходе на бар — мелкоалевритовым илом. В Главном Русле доля песчаных наносов сокращается (в процентах от общей площади дна) почти в 5 раз. Непосредственно перед выходом на бар наблюдается некоторое увеличение средней крупности наносов и заметное возрастание (более чем в 3 раза) площадей русла, занятых мелкими и мелкосреднезернистыми песками. Это свидетельствует о выносе песков из протоки Главное Русло на бар и, следовательно, о большем их значении в формировании последнего, чем у протоки Правой.

На изменение крупности по длине проток оказали влияние нагоны. В Главном Русле площади, занятые мелкозернистым песком, резко сокращаются возле границы максимального проникновения нагонов, а затем — в зоне, находящейся под систематическим их влиянием (соответственно, на 60—70 и 30—35 км выше устьевого створа) по сравнению с выше- и нижележащими участками. Гораздо хуже проявляется влияние сгонно-нагонных явлений в распределении наносов по протоке Правой. Однако и здесь наблюдается заметное уменьшение площади русла, высти-

даемой песчаными наносами, ниже границы максимального проникновения нагонов (до 22,3% по сравнению с 59% на вышележащем участке).

На фоне общего уменьшения крупности донных грунтов к устью средневзвешенный диаметр колеблется в зависимости от ширины русла (рис. 7), формы и крутизны излучин. Наиболее крутые излучины в зоне влияния систематических нагонов характеризуются укрупнением наносов вдоль вогнутого берега даже при нарушении условий безотрывного обтекания. Вне влияния сгонно-нагонных колебаний уровня в крутых излучинах наиболее крупные наносы отмечаются возле выпуклого берега. Кроме того, каждая крутая меандра характеризуется общим увеличением крупности наносов, что связано с возрастанием эрозионной способности потока на изгибе русла. Например, в пределах излучины на 80-м км Главного Русла (считая от устья) $d_{cp}=0,12$ мм, тогда как на смежных излучинах выше и ниже по течению, имеющих меньшую крутизну, $d_{cp}=0,08$ мм.

Локальные изменения крупности наносов обусловлены также чередованием плесов и перекатов. Обычно плесовые лощины выстилаются тонкозернистыми песками, побочни перекатов — алевритами, а сами перекаты — мелкозернистыми, а в районе Развилки и выше по течению — среднезернистыми песками. По мере приближения к устью усиление влияния морских факторов приводит к изменению распределения наносов разной крупности по морфологическим элементам русла. Если в районе Юедея наиболее крупный материал приурочен к глубоким участкам русла, то в створе Маяка, наоборот, плесы выстилаются алевритами, а отмели — песками.

В пределах устьевых баров бороздины выстилаются мелкоалевритовыми илами. Мелководные участки бара (осередки, крылья) сложены тонкими песками ($d_{cp}=0,10-0,14$ мм) и крупным алевритом ($d_{cp}=0,05-0,10$ мм). Сортированность наносов хорошая ($d_{cp}=1,11$). Эта картина нарушается локальным укрупнением наносов в устьях бороздин. На баровом осередке в сторону моря уменьшается крупность наносов от мелкого песка до ила, который начинается с глубины 1,5 м и выстилает морской склон бара, а также дно Янского залива.

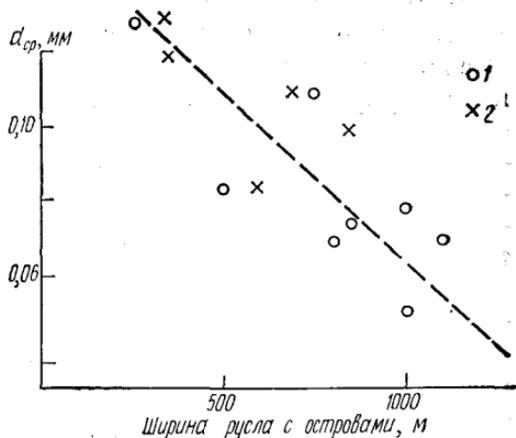


Рис. 7. Зависимость средневзвешенного диаметра наносов от ширины русла: 1 — Главное Русло; 2 — Протока Правая

Границы ареалов грунтов мигрируют в зависимости от изменения условий осадкообразования. Сравнение съемок за период 1971—1973 гг. позволяет выделить два типа распределения наносов по крупности на баре. Первый отличается более пестрой и беспорядочной дифференциацией наносов по площади, разобщением полосы мелкоалевритовых илов в бороздинах на отдельные замкнутые контуры и появлением участков с мелким песком, приуроченных к приверху барового осередка, истоку Восточной бороздины, греб-

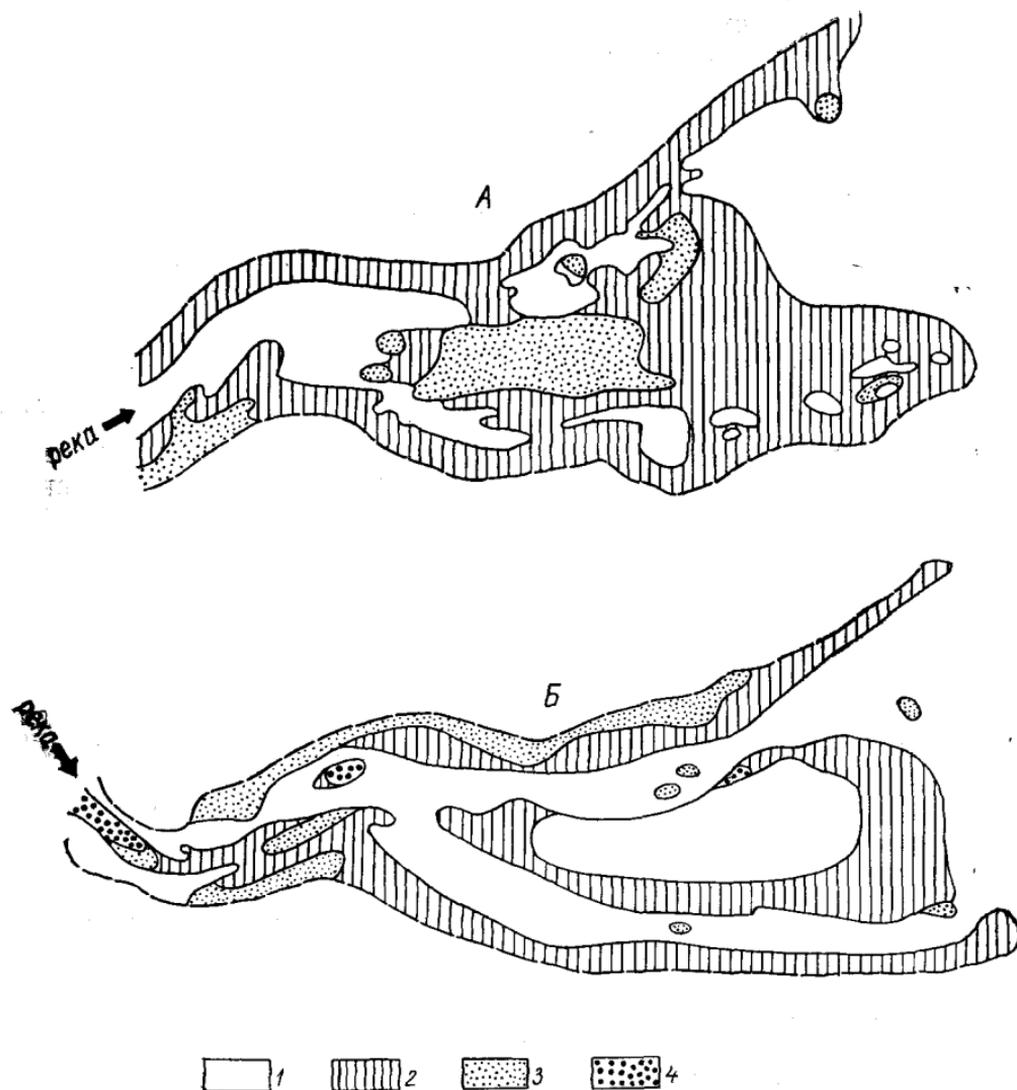


Рис. 8. Распределение донных грунтов на баре протоки Главное Русло при разной гидрологической обстановке на взморье и в дельте:

