

# **ЭРОЗИЯ ПОЧВ И РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ**

**ВЫПУСК  
7**

и ветровой щит — южная часть дельты реки Индигирки, восточная — юго-восточная часть дельты реки Индигирки и южная часть дельты реки Чуканки.

А. Л. Богомолов, Г. М. Засец, В. Н. Коротаев, Р. В. Лодина,  
В. А. Милошевич, А. Е. Михинов, А. Ю. Сидорчук, Р. С. Чалов

## ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ, ФОРМИРУЮЩИЕ ДЕЛЬТУ Р. ИНДИГИРКИ

Л. Б. Река Индигирка формирует свою дельту на побережье Восточно-Сибирского моря. С юго-востока дельта ограничена отрогами Кондаковского плоскогорья, с запада — уступами Приморской низменности, на юге дельтова равнина переходит в речную долину р. Индигирки шириной 25—30 км. Между наземной дельтой и открытym морем расположена полоса мелководья шириной до 20 км на западном и до 10 км на восточном крае дельты.

### ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ДЕЛЬТЫ

Вершиной дельты р. Индигирки является место разделения реки на два основных рукава: Русско-Устьинский и протоку Среднюю (рис. 1). Среднегодовой расход воды в вершине дельты составляет 1570 м<sup>3</sup>/с. В многоводный год он достигает 2400 м<sup>3</sup>/с, а в маловодный уменьшается до 1000 м<sup>3</sup>/с. Максимальные годовые расходы, как правило, приурочены к половодью и изменяются в разные по величины годы от 5170 до 11 500 м<sup>3</sup>/с. Наименьшие годовые расходы незначительны — до 10 м<sup>3</sup>/с и наблюдаются в зимний период. Среднегодовой сток взвешенных наносов, который поступает в дельту, оценивается в 11,2 млн. т, а средняя мутность воды в 150 г/м<sup>3</sup>.

В исток Русско-Устьинского рукава поступает в среднем 19 км<sup>3</sup> воды в год, что составляет около 40% общего стока в вершине дельты. Расходы воды здесь за летний период изменяются от 1100 до 3800 м<sup>3</sup>/с. Соответственно водности изменяется и расход взвешенных наносов — от 80 до 1000 кг/с. В другой основной рукав — протоку Среднюю ежегодно поступает 30 км<sup>3</sup> воды. В зависимости от уровня воды в период, свободный от льда, расходы воды в истоке рукава колеблются от 1600 до 5800 м<sup>3</sup>/с, а расходы взвешенных наносов от 150 до 1600 кг/с. От истока до устьевых створов рукавов происходит изменение их гидрологического режима. Причиной этого является частичная потеря стока воды и наносов через боковые

рукава и протоки, а также постепенное усиление энергетического воздействия моря на речной поток.

Русско-Устьинский рукав до 49-го км от устьевого створа практически сохраняет свою водность. Отсюда рукав разделяется на три протоки: Гольяженскую (западную), Русско-Устьинскую (центральную) и протоку Новую (восточную). Все три протоки при выходе в море окончиваются полосой мелководья шириной около 10 км. От протоки Средней в 35 км от истока отвествляется многоводная Колымская протока, расходы воды в которой в зависимости от уровня

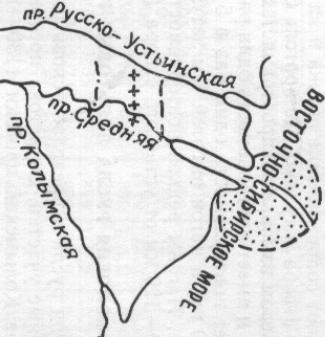


Рис. 1. Схема дельты р. Индигирки: 1, 2, 3 — границы проникновения нагонов высотой 0,3; 0,6; 1,0 м; 4 — бар

воды изменяются от 200 до 1200 м<sup>3</sup>/с, что составляет от 12,7 до 20,7% стока протоки Средней. Расход взвешенных наносов в Колымскую протоку равен 6—9% расхода протоки Средней. Ниже отверстия Колымской протоки Средняя течет единым руслом до устьевого створа, теряя по пути на растекание по мелким протокам до 300 м<sup>3</sup>/с в период половья. В межень эти потери снижаются до нуля.

