

*Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова*

Межвузовский научно-координационный совет по
проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов

ЭРОЗИОННЫЕ
И
РУСЛОВЫЕ
ПРОЦЕССЫ

Выпуск 5

МОСКВА
2010

Лю Шугуан¹, Чжон Чжонлай¹, Д.Б. Бабич², В.В. Иванов², В.Н. Коротаев², М.В. Михайлова³

¹Тонкийский университет; ²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова; ³Институт водных проблем РАН

СТОК Р.ХУАНХЭ И ДИНАМИКА ДЕЛЬТЫ*

Река Хуанхэ (Желтая река) – одна из крупнейших рек Китая обладает огромным стоком наносов и высокой мутнотостью воды. Хуанхэ берет начало в Тибетском нагорье и при выходе из гор протекает по Великой Китайской равнине на протяжении 700 км. Большая часть среднего и нижнего течения реки на равнинной территории представляет собой древнюю дельту Хуанхэ общей площадью 250 тыс. км², вершина которой находилась в районе г. Кайфына. В настоящее время Хуанхэ впадает в залив Бохайвань Желтого моря. Вершина современной дельты расположена в 50 км от моря – в районе гидрометеорологической станции Лицзинь в 50 км от моря Согласно опубликованным данным, средний годовой сток воды в низовьях Хуанхэ изменился за многолетний период от 41 до 81 км³/год. Занимая первое место в мире по стоку наносов (около 132 млрд. т/год), Хуанхэ имела среднегодовую мутнотость воды 7,7 кг/м³ [Чалов и др., 2000]. Около 80% стока наносов Хуанхэ аккумулируется в пределах наземной дельтовой равнины и на её морском крае. В то же время дельта Хуанхэ подвержена воздействию морских факторов (волнения, приливов, вдольбереговых течений), и формиро-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 07-05-00525 и 07-05-00406 и гранта Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (проект № НШ-790.2008.5)

вание морского края дельты происходит в результате совместного воздействия реки и моря.

Материалы и методы исследования. Для оценки гидрологического режима р. Хуанхэ использован массив данных по г.л. Линзинь за период 1950–2000 гг. Динамика устья, русла реки и её морского края исследована на основе сравнительного анализа космических снимков за 1976, 1986, 1992, 1996–1998 гг., гидрографических карт масштаба 1:100000 за 1996–1998 гг., 1992 и 1996 гг.; гидрографических карт масштаба 1:25000 за 1996–1998 гг., масштаба 1:25000 за 1996–1998 гг. Для прогнозирования эволюции субдельта использовались результаты моделирования. Была изучена территория практической всей современной дельты Хуанхэ.

Сток воды и наносов и его изменчивость. Река Хуанхэ – одна из немногих крупных рек мира, имеющая относительно небольшой сток воды и огромный сток взвешенных наносов, характеристики которых значительно отличаются в течение года и за многолетний период. Согласно данным ГНЛЛинзинь за период 1950–2000 гг. среднегодовой сток воды в устье Хуанхэ составляет около $33,82 \text{ km}^3$, а среднегодовой расход воды приблизительно равен $1123 \text{ m}^3/\text{s}$. Среднегодовой сток наносов составляет 849 млн. тонн при средней мутности воды $22,6 \text{ kt/m}^3$. Многолетняя изменчивость стока р. Хуанхэ приведена на рис. 1 и таблице 1.

За период 1950–2000 гг. наибольшая величина стока воды была зафиксирована в 1964 г. – $97,3 \text{ km}^3$, минимальная в 1997 г. – $18,61 \text{ km}^3$. Наибольший сток наносов был отмечен в 1958 г. – 2,1 млрд. тонн, наименьший наблюдался в 1997 г. – 16,4 млн. тонн. Наибольшая среднегодовая мутность отмечалась в 1959 г. – 48 kt/m^3 , самая низкая – в 1987 г. – $8,84 \text{ kt/m}^3$.

Анализ графиков (рис. 1) показывает, что за 50 лет сток Хуанхэ в море уменьшился. Сток воды за период 1950–1993 гг. постепенно снижался. Для стока наносов за этот же период характерны циклические колебания с периодом 10 лет. Однако после 70-х годов XX века последовало резкое уменьшение стока наносов.

Внутригодовая изменчивость стока Хуанхэ отличается следующими особенностями (табл. 2). Многолетний период продолжается от июля до ноября, с наибольшим стоком воды и наносов в августе. В это время отмечается наибольшее значение среднемесячных расходов воды и наносов; сток воды составляет около 18%, сток наносов – 31,8% (102600 кг/с) от среднегодового. Сухой сезон продолжается с декабря по июнь. Минимум стока воды (около 3% от среднегодового) отмечается в феврале, тогда как наносов (1234 kg/s) – в январе.

История формирования гидрографической сети дельты. Дельта Хуанхэ относится к дельтам с ярко выраженным склоновообразным (прорывным) типом развития. Каждая крупная перестройка гидрографической сети носит катастрофический характер и представляет собой цикл, состоящий из шести этапов. Первый этап начинается с прорыва старого русла, второй – с образования разливов, третий – с формирование нового русла и разветвле-

ния его на рукава; четвертый этап характеризуется сопредоточением стока в одном из рукавов. На пятом этапе происходит формирование частной призменной дельты выдвижения (субдельты) на периферии старой дельтовой равнины и быстрое выдвижение русла в море. Шестой (заключительный) этап – отмирание (после нового прорыва выше по течению и прекращения стока в субдельту) и разрушение внешнего края субдельты под воздействием морского волнения.