А — условия раннего очищения бара ото льда и основного стока наносов в летние паводки; Б — условия позднего вскрытия бара и основного стока наносов во время половодья; 1 — мелкоалевритовый ил; 2 — алеврит крупный; 3 — песок тонкий; 4 — песок мелкий

ию бара и устьем обеих бороздин. Это распределение связано с ранним очищением Янского залива и бара ото льда и прохождением основной доли наносов в период летних паводков (рис. 8,А). Второй тип распределения наносов наблюдается при позднем вскрытии бара (например, в 1972 г.), когда большую часть навигации лед стоит на его морском крае, а также при прохождении главной части твердого стока в период весеннего половодья. Такие условия способствуют увеличению площади распространения илистых грунтов (рис. 8,Б). Ареалы разных по крупности грунтов относительно стабильны в течение навигации. Осенние штормы вносят изменения лишь в приустьевых частях баровых бороздин, где формируется алевритовая или песчаная перемычка относительной высотой 30—40 см. Эта перемычка отделяет илы бороздин от илов взморья и образована работой волн.

Возможность поступления наносов со стороны моря в баровые бороздины подтверждена экспериментом с люминисцентно меченым песком. Меченый песок при северо-северо-западном шторме продвигался вверх по течению до приверха барового осередка и там аккумулировался. После шторма стоковые течения со скоростями 0,40 м/с не могли удалить принесенный материал, который сохранился до конца навигации. Илы в бороздинах и на взморье имеют темно-серый цвет, включают растительный детрит и во влажном состоянии очень вязкие. Пески с поверхности сильно уплотнены.

МЕРЗЛОТА В УСТЬЕВЫХ БАРАХ

Дельта Яны расположена в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород (Иванов, 1969), причем установлено их наличие на мелководном взморье. Под дном Янского залива мощность мерзлых пород составляет не менее 20 м (Григорьев, Катасонов, 1964). На морском крае бара многолетнемерзлые породы с отрицательными температурами выклиниваются на участках дна глубиной 2 м. Слой талого грунта здесь составляет не менее 4 м, и мерзлота залегает в виде «kozyрька». Однако до сих пор оставался не выясненным вопрос о наличии многолетнемерзлого грунта под руслами дельтовых протоков и баровых бороздин, так как буровые скважины не закладывались в пределах русла. Данные А. А. Дорониной (1962) о наличии мерзлоты под руслом Яны в районе с. Куйги (среднее течение) на глубинах 1,75—4,40 м не могут быть экстраполированы на территорию устьевого взморья.

Создается впечатление, что сезонное промерзание донных грунтов и его смыкание с верхней границей многолетнемерзлых пород происходит прежде всего на участках дна, где глубины не превышают толщину ледового покрова, и последний ложится непосредственно на грунт. Толщина льда на баре протоки Главное Русло колеблется в разные годы от 1,5 до 2,2 м. После очи-

шения бара от льда и по мере потепления речных вод начинается образование слоя сезонного протаивания. Первые признаки образования деятельного слоя отмечаются с момента появления воды на льду (обычно это конец мая), а интенсивное протаивание начинается после схода ледового покрова.

Выполненное в течение навигации точечное зондирование позволило получить картину распространения мощностей слоя сезонного протаивания на баре и его динамику во времени. Мощность деятельного слоя увеличивается с июня по сентябрь

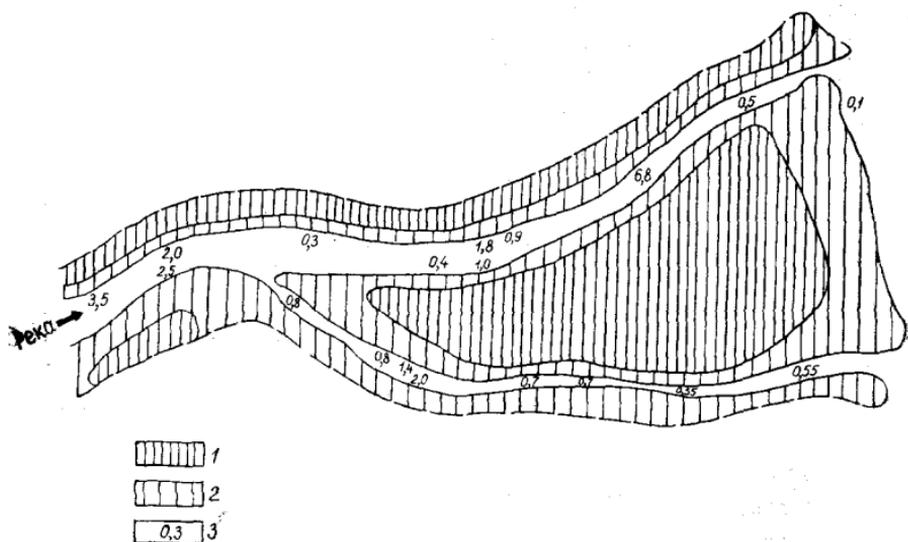


Рис. 9. Схема распределения мощностей слоя сезонного протаивания на баре протоки Главное Русло:

1 — менее 1 м; 2 — 1—2,5 м; 3 — более 2,5 м, цифрой показана глубина, начиная с которой грунт уплотнен

от 20 до 100 см на крыльях и осередке бара. Вместе с тем, в пределах устьевго взморья можно выделить несколько зон, различающихся по мерзлотным условиям (рис. 9). Наиболее четко выделяется зона с минимальной мощностью слоя сезонного протаивания. Она охватывает крылья бара (особенно западное), надводные и подводные осередки и характеризуется мощностью деятельного слоя от 0,5 до 1,0 м. В наиболее глубоких частях Главного Русла, в баровых бороздинах и на взморье мерзлота не обнаружена, но наблюдается уплотнение грунта на различной глубине от поверхности дна: от 3,5 м в устьевом створе до 0,3 м в Заманихе и 0,5 м в Восточной бороздине. На морском крае бара на глубинах 3—4 м плотные грунты лежат близко от поверхности (0,1 м). Между этими зонами располагается промежуточная, где мощность деятельного слоя варьирует от 1 до 2 м. Эта зона широко распространена на восточном крыле бара, что, возможно, связано с отепляющим воздей-

ствием асимметрично растекающихся речных вод. Уплотненность грунта, подстилающего бороздины и русло, может быть связана с существованием не мерзлых (сцементированных льдом), а морозных пород. Подобное явление отмечалось Н. Ф. Григорьевым (1958) на बारे протоки Правой, где, по данным бурения, под слоем сезонного протаивания были обнаружены перелетки из мерзлых пород мощностью 0,6—2,5 м, под которыми опять шли талые грунты.

РУСЛОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАЗВИТИЕ БАРОВ

Распределение расхода воды по рукавам, постепенное усиление влияния моря на гидрологический режим и уменьшение крупности донных грунтов от вершины дельты до устья обуславливают закономерные изменения характера русловых деформаций вниз по течению. Это проявляется в морфологии русла, интенсивности размыва берегов, форме и скорости смещения излучин. По особенностям морфометрии и русловых деформаций основные рукава могут быть разбиты на четыре участка, отличающихся в каждом рукаве по протяженности, что связано с разной водностью рукавов и неодинаковой дальностью проникновения по ним сгонно-нагонных колебаний уровня (табл. 7).