Энергетическое воздействие моря на речной поток проявляется в виде распространения вверх по течению приливных и стояно-напорных волн, которые существенно меняют рельеф водной поверх-

ности и режим течений. Влияние приливных волн на изменение уровня воды в реке незначительно. Они проникают вверх по течению на 10—15 км от устьевого створа, а изменив их величины во времени зависит от ледоходов Восточно-Сибирского моря и фаз Луны и Солнца. В период стояния льда вблизи свала глубин приливные колебания уровня в устьевом створе не превосходят 5 см, а с удалением кромки льда в море возрастают до 10—15 см. Основные изменения водного режима реки от воздействия моря происходят в результате соприкосновения колебаний уровня воды. Эти колебания формируются под действием ветра и достигают наибольшей величины на устьевом взморье. Распространяясь вверх по течению, они встречают сопротивление потока и на некотором расстоянии от устьевого створа затухают. По протоке Средней нагон высотой 0,3 м на устьевом взморье распространяется на 15—20 км выше устьевого створа и имеет повторяемость один раз в 3 дня. Нагон высотой 0,6 м имеет повторяемость один раз в 5 дней и распространяется до 35—40 км, а нагон высотой 1 м затухает на 60 км от устьевого створа. Нагоны редкой повторяемости 1,5—2,0 м выклиниваются на 100—120 км от устьевого створа (см. рис. 1).

МОРФОЛОГИЯ РУСЛА ДЕЛЬВЫХ РУКАВОВ

По морфологии русла в пределах основных рукавов можно выделить характерные участки. От истока протоки Средней до отвердления от нее Колымской протоки (130—100 км от устьевого створа) река проекает вдоль коренного берега, сложенного кристаллическими породами. Этот участок с пологим меандрирующим, широким многорукавным руслом. Крутизна излучин характеризуется отношением  $S/\lambda = 1,02-1,12$  (табл. 1), где  $\lambda$  — расстояние по прямой между точками смены знака кривизны на излучине, а  $S$  — длина русла по излучине. Большие радиусы кривизны излучин обусловливают плавное обтекание потоком вогнутых берегов. На этом участке расположен единственный в протоке Средней перекатный участок (111—104 км от устьевого створа). На втором участке (100—60 км от устьевого створа), где рукав выходит на дельтовую равнину, русло свободно меандрирует. Излучины хорошо выражены, имеют синусоидальную форму, для которых отношение  $S/\lambda$  меняется от 1,29 до 2,20 (см. табл. 1). Русло в основном однорукавное; повсеместно происходит безог锐вное обтекание потоком вогнутого берега. Как первый, так и второй участок находятся в области преобладания речных факторов на динамику водных масс. Начало третьего участка (60—28 км) совпадает с верхней границей проникновения по реке натонов высотой до 1 м. Русло здесь расширяется до 1000 м, излучины слабо выражены, имеют большие радиусы кривизны. Четвертый участок (28—0 км) — область развития пологих излучин, здесь еще больше возрастает ширина реки, уменьшается глубина потока, в русле вновь появляются осередки и острова. Третий и четвертый участки русла рас-