Первый участок включает в себя русло Яны от вершины дельты до урочища Развилка и верхние отрезки основных рукавов — Главного Русла и протоки Правой. В гидрологическом режиме здесь преобладают речные факторы. Характерно развитие пологих сегментных излучин с большим радиусом кривизны, с отношениями $l/\alpha < 1,6$ (l — длина русла по излучине, α — шаг излучины) и $r/b > 3$ (b — ширина русла, r — радиус кривизны излучины). Установлено незначительное (в пределах одного-двух десятков метров) продольное смещение излучин со времени первой съемки русла Яны, выполненной П. К. Хмызниковым (1934). За это время существенных изменений очертаний главного русла не произошло. Исключением являются урочище Развилка и сами рукава, где интенсивность отступления берегов 2—5 м/год, а излучины становятся крутые ($l/\alpha > 1,6$). По-видимому, это связано с увеличением обеспеченности руслоформирующих расходов и снижением водности основных рукавов по сравнению с участком русла выше Развилки, вследствие чего радиусы кривизны излучин здесь уменьшаются. Наиболее существенная перестройка русла имела место в районе Развилки, где на заходе в Главное Русло произошло спрямление излучины. В результате узел разветвления на основные рукава переместился вверх по течению на 1,5 км.

Несмотря на малую изменчивость очертаний русла в данном участке дельты для него характерно интенсивное блуждание динамической оси потока. Побочни, создающие вторичную извилистость потока, смещаются со скоростью до 60 м/год, что приводит к попеременной закупорке песками входа то в одну,

Изменение морфологии и динамики русла р. Яны от вершины дельты до ур. Развилка и протоки Главное Русло

Номер излучины	Расстояние от устья до вершины излучины, км	Радиус кривизны излучины, м	Средняя максимальная глубина русла, м	Средняя ширина русла, м	Средняя скорость размыва берегов*, м/год	Коэффициент стабильности русла, K_c **
Первый участок						
1	157	1500	6,0	900	—	18,5
2	142	3500	6,7	700	—	2,9
3	134	3500	8,9	500	—	4,0
4	123	6000	9,5	400	—	5,5
5	117	7000	9,1	500	—	4,4
6	105	4000	8,1	700	—	2,3
7	97	1000	7,3	530	5,7	3,0
8	92	1000	9,4	530	2,0	4,5
9	86	2000	8,9	360	2,4	5,6
Второй участок						
10	79	1200	14,0	300	3,3	8,3
11	76	700	16,2	240	3,5	10,4
12	73	1200	11,3	300	3,0	8,3
13	70	1600	10,8	380	2,5	6,6
14	66	1600	12,2	280	3,2	10,2
15	61	1500	11,4	400	2,3	7,2
16	57	700	14,4	390	2,6	8,6
17	54	480	6,6	600	3,5	6,9
18	52	450	14,9	250	2,2	10,7
19	47	500	14,2	400	3,3	6,7
20	45	1000	11,0	440	2,2	7,6
21	41	900	8,2	560	2,1	5,1
Третий участок						
22	38	700	11,2	340	2,8	8,4
23	35	300	11,8	310	2,1	9,2
24	31	1000	5,6	480	5,8	6,0
25	28	500	12,1	470	4,2	5,3
26	26	500	10,2	440	3,8	5,7
Четвертый участок						
27	23	6000	10,0	550	2,0	2,5
28	16	4500	8,7	800	2,0	1,6
29	13	3800	10,0	500	4,0	4,0
30	10	2900	8,0	800	—	2,8
31	4	2200	7,4	700	15,5	2,5
32	0	2800***	4,3	800	—	2,2
		1200				

* Скорость размыва берегов определялась сравнением аэрофотоснимков за летов 1951 и 1972 гг.

** Коэффициент стабильности русла K_c определялся по формуле Н. И. Макавеева (Экспериментальная геоморфология, 1969).

*** Нижнее крыло излучины 32 образует баровые бороздины; радиус кривизны указан в числителе — для захода в Заманиху, в знаменателе — в Восточную бороздину.

то в другую протоку. Период подобных изменений составляет 7—15 лет. Одной из причин изменения положения стержня потока в верховьях основных рукавов является также достижение излучинами такой кривизны, при которой происходит нарушение условия безотрывного обтекания потоком вогнутого берега. В этом случае русло расширяется, мелеет, в нем образуются осередки и острова, а стрежень потока, ранее следовавший вдоль вогнутого берега, смещается ближе к выпуклому берегу. Подобные переформирования охватывают период около 30 лет.

В верхнем участке дельты, по-видимому, идет медленное, но систематическое накопление наносов в русле и, следовательно, повышение отметок его дна. Об этом свидетельствует регрессивный рост островов, что является признаком современной аккумуляции (Маккавеев, Чалов, 1963). Нарастивание отметок дна вызывает подъем уровня воды, в этом кроется причина переселения в середине XIX в. жителей с. Усть-Янск (существовавшего с 1634 г.) в с. Казаچه в связи с участвовавшими случаями затопления села полыми водами (Скворцов, 1930). По этой же причине в вершине дельты, где от русла Яны ответвляется протока Самандон, формируется сложный перекаточный участок, в пределах которого стрежень потока постоянно меняет свое положение.

На *втором участке* дельты основные рукава образуют серии сегментных и сундучных излучин, крутизна которых обычно невелика ($l/a < 1,6$), почему выполняется условие безотрывного обтекания потоком линии вогнутого берега. Здесь уменьшается относительно первого участка средний радиус кривизны излучин, ширина русла, но возрастает его глубина. У выпуклых берегов некоторых излучин расположены острова, возле которых главное течение попеременно сосредоточивается то в левых, то в правых протоках под влиянием перемещающихся побочней перекаотов. Полный цикл таких переформирований совершается обычно в течение 12—15 лет. Заметно поперечное перемещение излучин, средняя скорость которого 3,3 м/год, хотя продольное смещение преобладает (2—6 м/год).

Размыв берегов происходит в очень эффективной форме (Хмызников, 1934; Гусев, 1959; Розенбаум, 1973). Во время паводка теплая вода оттаивает мерзлые породы пойменных яров и легко смывает тонкую разжиженную массу поверхностного слоя, экспонируя вновь мерзлую толщу. К концу паводка на уровне высоких вод образуется глубокая (до 3 м в глубь берега) ниша, над которой нависает блок мерзлой породы. Затем этот блок или обрушивается, или изгибается и свешивается по откосу берега; последнее происходит, если пойменные суглинки перекрыты мощной торфяной подушкой. Торф слабо размывается течением и некоторое время защищает берега. В результате за один паводок может быть смыт участок берега 5—10 м

шириной, но затем изменений линии берега в течение нескольких лет не происходит. Размыв носит импульсный характер. Суммарный итог изменения конфигураций берега оказывается поэтому довольно скромным — в Главном Русле средняя скорость размыва берегов (сравнение аэрофотоснимков залетов 1951 и 1972 гг.) оказалась равной 3,2 м/год, при максимальных скоростях на отдельных участках 8—12 м/год.

В целом второй участок характеризуется малой интенсивностью русловых переформирований. Он также находится в зоне преобладающего влияния речного режима, но уже с меньшими энергетическими характеристиками потока из-за растекания воды по рукавам дельты. Кроме того, здесь ощущается при сильных нагонах подпор потока.

На третьем участке дельты активность русловых переформирований не возрастает, хотя здесь они происходят как под воздействием речного стока, так и под влиянием нагонов. Действие последних сказывается на форме излучин русла — «завале» вверх по течению, нарушении безотрывного обтекания потоком вогнутого берега ($r < 2,5b$, часто $r = b$) и превышении оптимального для извилистого русла соотношения между длиной и шагом излучины ($l/a > 2,0$). Несмотря на это, спрямления излучин путем их прорыва или перемещения стрежня потока к выпуклым берегам очень редки. В обоих основных рукавах образовались серии очень крутых поворотов. По-видимому, подобная картина объясняется систематическим подпором во время нагонов. Характерно, что протяженность третьего участка по протоке Правой почти в два раза больше, чем по Главному Руслу, поскольку по ней волны нагонов проникают дальше вверх по течению.

Для каждой излучины основных рукавов, начиная со второго участка, были определены величины среднегодового размыва берегов на единицу длины излучины. Интенсивность отступления берегов оказалась пропорциональной величине радиальной скорости потока, т. е. $v_{\text{разм}} = a \frac{b}{r}$. Коэффициент a характеризует эрозионную способность потока на излучине, изменяясь по длине рукавов (рис. 10). Четко выделяются участки повышенной эрозионной способности (большие значения a) от верхней границы второго участка до 50 км по Главному Руслу и до 65 км по протоке Правой. Ниже, соответственно до 15 и 12 км, эрозионная способность падает, причем места резкой смены величин коэффициента a совпадают с границами проникновения максимальных нагонов по обоим протокам.