**Характеристики излучин основных рукавов левты в Илисиики**

№ излучин	Протока Средняя										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Расстояние от устьевого створа, км											
Длина излучин $S$ , м											
Шаг излучины $\lambda$ , м											
Крутизна излучины $S/\lambda$											
Радиус кривизны $R$ , м											
Средняя ширина $B$ , м											
Отношение $R/B$											
Средний диаметр донных наносов, $d_{ср}$ , мм											
Коэффициент стабильности $K_c$											
Коэффициент эрозионной способности $K_e$											
Ручей Русско-Устьинский	1	133,8	5350	4250	1,26	5900	620	1,30	2,0	0,30	10,6
	2	128,4	5750	3380	1,26	2500	1,130	1,30	2,0	0,30	1,100
	3	122,6	5050	2720	1,86	1880	790	2,4	0,26	13,1	1100
	4	117,5	5150	3750	1,38	2780	640	4,3	0,26	17,5	950
	5	112,4	3620	2400	1,51	1800	430	4,2	0,25	23,2	500
	6	108,8	3500	1550	2,26	1300	480	2,7	0,25	20,8	—
	7	105,3	4420	1960	2,26	1670	400	4,2	0,23	23,0	235
	8	100,9	4550	2900	1,57	1790	535	3,3	0,24	17,9	700
	9	96,3	4875	4800	1,02	665	95,9	0,24	9,0	1,260	1260
	10	91,4	4350	4350	1,00	5630	1490	3,8	0,20	6,7	1320
	11	87,0	3750	2700	1,39	1950	580	3,4	0,21	18,1	1320
	12	83,2	4300	3000	1,43	2140	680	0,21	15,4	1320	1320

*Продолжение*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13	78,9	4100	3000	1,36	2000	460	4,4	0,19	20,7	740
14	74,8	6350	4650	1,36	5400	820	6,6	0,16	9,8	1780
15	68,4	5150	4500	1,14	2960	380	0,15	—	9,6	—
16	63,2	6250	5800	1,08	5530	650	8,5	0,15	11,5	1320
17	57,0	6000	4500	1,33	3820	610	6,3	0,17	13,9	1150
18	51,0	5650	2400	2,35	2860	540	5,0	0,18	16,7	1000
19	45,4	5800	3200	1,81	—	350	—	0,15	21,4	740
20	39,6	4000	3800	1,05	—	600	—	0,12	10,0	2500
21	35,6	5500	3500	1,57	—	540	—	0,12	11,1	2000
22	30,1	4500	3400	1,32	—	500	—	0,12	12,0	1810
23	25,6	6000	5500	1,09	—	1000	—	0,10	5,0	3200

положены в области активного взаимодействия речных и морских факторов динамики водных масс.

Морфология изучин Русско-Устьинского рукава характеризуется следующими особенностями. В связи с тем, что от истока рукав протекает по дельтовой равнине в пойменных берегах, характеристики излучин до 49-го км от устьевого створа соответствуют второму участку протоки Средней. Ширина русла на всем участке изменяется от 500 до 800 м, крутизна излучин имеет тенденцию уменьшаться по реке. От 49-го до 27-го км излучины выражены слабей и имеют большие радиусы кривизны (см. табл. 1). Этот участок соответствует третьему участку протоки Средней. Морфология нижнего участка (27—0 км) полностью соответствует тако-

му у выпуклого, то у вогнутого берега крутых излучин. Более тонкий материал, представленный мелко- и тонкозернистыми песками, слагает песчаные отмели, расположенные у выпуклого берега излучины. В протоке Средней максимальная средневзвешенная крупность наносов не превышает 0,24 мм. В истоках ее средневзвешенный диаметр наносов равен 0,18 мм. Эти значения сохраняются на протяжении первого участка, где в стражевой зоне располагаются мелко-средне- и мелкозернистые пески. На втором участке наблюдается частая изменчивость средневзвешенного диаметра наносов от 0,18 до 0,12 мм без видимой тенденции к общему уменьшению кружености вниз по течению. Вытянутые полосы среднезернистого песка расположены или в местах размыя потоком крутых берегов, к которым примыкаются максимальные глубины, или у выпуклых берегов крутых излучин. Каждая крутая излучина имеет более кривизной. На всем протяжении третьего участка средневзвешенный диаметр наносов равен 0,14—0,15 мм. На более пологих излучинах русла, свойственных этому участку, донные отложения максимально приближаются к геометрической оси русла. На четвертом участке круженость донных наносов составляет 0,09 мм. От начала к концу участка средневзвешенный диаметр наносов заметно уменьшается — от 0,16—0,13 до 0,07 мм, т. е. в два раза. Доля площади, занятой песчаными грунтами, сокращается по сравнению с вышележащими участками от 80 до 8% и только непосредственно в устьевом створе возрастает с 8 до 30%, происходит укрупнение наносов до 0,08 мм.