Четвертый участок отличается наиболее активными русловыми переформированиями. Он расположен в зоне повышенной динамики водных масс. Здесь наблюдаются обратные уклоны при штормовых нагонах и резкое увеличение прямых уклонов во время стонов. Этот участок непосредственно сопрягается с наиболее изменчивыми и подвижными элементами устьевой об-

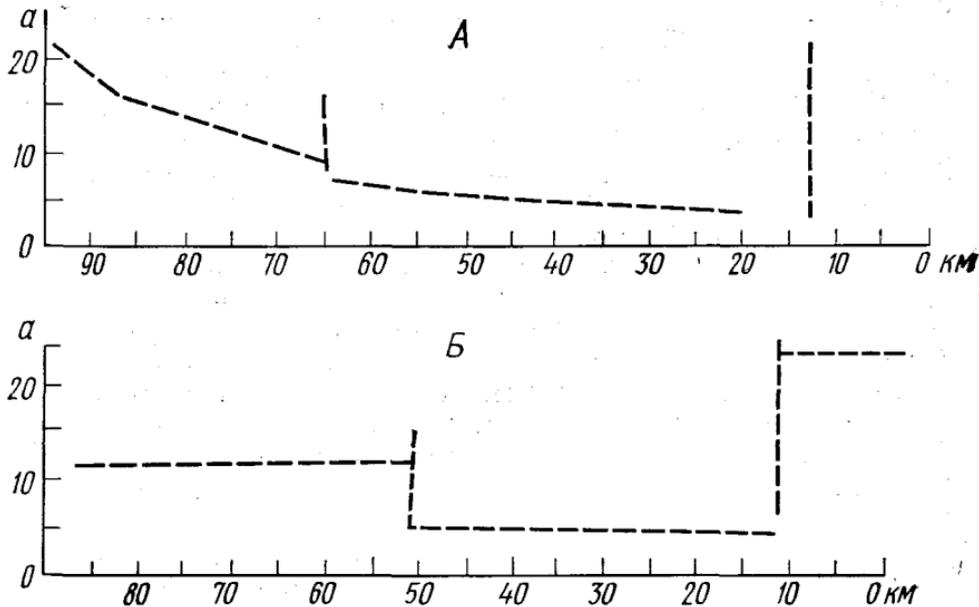


Рис. 10. Изменение коэффициента a в формуле $v_{\text{разм}} = a \frac{b}{r}$ по длине основных рукавов дельты Яны:
 А — Главное Русло; Б — протока Правая

ласти — устьевыми барами, и деформации русла в его пределах сказываются на режиме переформирований последних. Наибольший интерес представляют особенности развития приустьевого участка судоходной протоки — Главного Русла — мелководный устьевой бар которой затрудняет проводку судов. Здесь имеется пять излучин, из которых две нижние расположены среди молодых дельтовых образований, незакрепленных растительностью. Радиусы их кривизны уменьшаются вниз по течению от 6 до 2,2 км. В нижнем крыле пятой излучины (31 в табл. 7), непосредственно сопрягающемся с баровыми бороздинами, находится временный водопост Маяк. В пределах четвертой излучины русло разделяется большим осередком, правая протока возле которого соединяется с рукавом Камелек.

На двух верхних пологих излучинах русловые переформирования сравнительно замедлены. Вогнутые берега размываются со скоростями 1—3 м/год, и сами излучины медленно смещаются вниз по течению. В третьей излучине (в створе Юедея) деформации более активны. Вогнутый правый берег отступает на 3—5 м/год; в то же время левобережный побочень смещается со скоростью до 20 м/год и, надвигаясь на осередок, разветвляющий русло, обуславливает попеременное развитие то левой, то

правой протоки. Нижние излуины смещаются вниз по течению со скоростью до 20 м/год и более, и их переформирования оказывают непосредственное влияние на устьевой бар.

В частности, сравнительно быстрое продольное перемещение последней излуины у Маяка способствует преимущественному развитию западной бороздины — Заманихи. Восточная бороздина перекрывается песками, и заход в нее обнаруживается далеко не всегда. Однако в начале 50-х годов она развивалась, что явилось следствием существенного искривления нижних излуин и их активного в этот период поперечного перемещения. В 60-е — 70-е годы вновь преобладает смещение излуин вниз по течению: третья излуина спустилась, если считать по оси пояса меандрирования, на 500 м, четвертая — на 1000 м и пятая последняя — на 800 м (рис. 11). Так как узел разделения баровых бороздин в сторону взморья практически не переместился, это привело к изменению радиусов кривизны при сопряжении нижней излуины с каждой из бороздин. Радиус сопряжения с судоходной бороздиной уменьшился от 3,0 до 1,2 км, а с Заманихой — от 9 до 2,8 км. В результате истоки судоходной бороздины оказались на выпуклом берегу, а заход в Заманиху представляет собой продолжение вогнутого берега излуины, что способствовало увеличению расхода воды в последней и ее частичному размыву.

Изменение характера смещения нижних излуин, в свою очередь, зависит от положения главного течения возле осередка в вершине четвертой излуины. При малой ее кривизне оно сосредотачивалось в левой протоке, вызывая размыв вогнутого берега, что со временем привело к смене продольного перемещения излуин на поперечное. Вместе с тем искривление излуины привело к разработке более прямой правой протоки у осередка. Этому способствовало смещение вышележащей излуины вниз по течению и надвижение левобережного побочня на заход в левую протоку. Эти переформирования происходят на фоне более общих, связанных с перемещением вниз по течению всей системы излуин.

ДИНАМИКА УСТЬЕВОГО БАРА ПРОТОКИ ГЛАВНОЕ РУСЛО И ПРОГНОЗ ЕГО ДЕФОРМАЦИЙ

Переформирования устьевого бара вызываются речными и морскими факторами. Речные факторы обуславливают периодическое искривление истоков баровых бороздин и их обмеление за счет аккумуляции наносов в зонах замедления течения. К таким же последствиям приводит движение крупных гряд донных наносов, которые закупоривают истоки баровых бороздин, после чего происходит разработка нового захода в них и присоединение отторженной части отмели к приверху барового осередка. Время смещения гряд на полную длину и период вышеописанных изменений не превышает 40 лет. Продольное переме-

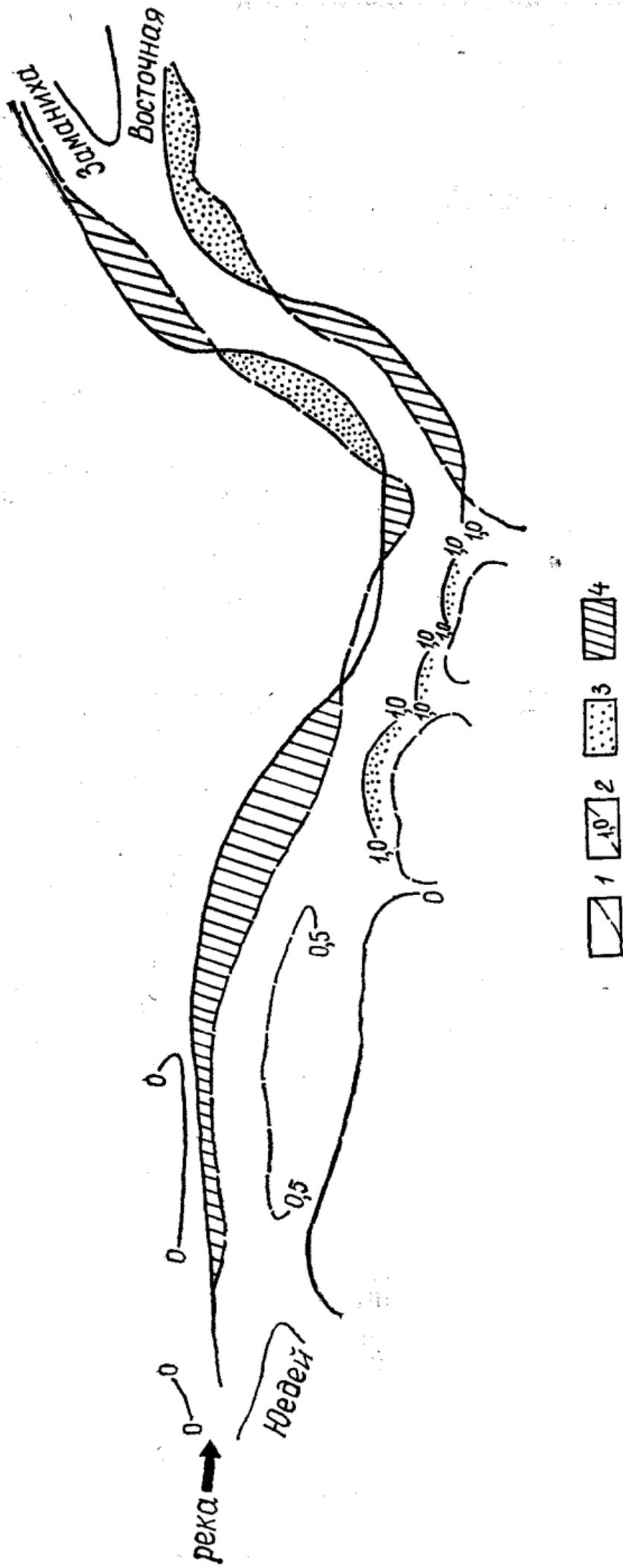


Рис. 11. Смещение излучин устьевоего участка Главного Руслу (Юдей — Маяк) за 1960—1971 гг.:

1 — береговая линия (или крайняя изобата) 1960 г.; 2 — береговая линия (или крайняя изобата) 1971 г.; 3 — зоны аккумуляции; 4 — зоны размыва

щение речных излучин обусловило обмеление истоков судоходной (Восточной) баровой бороздины и постепенное развитие западной бороздины — Заманихи.

Наряду с этим под воздействием морских факторов происходит перемещение всего устьевого бара в направлении преобладающих штормовых течений и вдольберегового потока наносов. Однако до настоящего времени вопрос о возможности смещения баровых бороздин ставился под сомнение. Специальное исследование, выполненное А. Л. Богомоловым на основе аэроснимков залетов 1951 и 1972 гг. на стереопроекторе СПР-2, позволило установить, что устьевой бар за 20-летний период сместился в западном направлении приблизительно на 0,5 км. Смещение бара произошло в условиях распространения мерзлых грунтов.

При общей тенденции устьевого бара за многолетний период смещаться на запад наблюдаются кратковременные передвижения приустьевых частей бороздин в направлении преобладающих в те или иные годы волнений и штормовых течений. Совмещение планов бара за разные годы позволяет наметить несколько периодов в развитии устьевого бара протоки Главное Русло: 1928—1945 гг. — бар сместился на восток на 1,5 км; 1945—1966 гг. — бар сместился на запад на 3,1 км; после 1966 г. он снова смещается на восток. Бороздина Заманиха при этом сместилась на 650 м, Восточная бороздина — на 900 м. Последние два характерных этапа в развитии устьевого бара совпали с периодами различной ветро-волновой обстановки в Янском заливе. Так, с 1960 по 1966 г. равнодействующая сильных ветров (8—22 м/с) была направлена с северо-востока, а в 1967—1972 гг. стали преобладать штормовые ветры с северо-северо-запада. Менялся и характер стоковых течений на баре: в 1960 г. они отклонялись на 20—40° к западу от генерального направления изобат в бороздинах, а в 1971 г. — уже на 40—60° к востоку. Последние съемки бара в 1973 г. показали стабильность положения Заманихи и смещение приустьевого участка судоходной бороздины длиной 3 км на запад на 240 м, а также спрямление русла в ее истоках. Стоковые течения на баре в навигацию 1973 г. были ориентированы вдоль изобат с незначительным (5—10°) отклонением к западу. Равнодействующая ветров за период с июля по сентябрь 1973 г. была направлена с севера.

Таким образом, за последний период (1966—1973 гг.) отмечается большая устойчивость положения Заманихи по сравнению с Восточной бороздиной, которая ежегодно после прохождения половодья обмелевала; заход в нее менял свое положение, а устье испытывало заметное боковое смещение. Наиболее характерные изменения относятся к 1972 и 1973 гг., когда произошло значительное сокращение ширины фарватера и изменение положения последнего. Заманиха, наоборот, за эти го-

ды приобрела гидравлически выгодную форму русла, имея пологое сопряжение с Восточной протокой.

Вертикальные переформирования поверхности бара (изменение отметок дна) определяются характером весеннего половодья, летними паводками и штормовыми нагонами. В относительно маловодный период 1960—1966 гг. наметилось общее обмеление бара, его бороздин и гребня. Следующий семилетний период 1967—1973 гг. характеризовался чередованием многоводных (1967—1968, 1970, 1973 гг.) и маловодных (1969, 1971—1972 гг.) лет и ознаменовался некоторым размывом бара и углублением бороздины Заманихи. В этот же период в Восточной бороздине было выполнено землечерпание в объеме 1225 тыс. м³; тем не менее ширина захода в нее сократилась, а сама бороздина сузилась и превратилась по сути дела в искусственный канал. Морской же край бара углубился на 1,2 м.

Таблица 8

Изменение глубины Δh на устьевом баре в зависимости от объема W весеннего половодья

W , км ³	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	8,0	10,0	11,0
Δh , см	-5	-13	-30	-60	-25	0	+15	+35	+50	+55	+60

— размыв

+ аккумуляция

Прослеживается связь между изменениями глубин на баре и особенностями прохождения весеннего половодья и паводков. В общем, чем многоводнее половодье, тем сильнее заносятся бороздины на баре (табл. 8). Результат от прохождения половодья, когда 87—90% годового стока наносов попадает на бар, выражается в занесении бороздин и формировании мелководных перемычек в их истоках. Например, в 1967 и 1970 гг. высоким половодьем на бар было вынесено соответственно 1750 и 1692 тыс. т наносов, что привело к отложению на гребне бара слоя до 1 м. В дальнейшем отсутствие паводков и прохождение вод с малой мутностью привело к частичному размыву гребня и мелководных перемычек, однако средняя минимальная глубина, установившаяся в бороздинах после половодья, оставалась практически неизменной, претерпевая лишь временные изменения в ту или иную сторону. Эта особенность имеет большое значение в практике текущих прогнозов глубин.

Летние паводки также сказываются на формировании рельефа бара и изменении глубин в бороздинах, в которых после прохождения паводка отлагается слой наносов до 30 см и более. Изменения глубин на баре зависят от интенсивности подъема и спада волны паводка. На подъеме отметка дна начинает повышаться тем больше, чем интенсивнее изменение уровней. На спаде паводка происходит размыв отложенных наносов, тем более активный, чем быстрее уменьшаются уровни воды. При одной и той же скорости изменения уровня воды на подъеме и спа-

де размыв превышает аккумуляцию. Но так как интенсивность подъема волны паводков в 1,5—2 раза больше спада (Дорони-на, Смирнова, 1968), в большинстве случаев наблюдается почти полная неизменность глубин на баре до и после прохождения паводков. Тем не менее слой наносов, отложившихся во время летних паводков, хотя впоследствии и размывается, вызывает временное и значительное обмеление судового хода.