Изменение вдоль рукавов их устойчивости оценивалось с помощью коэффициента стабильности по Н. И. Маккавееву (Маккавеев, Шатаева, Митякова, 1967):

$$K_c = \frac{d_{cr}}{TB} 1000$$

где  $d_{cr}$  — средний на отрезке русла диаметр наносов;  $I$  — уклон;  $B$  — ширина русла. Коэффициент стабильности вычислялся для каждой излучины. Выяснилось, что на первом участке протоки Средней устойчивость русла мала, значения  $K_c$  изменяются от 6 до 10. На втором участке устойчивость русла возрастает, коэффициент стабильности достигает 18,5. Близкие значения  $K_c$  характерны для Русско-Устьинского рукава до 49-го км от устья (табл. 1). На третьем участке устойчивость русла уменьшается. Значения  $K_c$  резко падают на четвертом участке, снижаясь до 3,3.

Таким образом, выделенные только по морфологическим признакам участки русла основных проток существенно различаются и по характеру речного аллювия, и по устойчивости русла. Следовательно, можно ожидать различий и в характере, и в интенсивности современных речевых перформирований на выделенных участках.

Русловые преформирования в основных рукахах дельты р. Индигирки можно разделить на горизонтальные деформации, выраженные в смещениях струек потока внутри русла и в передвижении всей формы русла по дну долины, и на вертикальные преформирования, приводящие к односторонним изменениям среднего положения отметок дна.

Интенсивность горизонтальных русловых преформирований оценивалась коэффициентом эрозионной способности  $K_s$ , который получен в предположении, что интенсивность отступания берегов пропорциональна величине радиальной скорости на излучине (Мишевич, Сидорчук, 1977):

$$K_s = \frac{v_{sp} R}{v_{cp} H},$$

где  $v_p$  — средняя скорость размыва берегов русла, м/год;  $R$  — радиус кривизны, м;  $H$  — средняя максимальная глубина русла, м;  $v_{cp}$  — средняя скорость потока, м/с. Изменение рассчитанного коэффициента  $K_s$ , по длине рукавов позволяет сделать вывод о том, что по степени эрозионной способности русла рукавов разнообразны на те же участки, что и по морфологии, лонным грунтам и устойчивости.

Первому участку протоки Средней соответствует высокая эрозионная способность, коэффициент  $K_s$  достигает значения 1300. На протяжении второго участка эрозионная способность значительно ниже и колеблется в широких пределах от 74 до 440. На третьем участке она несколько возрастает и достигает максимума (более 3000) на четвертом участке. Сравнение  $K_s$  с коэффициентом стабильности, по Н. И. Маккавееву,  $K_c$  показало обратную связь между значениями коэффициентов. Это означает, что физический смысл  $K_s$ , как показателя интенсивности горизонтальных русловых преформирований определен верно.

В соответствии с изменением интенсивности горизонтальных преформирований русла меняется характер его вертикальных деформаций, определяемый балансом взвешенных наносов на отдельных участках рукава. При расходах воды в истоке рукава 3080 м<sup>3</sup>/с изменение мутности потока и расхода взвешенных наносов по длине происходит следующим образом. От истока до конца первого участка расход воды остается неизменным, мутность уменьшается со 146 до 104 г/м<sup>3</sup>, а расход взвешенных наносов с 450 до 320 кг/с, т. е. около 30% взвешенных наносов осаждается в русле. Основной очаг аккумуляции здесь — перекатный участок Ребячики (111—104 км от устья). Наиболее динамичными формами в этом месте являются пестянные косы, которые за последние 25 лет превратились в острова, разделяющие русло реки на две протоки. За это время произошел рост отмелей как в плане со средней скоростью 3—4 м/год, так и в высоту. В начале второго участка, по-