Воздействие на бар штормовых нагонов и сгонов двоякое. При нагонах на баре формируется кривая подпора поверхности

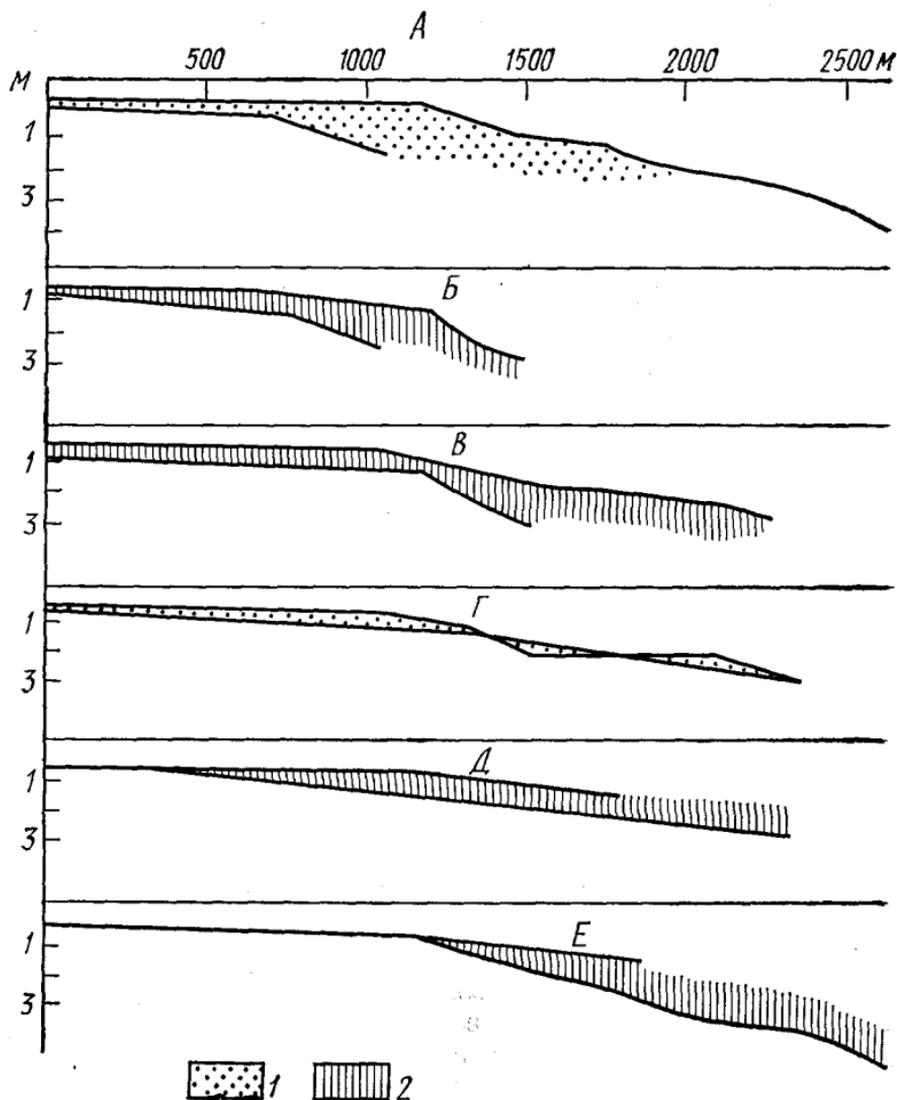


Рис. 12. Совмещенные продольные профили морского края бара протоки
Главное Русло:

А — 1970—1971 гг.; Б — 1969—1970 гг.; В — 1968—1969 гг.; Г — 1967—1968 гг.; Д — 1966—1967 гг.; Е — 1966—1971 гг.; 1 — аккумуляция; 2 — размыв. По вертикали — глубины от среднего уровня моря; по горизонтали — расстояния от устьевого створа

воды с обратным уклоном, становится более резким растекание речных вод, а в его мористой части развиваются ветровые и волновые течения. Волнение взвешивает большое количество наносов, отложение которых в фазу затухания шторма вызывает уменьшение глубин. Объем аккумуляции возрастает в том случае, когда речной сток небольшой. При больших расходах воды аккумуляция осуществляется не морскими, а речными наносами, выпадающими в осадок в условиях подпора. При сильных нагонных штормах отметки гребня вырастают на 50 см. В сгон скорости течения на бере увеличиваются, происходит размыв отложенных во время нагона осадков и глубины становятся почти прежними.

Заметное влияние на изменения глубин оказывает миграция наносов вдоль морского края дельты. При движении наносов с запада на восток (1968—1973 гг.) интенсивность обмеления восточной бороздины во время нагонов уменьшается, а углубление во время сгонов увеличивается; при направлении вдольберегового течения на запад (1959—1967 гг.) интенсивность обмеления этой бороздины растет. Смещение бара на восток после 1966 г. и отклонение течений на правое крыло способствовали уменьшению заносимости судоходной бороздины по сравнению с периодом западного смещения бара (1960—1966 гг.). Это свидетельствует о меньшем поступлении к устью бороздины наносов, которые улавливаются в понижениях рельефа на западном краю бара.

Сравнение съемок показывает, что за последние 40 лет устьевой бар не только не выдвинулся в море, но даже отступил в сторону берега на 150—200 м (рис. 12). По-видимому, бар находится в той стадии развития, когда вынос аллювия на единицу длины морского края в среднем равен или даже меньше количества наносов, вовлекаемых во вдольбереговое перемещение.

РАЗВИТИЕ ДЕЛЬТЫ

Начало формирования дельтовой равнины Яны, по-видимому, совпало со стабилизацией уровня Мирового океана. На ее месте был морской залив, по северной периферии которого формировалась барьерная морская терраса, составленная примкнувшими друг к другу морскими барами. Река строила дельту заполнения; устье ее располагалось в районе современной вершины дельты. Общая схема заполнения залива представляется в следующем виде (Коротаев, Сидорчук, 1974): ведущим процессом дельтообразования было построение баров в устьях многоводных протоков и формирование на их основе дельтовых островов, объединение последних привело к формированию большей части современной дельтовой равнины.

Начало подводного осадконакопления в 50 км ниже вершины дельты (по данным спорово-пыльцевого анализа) относится

к концу атлантического периода голоцена; барьерная морская терраса начинает перекрываться аллювием в начале суббореального периода (радиоуглеродная датировка МГУ-329) $3640 \pm \pm 300$ лет назад. Эта дата определяет период полного заполнения ингрессионного залива и начало нового этапа развития дельты — выдвигание ее на открытое взморье. Последовательность формирования отдельных элементов дельты может быть восстановлена для этапа ее выдвигания в море на основе радиоуглеродных и палинологических датировок, анализа геоморфологического строения (рис. 13) и определения водности древних рукавов. В последнем случае используются данные о средних радиусах кривизны их излучин.

В начале этапа выдвигания дельты Яны, в суббореальном периоде голоцена, основной сток воды концентрировался на западе дельты, в загложших ныне протоках Западная-1 и Западная-2. Их суммарный среднегодовой расход превышал $600 \text{ м}^3/\text{с}$. Сливаясь, они формировали обширный бар. В устьях мелких проток, в том числе и современного Главного Русла, существовали эстуарии, в которых скапливался илистый материал. Выносимые речным потоком в море наносы перерабатывались волнением и вовлекались в формирование цепи морских баров второй генерации. Длинные оси большинства морских баров на западе дельты имеют северо-восточное направление; здесь они причленены к уже сформированной морской террасе вкрест простирающихся баров, ее составляющих. В северной и восточной частях побережья морские бары второй генерации причленялись параллельно урезу барьерной морской террасы. Ширина второй ступени голоценовой морской террасы максимальна на западе, вблизи источника поступления речных наносов, и постепенно уменьшается на восток. Таким образом, максимальное приращение площади дельтовой равнины в суббореальном периоде происходило в западной части дельты за счет формирования устьевого бара древних западных рукавов и причлененных к его крыльям морских баров.

За суббореальный период голоцена, судя по спорово-пыльцевой диаграмме аллювия поймы (50 км к северу от вершины дельты), произошло практически полное формирование дельты Яны — ее высота в конце периода была всего на 0,5 м ниже современной. Накопление аллювия, торфа и льда в это время в среднем определяло приращение отметок на 20 см за 100 лет. В конце суббореального периода пойма вышла из-под уровня ежегодного затопления, и рост ее отметок поверхности резко замедлился.