сле отделения протоки Колымской, расход воды уменьшается до 2650 м<sup>3</sup>/с, а мутность потока и расход взвешенных наносов несколько возрастают — до 130 и 344 кг/с. С этого места начинается об-

ласть размыва, максимум которого отмечается на 75-м км от устья, где расход взвешенных наносов достигает 516 кг/с, а мутность 195 г/м<sup>3</sup>. В дальнейшем расход взвешенных наносов постепенно снижается до 480 кг/с в конце второго участка и до 375 кг/с в устьевом створе. На третьем участке меняется и медианный диаметр переносимых потоком взвешенных наносов от 0,13 до 0,19 до 0,03—0,09 мм. Основным очагом аккумуляции является отрезок русла от 13-го до 5-го км от устья. За последние 15 лет отметка дна по-высилась здесь на 0,7 м.

Итак, русла основных рукавов дельты р. Индигирки разделяются на ряд участков.

Первый — с пологомандриющим широким неплубоким руслом, разбитым на протоки островами, со смещивающимися вниз по руслу грядами и широко блуждающей динамической осью потока — характеризуется относительно крупнозернистым аллювием, малыми коэффициентами стабильности русла и высокой эрозионной способностью потока. На этом участке русла происходит активная аккумуляция наносов.

Второй участок, в пределах которого кругизна излучин возрастает, увеличивается глубина и уменьшается ширина русла, характеризуется более мелким русловым аллювием и относительно высокой стабильностью русла. Здесь идет размыв дна русла, горизонтальные деформации замедленны.

На третьем участке излучин становятся менее выраженным, русло расширяется, падают его устойчивость и глубина, возрастают эрозионная способность потока к горизонтальным преформированиям. Эрозия здесь сменяется аккумуляцией.

Четвертый участок — область развития пологих излучин с большими радиусами кривизны. Ширина русла сильно возрастает, аллювий в днищах плесов варьирует по медианному диаметру в широких пределах — от мелких алевритов в расширенных участках до мелко-средних песков в сужениях. Мала устойчивость русла, резко увеличивается эрозионная способность. На этом участке идет активная аккумуляция наносов. В конце участка русло переходит в наиболее изменчивый элемент рельефа дельты — устьевой бар.

### УСТЬЕВОЙ БАР ПРОТОКИ СРЕДНЕЙ

Устьевой бар начинается от устьевого створа в районе о. Некоев и простирается на 25 км в сторону моря, где ограничивается самым глубиной. Ниже устьевого створа до 16-го км обширное аккумулятивное тело бара прорезается узкой русловой бороздой, являющейся продолжением русла протоки Средней. Русловая борозда образует серию излучин с постепенно уменьшающимися радиусом кривизны от 2000 до 1000 м, при этом в направлении к морю умень-

шается глубина и ширина русловой борозды. Начиная от 16-го км и до морского края русловая борозда морфологически слабо выражена. Ширина и глубина на этом участке значительно падают, и здесь можно выделить гребень бара (в пределах 18—21 км) — зону наименьших глубин. За гребнем поверхность бара приобретает на склон в сторону моря и через 2—3 км переходит в дно Босточно-Сибирского моря.

От устьевого створа до 5-го км (в сторону моря) русловая борозда выстилается песчаными наносами — тонкими, мелкими и средними песками. Алевриты и мелкоалевитовые илы локально распространены на прирусловых отмелях. После 5-го км вплоть до гребня бара в русловой борозде залегают мелкоалевитовые илы, а крылья бара сложены более крупными наносами — алевритами и песками. Мористее 16-го км грунты крупнее тонкими наносами — алевритами и ялом. Локально встречаются пянища тонкого песка на западном крыле бара.