Интенсивное устьевое удлинение древних западных проток вызвало в конце суббореального периода перераспределение стока воды в дельте. Основная доля общего стока направилась в протоки пра-Главная и Правая-3 (первая стадия формирования современной протоки Правой). Устье протоки пра-Главной располагалось на севере дельты, протока Правая-3 была ответв-

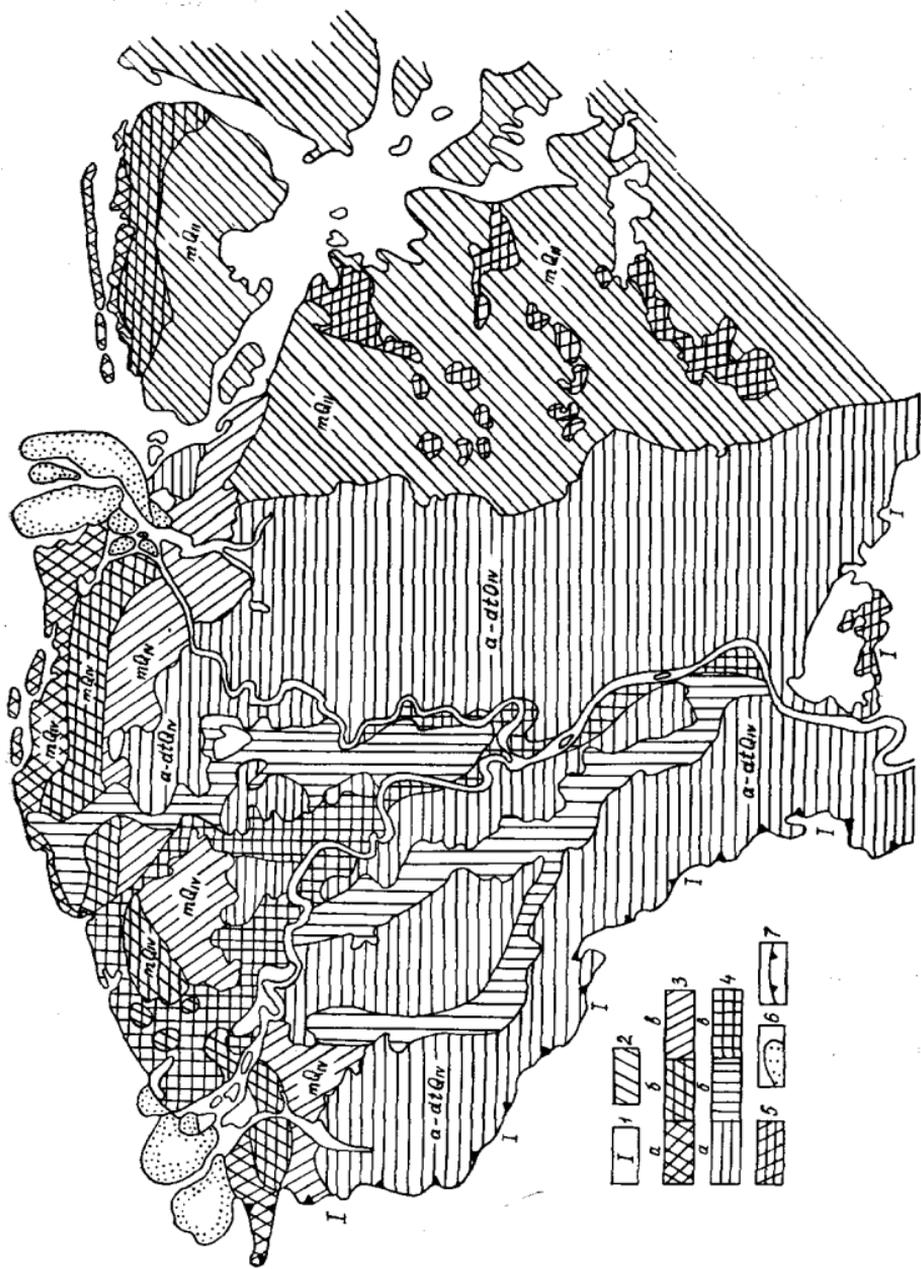


Рис. 13. Геоморфологическая схема дельты р. Яны:

- 1 — Приморская равнина (сдома);
- 2 — каргинская морская терраса;
- 3 — голоценовая прибрежно-морская равнина (а — современная терраса; б — субатлантическая терраса; в — суббореальная терраса);
- 4 — голоценовая аллювиально-дельтовая равнина (а — нерасчлененная суббореальная пойма; б — высокая субатлантическая пойма отмерших проток, в — низкая современная пойма);
- 5 — аллювиально-озерные котловины (аласы) в пределах каргинской морской террасы и Приморской равнины; 6 — устьевые бары основных протоков; 7 — эрозивный уступ Приморской равнины

лением пра-Главной, и ее устье наследовало устьевой участок древних западных протоков. В середине субатлантического периода среднегодовой расход воды в пра-Главной составлял $1200 \text{ м}^3/\text{с}$, Правой-3 — $500 \text{ м}^3/\text{с}$, т. е. в вершину дельты поступало тогда больше воды, чем ныне.

Основными пунктами поступления речных наносов были устья этих двух протоков. Как и раньше, речные наносы подхватывались морским волнением и участвовали в постройке дельтовой равнины уже в виде морских баров. В соответствии с местоположением основных источников наносов волновая аккумуляция сосредоточивается в северной части дельты, морские бары прилегают здесь к крыльям устьевого бара протоки пра-Главной. Ширина морской террасы, созданной барами третьей генерации, быстро уменьшается на запад, однако полная рефракция волн привела к тому, что даже на западе дельты морские бары прилегают параллельно существующей линии берега. Повышение поверхности дельты в начале субатлантического периода голоцена происходило неравномерно. Пойма повышалась на 2—3 см за сто лет, т. е. в 7—10 раз медленнее, чем за суббореальное время. Накопление аллювия на поверхности голоценовой морской террасы первой генерации шла со скоростью $4,3 \text{ см}$ за сто лет.

Приблизительно 1000 лет назад началась новая перестройка русловой сети дельты. Интенсивное устьевое удлинение протоки пра-Главная привело к уменьшению уклонов в ней водной поверхности, и основной сток воды начинает перераспределяться в пользу современного Главного Русла дельты. Последние прирусловые валы на пойме пра-Главной датированы 1120 ± 150 лет назад (МГУ-328), а первые валы на пойме современного Главного Русла — 840 ± 250 лет назад (МГУ-326). Поступление песчаного материала на устьевой бар Главного Русла начинается, по палинологическим данным, со второй половины субатлантического периода. На первой стадии развития Главного Русла среднегодовой расход воды в нем не превышал $200 \text{ м}^3/\text{с}$ (современный расход Главного Русла — $350 \text{ м}^3/\text{с}$). Уменьшается расход воды и в протоке Правой. Если на стадии Правая-3 рукав забирал $500 \text{ м}^3/\text{с}$, то с переходом основного стока в современное Главное Русло протока Правая (в стадии Правая-2) забирала уже $300 \text{ м}^3/\text{с}$. В этот период произошло перемещение устья протоки Правой в его современное положение.

В последнее тысячелетие изменение дельты происходило на фоне общего уменьшения стока воды, поступающего в ее вершину (от $1200 \text{ м}^3/\text{с}$ в субатлантическом периоде до $900 \text{ м}^3/\text{с}$ в настоящее время). Одновременно происходила миграция вверх по течению основного узла разветвления. В середине субатлантического периода он располагался в 50 км к северу от вершины дельты. Затем, с переходом основной доли стока в современное Главное Русло, истоки протоки Правой сместились на 10 км к югу. К 1928 г. узел раз-

ветвления сместился еще на 2 км вверх по течению, а в 1959 г. занял свое современное место в 1,5 км к югу от положения 1928 г.