Устьевой бар протоки Средней, как и вся дельта Илдигирки, расположен в области развития многолетнемерзлых пород. Образование и распространение мерзлоты на акватории бара обусловлены промерзанием донных отложений через лед, где толщина стоя симмерима с глубиной взморья. Зимой большая часть устьевого бара промерзает, сезонная мерзлота смыкается с многолетней. Подрусловые талики наблюдаются только в углубленной русловой борозде и на морском склоне бара за изобатой 2 м. После орошения акватории бара от льда происходит оттаяние верхней части донных грунтов. На большей части бара мощность оттаявшего слоя не превышает 1 м, на наиболее отмелых участках — 0,5—0,6 м.

Необычны мерзлотные условия на гребне бара. Исследования экспедиции СО АН СССР (Григорьев, 1966) и наши наблюдения показывают, что несмотря на крайнюю мелководность гребня многолетняя мерзлота здесь отсутствует по крайней мере на 6 м от дна. Слой сезонной мерзлоты маломощен, быстро становится в начале лета, лишь на самых мелководных участках иногда сохраняется и в конце лета в виде «коэзырьков» мерзлого грунта. Отсутствие мерзлоты связывается с засоленностью грунтов приморской части бара.

Динамика вод на устьевом баре протоки Средней обусловлена речным стоком, поступающим на бар через устьевой створ у восточного Немков, влиянием стонов и нагонов, приливов и ветрового волнения на взморье дельты р. Индигирки. На побережье Восточно-Сибирского моря штилевые условия отмечаются крайне редко. Характерна также малая продолжительность летней межени, так как паводки следуют практически один за другим. В штиль волны полусуточных приливов приводят к падению или росту уровня воды и скоростей течения в зависимости от фазы прилива, причем склон

рость приливного течения в период слизгии достигает 15 см/с, а в квадратуру — около 5 см/с. Все это создает серьезные трудности при анализе динамики воды на баре.

Расходы воды в летних паводках в устьевом створе бара протоки Средней составляют 2000—3000 м<sup>3</sup>/с, а расходызвешенных наносов до 700 кг/с. Средняя скорость потока в этих условиях — 0,80—0,90 м/с. В штиль с выходом потока на устьевой бар часть воды и наносов сосредоточивается в русловой борозде на продолжении русла протоки Средней, остальная — растекается в основном по восточному крылу бара. К 10-му км от устьевого створа



Рис. 2. Скорости и направления течения на баре р. Илдигирки: 1 — изобаты, 2 — изобата, 3 — направление течения, 4 — километраж

ра в русловой борозде (в пределах изобаты 2 м) сохраняется лишь половина стока воды, поступающей в устьевой створ. Скорости течения уменьшаются до 0,5 м/с. После 16-го км от устьевого створа происходит окончательное расщепление стоковых вод на обширном мелководье. Расходы воды в борозде в 1,9—2,0 км от устьевого створа не превышают 300—400 м<sup>3</sup>/с, а скорости течений падают до 0,1—0,15 м/с.

В сгон на акватории бара наблюдается довольно симметричное расщепление речной струи по крыльям бара, что связано с отсутствием в данный период попечного уклона водной поверхности

(рис. 2, а). Уменьшение скоростей течения как на страже, так и на крыльях бара происходит медленней, чем в штиль. Так, на участке от 19-го до 20-го км, где русловая борозда еще достаточно хорошо морфологически выражена, скорости в ней заметно выше, чем на крыльях бара, и составляют 0,15–0,2 м/с и только мористее, на участке 20–25-го км, где борозда слабо выражена, скорости на всей акватории бара одинаковы, не более 0,1 м/с.