Основными очагами аккумуляции речных наносов на взморье в настоящее время являются устьевые бары проток Главное Русло и Правой. Аллювиальный материал частично перерабатывается волнением и формирует современную морскую террасу между устьями основных рукавов дельты и к востоку от нее. Выделяются две цепи современных морских баров. Мористая цепь баров шириной 150—200 м разорвана многочисленными прорывами и мористый склон гофрирован сериями (до 10) подводных валов. Эта цепь баров отделена от второй линии баров ложбиной. Бары прибрежной линии гораздо шире (2—4 км), массивнее первых. Цепь их также разбивается через каждые 3—10 км прорывами. Однако бары этой линии более строго следуют общему направлению берега. Крутой мористый склон баров ровный, а обращенный к берегу — пологий, гофрированный параллельными валами, направленными поперек линии баров. Сравнение аэроснимков залетов 1951 и 1972 гг. показало, что морские бары перемещаются в сторону берега. Для внешней цепи скорость движения к берегу составляет 15—20 м/год в западной части дельты и до 60 м/год в северной. Вторая цепь баров менее подвижна — 10—15 м/год на севере дельты и 1—3 м/год на западе.

В настоящее время происходит дальнейшая миграция основной доли стока Яны в рукава восточной части дельты (Самандон и др.). Эти рукава и их многочисленные ответвления прокладывают свое русло среди высоких останцов морской каргинской террасы, берега их в истоках ниже, чем в устьевых частях, уклон водной поверхности противоположен уклону местности. Эти рукава расположены в своеобразных долинах, образованных цепочками сомкнувшихся изометрических котловин, представляющих собой реликт термокарстовых озер на поверхности каргинской террасы. Расширяясь, термокарстовые котловины соединялись друг с другом, их днища понизились настолько, что создалась возможность поступления в них вод половодья Яны. В результате от реки отделились новые рукава, начальная стадия формирования которых обязана термокарсту. Развитие этих рукавов дельты только начинается, о чем свидетельствует тот факт, что при среднегодовом расходе в протоке Самандон 400 м³/с размеры ее излучин соответствуют среднегодовому расходу 100 м³/с, т. е. морфология русла еще не вошла в соответствие с возросшей водностью потока.

* *
*

Выявленные закономерности и особенности развития дельты Яны позволяют наметить пути дальнейшей эволюции устьевой области и обосновать принципиальную схему улучшения условий

судоходства. Выдвижение дельты в море при сохранении современного ее строения будет происходить весьма замедленными темпами и проявится только в течение столетий. Наиболее крупная перестройка гидрографической сети дельты, связанная с развитием крайнего восточного рукава — протоки Самандон, должна привести к стабилизации морского края дельты. Этот же процесс, вызывая уменьшение водности основных рукавов (Главного Русла и протоки Правой), будет способствовать обмелению их устьевых баров, уменьшению глубин и увеличению извилистости на всем их протяжении. Однако в перспективе сохранится современная картина, так как перемещение главного течения реки в протоку Самандон связано с ее расширением, которое (ввиду малых темпов размыва берегов) протекает весьма медленно. Судя по датировкам отмирания одних и развития других дельтовых рукавов в течение голоцена, этот процесс может растянуться на 300—400 лет.

Более существенными для решения проблемы улучшения судоходных условий являются перспективы развития устьевого бара протоки Главное Русло. Смещение излучин в ее низовьях создает благоприятные условия для преимущественного развития западной бороздины на баре — Заманихи. Заход в Восточную бороздину находится на выпуклом берегу излучины подводного русла ниже устьевого створа и поэтому интенсивно заносится. Размыву Заманихи благоприятствует общее смещение бара на запад и расположение ее вдоль более массивного западного крыла. Восточная бороздина, наоборот, находится в области растекания речного потока, вследствие чего она в большей степени подвержена заносимости наносами, поступающими из реки. Условия развития ветровых волн также неблагоприятны для состояния глубин в Восточной бороздине.

На общем фоне преимущественного развития Заманихи в отдельные периоды происходит частичное ее обмеление и углубление Восточной бороздины. Это связано, с одной стороны, с перераспределением стока возле осередка в низовьях Главного Русла, с другой, — с кратковременными смещениями всего бара на восток. В первом случае речной поток через каждые 7—10 лет сосредоточивается в левой более изогнутой протоке, вследствие чего движение излучин вниз по течению замедляется или даже сменяется поперечным. Течение направляется в Восточную бороздину, и она получает тенденцию к развитию. Именно в этот кратковременный период по ней была проложена трасса судового хода, но впоследствии для ее поддержания потребовались систематические дноуглубительные работы.

Улучшение условий судоходства в устье может быть достигнуто посредством перевода фарватера в бороздину Заманиху, где глубины будут более устойчивыми. Объем капитального землечерпания, которое нужно выполнить для создания в ней глубокого судового хода, в 2—2,5 раза меньше, чем объем грунта,

извлекаемого ежегодно для поддержания глубин на фарватере в Восточной бороздине. На устьевом участке протоки Главное Русло предпочтение для расположения судового хода следует отдать более прямой протоке у осередка ниже Юедея, поскольку сосредоточение в ней основной доли стока сказывается благоприятно на состоянии глубин в бороздине Заманиха на बारे.

ЛИТЕРАТУРА

- Браславский А. П. Расчет ветровых волн. — «Труды ГГИ», 1952, вып. 35.
- Бретшнайдер К. Рефракция, дифракция и отражение волн. — В сб.: Гидродинамика береговой зоны и эстуариев. Л., Гидрометеониздат, 1970.
- Бурдыкина А. П. Гидрологическая и навигационная характеристика р. Яны. — «Труды ААНИИ», 1954, т. 63, вып. 1.
- Головина А. П., Головин В. С. Прогнозирование заторных явлений на придельтовых участках Лены и Яны. — «Труды ААНИИ», 1974, т. 308.
- Григорьев Н. Ф. Некоторые особенности мерзлотно-геологических условий Усть-Янского района ЯАССР. — «Труды Северо-Вост. отделения ин-та мерзлотоведения АН СССР», 1958, вып. 1.
- Гусев А. И. К истории развития Приморской равнины в четвертичное время. — «Труды НИИГА», 1959, т. 102, вып. 10.
- Доронина А. А. Вечная мерзлота и ледники. — «Труды ААНИИ», 1962, т. 236.
- Доронина Н. А., Смирнова З. С. Исследование процессов формирования летних паводков на р. Яне. — «Труды ААНИИ», 1968, т. 283.
- Иванов М. С. Современные многолетнемерзлые прибрежные дельтовые отложения Янского взморья. — В сб.: Вопросы географии Якутии, вып. 5, Якутск, 1969.
- Коротаев В. Н., Сидорчук А. Ю. Формирование дельтовых побережий в устьях северных рек. — В сб.: Эрозия почв и русловые процессы, вып. 4. М., Изд-во Моск. ун-та, 1974.
- Ломаченков В. С. К вопросу о происхождении третьей террасы и развитии позднеплейстоценового морского бассейна на Арктическом побережье. — «Геология моря», 1971, вып. 1.
- Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М., Изд-во АН СССР, 1955.
- Маккавеев Н. И., Чалов Р. С. О морфологических признаках современной аккумуляции в речной долине. — «Изв. АН СССР. Сер. геогр.», 1963, № 3.
- Налимов Ю. В. Гидрологическая характеристика протоки Главное Русло дельты р. Яны. — «Труды ААНИИ», 1965, т. 268.
- Ржеплинский Г. В. и др. Новый метод анализа и расчета ветровых волн. — «Труды ГОИН», 1968, вып. 93.
- Розенбаум Г. Э. Современный аллювий равнинных рек восточной Субарктики (на примере рек Яны и Омоля). — В сб.: Проблемы криолитологии, вып. 3. М., Изд-во Моск. ун-та, 1973.
- Скворцов Е. В. О прибрежных тундрах Якутии. — «Труды комиссии по изучению Якутской АССР», 1930, т. 15.
- Страхов Н. М., Бродская Н. Г., Князева Л. М. Образование осадков в современных водоемах. М., Изд-во АН СССР, 1954.
- Хмызников П. К. Атлас р. Яны с материалами по лощи. Л., 1934а.
- Хмызников П. К. Гидрология бассейна р. Яны. Л., 1934 б.
- Шадрин И. Ф. Течения береговой зоны бесприливных морей. М., «Наука», 1972.
- Экспериментальная геоморфология, вып. 2. М., Изд-во Моск. ун-та, 1969.