В период даже небольшого нагона (около 30 см высотой) картина течения на баре резко изменяется (рис. 2, б). Струя, выходя из мелководной части бара (16-й км) и распластываясь, на протяжении еще 3 км сохраняет северное направление, при этом скорость существенно падают (от 0,32 до 0,06 м/с). В районе гребня (19–20-й км) под действием нагонной волны течение постепенно разворачивается на северо-восток, а далее, на участке 20–25-й км отмечается обратное течение — из моря в сторону устья. Приведенные планы течений при стоянке и нагоне (см. рис. 2, а, б) получены в период среднего по величине паводка, при этом расход воды в устьевом створе составлял 2600 м<sup>3</sup>/с, расход напосов — 450 кг/с.

Наиболее существенные русловые деформации на баре происходят в период половодья при наибольшем стоке волны и напосов. В первую очередь эти переформирования отражаются в изменении продольного профиля дна бара, т. е. в режиме глубин в русловой борозде и на гребне бара.

Большую часть половодья сток на устьевом баре сосредоточен в естественном лотке из ледового «серпантин» сверху и мерзлого грунта по боргам борозды (Антонов, Бушуев, Налимов, 1970). Изменение глубины за период от начала половодья до конца ледохода на баре зависит от объема воды, прошедшей за это время. Разъем гребня судоходной борозды соответствует невысоким половодьям, когда мутность потока относительно мала — до 200 г/м<sup>3</sup> (табл. 2). Занесение борозды (увеличение отметки дна) отвечает мощным половодьям, когда мутность потока возрастает до 600 г/м<sup>3</sup>. Характерно, что установившаяся после половодья отметка дна гребня бара определяет среднюю минимальную глубину в течение лета

Изменение отметок дна на устьевом баре  $\Delta h$ , см

$W$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\Delta h$	-10	-20	-24	-19	-12	-6	0	+4	+7	+9	+10

размыв

аккумуляция

$W$  — объем воды, поступивший в вершину дельты за период от начала половодья до конца ледохода на баре.

На фоне этой средней минимальной глубины в течение лета происходят относительно кратковременные знакопеременные ее колебания, зависящие от интенсивности прохождения летних паводков и влияния моря.

При движении паводочной волны по устьевому бару стоковые характеристики существенно изменяются. Интегральным выражением этого является изменение средней минимальной глубины на гребне бара. На подъеме паводка с увеличением мутности воды идет аккумуляция: повышается дно тем быстрее, чем интенсивнее подъем уровня в вершине дельты (с учетом времени добегания). На спаде паводков наблюдается обратная картина: чем интенсивнее падает уровень в вершине дельты, тем быстрее размывается гребень бара (табл. 3). Следует отметить, что для большинства паводков типично, что отложенные на подъеме напосы к концу спада размываются, и поэтому отметки дна до и после прохождения паводка практически неизменны.

Таблица 3

Изменение отметок дна на устьевом баре $(\frac{\Delta H}{\Delta t})$ в зависимости от интенсивности подъема — спада летних паводков $(\frac{\Delta h}{\Delta t})$											
$\frac{\Delta H}{\Delta t}$ см/сутки	аккумуляция										
	70	60	50	40	30	20	10	0	-10	-20	-30
$\frac{\Delta h}{\Delta t}$ см/сутки	+7,3	+6,8	+6,1	+5,3	+4,2	+3,0	+1,8	0	-2,0	-5,3	-10,1

размыв

Влияние моря на динамику потока устьевого бара проявляется в непериодических колебаниях уровня воды и изменении в сквозном поле под действием ветра. Во время нагона, который обычно возникает при ветрах северного и северо-западного направления, на баре формируется кривая подпора свободной поверхности, обратным уклоном, тем большим, чем выше подъем уровня. Ветровые волны взмущивают большое количество напосов, отложение которых вызывает уменьшение глубин. В таких условиях занятие тем больше, чем меньше речной сток и выше нагон. Когда расходы воды в устьевом створе достигают руслоформирующих, такая закономерность нарушается, и занятие определяется поступающими с реки напосами, которые выпадают в осадок в условиях подпора. Во время стоянок поток на устьевом баре течет более концентрировано, формируется кривая спада свободной поверхности, отступающая от поперечных уклонов. В результате происходит размыв гребня бара. При окончании стоянко-нагонных колебаний уровень глубины на гребне бара восстанавливается.

За последние 20 лет однона правленной тенденции в изменении планового положения морского края устьевого бара протоки Средней не обнаруживается. Однако наблюдаются знакопеременные миграции его в зависимости от колебаний волны реки. В 1957 г. морской край расположался в 23 км от устьевого створа, ширина гребни составляла 6 км, длина русской борозды — 17 км (все границы по изобате 2 м). Речной склон бара имел уклон 0,0015, а морской — 0,0003. Последующий период (1957—1966 гг.) сопал с повышенной водностью р. Индигирки, когда на устьевой бар про текли Средней поступало ежегодно 4—7 млн. т наносов. В результате этого произошло существенное обмеление гребни устьевого бара. Ширина гребни увеличилась до 7 км. Весь бар выдвинулся в море на 1,4 км. В то же время удлинилась русловая борозда на 0,4—0,5 км. Речной склон бара стал несколько положе, на морском крае уклоны увеличились до 0,0005. С 1966 по 1974 г., когда водность р. Индигирки уменьшилась, морской край бара сначала стабилизовалась, а затем отступил на 0,7 км. В этот период произошло заполнение речными наносами русской борозды, ее длина уменьшилась на 1,3 км. Ширина гребни бара увеличилась, но глубины здесь возросли.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, современные процессы дельтобразования в устьевой области р. Индигирки соответствуют схеме, предложеной Н. И. Маккавьевым (1951). На верхнем участке русел рукавов происходит аккумуляция наносов при довольно интенсивных горизонтальных русственных преформирований. Второй и третий участки в средней части русел рукавов характеризуются общими процессами размыва при довольно малой интенсивности плановых смешений. Четвертый, нижний, участок рукавов и устьевые бары вновь являются зонами аккумуляции, горизонтальные русственные деформации здесь наиболее активны. Следует отметить, что динамичность крупных русственных образований в устье р. Индигирки много меньше, чем в руслах рек немерзлотной зоны (Чалов, 1976). В протоке Средней коэффициент стабильности изменяется от 3,9 до 18,5, а интенсивность размыва берегов не превышает 4 м/год, что в несколько раз меньше, чем на реках немерзлотной зоны с теми же величинами  $K_c$ . Видимо, активность процессов преформирования русла тормозится повсеместным развитием многолетнемерзлых пород. В то же время периодические русственные деформации в делах активного немерзлого слоя могут достигать большой величины, особенно в зонах взаимодействия воли суши и моря. Так, на устьевом баре протоки Средней в течение навигации изменение отмок дна может достигать 0,7 м. В этих условиях единственным способом решить транспортную проблему и увеличить глубины на устьевом баре является создание искусственного канала через гребень бара.

## ЛИТЕРАТУРА

- Антонов В. С., Бушуев А. В., Налимов Ю. В. Обнаружение глубоководных баров через бары арктических рек. — «Пр. АДНИИ», 1970, т. 290, с. 83—91.  
 Григорьев Н. Ф. Многолетнемерзлые породы приморской зоны Якутии. М., «Наука», 1966.  
 Маккавьев Н. И. Особенности формирования русла в низовых равнинных рек. — В сб.: «Проблемы физической географии», 1951, вып. 16, с. 49—78.  
 Маккавьев Н. И., Шагаева С. Г., Митюкова М. Н. Показатель устойчивости русла рек. — «Метеорология и гидрология», 1967, № 5.  
 Милешевич В. А., Сидорчук А. Ю. Об определении верхней границы зоны взаимодействия вол, суши и моря в устьевых областях рек. — В сб.: «Гидрология и гидромелиорация юга Дальнего Востока. Владивосток, 1977, с. 143—151.  
 Чалов Р. С. Исследование русского режима крупных равнинных рек. — В сб.: «Речная гидравлика и русловые процессы», ч. 2. М., Изд-во Моск. ун-та, 1976, с. 72—84.