Исторические данные свидетельствуют, по крайней мере, о пяти крупномасштабных перестройках гидрографической сети дельты Хуанхэ, произошедших после катастрофических прорывов русла [Мурзанов, 1957; Михайлова, 1958]. Считается, что они произошли в 602 г. до н. э., 11, 1048, 1194, 1855 гг. При этом Хуанхэ поочередно впадала то в залив Бояхайян, то непосредственно в Желтое море, т.е. к северу или югу от Шаньдунского п-ова [Marabini, Veggiani et al., 1993; Pang Jiazheng, Si Shuheng, 1972, 1984; Pang Jiazheng et al., 1995].

При большом изменении (первое исторически зафиксированное) положения русла Хуанхэ в 602 г. до нашей эры река прорвала обетвляющие береговые дамбы у Сусюкуо, и сформировала новое русло, практически параллельное старому. Направление русла осталось северо-восточным; минаяв г. Тяньцзинь Хуанхэ впадала в море. Второе большое изменение положения русла было в 11 г. н. э., когда Хуанхэ в результате прорыва дамбы достигла на восток по руслу р. Бэйхинхэ через города Цзинань и Линзинь и прорвала моря. Третье крупное изменение в дельте зафиксировано в 1048 г. Река прорвала дамбы у г. Пуюня и выработала новое русло. Хуанхэ стала протекать в северном направлении до г. Даминя, где разделилась на два крупных рукава. Левый рукав имел северо-восточное направление и впадал в море в районе г. Тяньцзиня, правый – восточное направление и впадал в море после соединения с р. Мандзяке.

Четвертое крупномасштабное изменение русла Хуанхэ произошло в 1194 г., во время перехвата стока Хуанхэ рекой Хуйхэ [Ye Qingchao, 1986]. С 1194 по 1855 г. сформировалась отдельная дельта Синакала (1194–1405 гг.) лишь часть стока Хуанхэ поступала в Хуйхэ, большое количество наносов отлагалось на равнине Хуанхэ–Хуйхэ, и дельта выдвигалась медленно. Позже зона отложения наносов сместились вниз по течению, и началось ускоренное развитие дельты. В 1578–1591 гг. рост дельты был наиболее интенсивным [Wan Yansen, 1989]. Скорости выдвижения древних дельт в Желтое море приведены в табл. 3.

Пятое катастрофическое изменение гидрографической сети дельты Хуанхэ произошло после прорыва дамб в 1855 г. в районе г. Лунмын. После непродолжительного блуждания по дельтовой равнине Хуанхэ сформировалась русло и стала строить дельту выдвижения в залив Бояхайян. Это направление стока реки унаследовала позже и современная дельта Хуанхэ. В 1887 г. после следующего прорыва Хуанхэ направила вновь свои воды на юго-восток, непосредственно в Желтое море к югу от Шаньдунского п-ова. В 1889 г. прорыв был заделан, и реку вернули в прежнее русло.

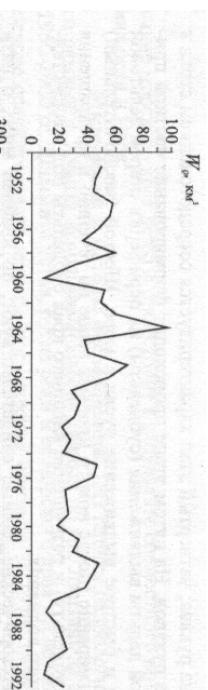


Рис. 1. Сток воды и наносов р. Хуанхэ (гл. Липзинь) за период 1950 – 1993 гг. [Li G. et al., 1998]

Таблица 1. Характеристики стока р. Хуанхэ

по данным гл. Липзинь (1950-2000 гг.)											
Период, годы	Сток воды, м³/с	Расход наносов, м³/с	Максим. расход воды, м³/с			Средняя мутность, кг/м³			Максим. мутность, кг/м³		
			X	XI	XII	X	XI	XII	X	XI	XII
1950-1959	48,05	1320	1522,9	6929	27,7	101,2					
1960-1969	50,12	1089	1589,2	5879	21,7	77,2					
1970-1979	31,12	898	986,4	4874	28,9	115,9					
1980-1989	28,6	629	901,2	4884	22,0	82					
1990-2000	13,26	358	488,6	2983	27,0	108,2					
1950-2000	33,82	849	1123	6929	25,4	115,9					

Таблица 2. Внутригодовая изменчивость стока воды ($\text{м}^3/\text{s}$) и наносов (%) от среднегодового р. Хуанхэ (гл. Липзинь) за период 1959-2000 гг.

Характеристики	1959-2000 гг.											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Среднегодичный расход воды, $\text{м}^3/\text{s}$	458	414	602	617	575	542	1461	2332	2022	1889	1178	636
Доля стока наносов от среднегодового	0,4	0,5	1,8	2,3	2,0	2,2	15,5	31,8	24,2	13,1	5,1	1,14

Таблица 3. Средняя интенсивность выдвижения древней дельты Хуанхэ [Михайлова, 1998]

Период	Число лет	Прирост дельты в год, м		
		за период, км	в год, м	длительности
1194-1578	385	15	39	
1579-1591	13	20	1538	
1592-1700	109	13	119	
1701-1747	47	15	319	
1748-1776	29	5,5	190	
1777-1803	27	3	111	
1804-1810	7	3,5	500	
1811-1855	45	14	311	
1194-1855	662	89	134	

В последующем произошло еще не менее 10 крупных прорывов (1889, 1897, 1904, 1926, 1929, 1934, 1953, 1960, 1964 и 1976 гг.) [Михайлова, 1998], приведших к формированию серии частичных наложенно-прицепленных дельт по обе стороны от русла, образовавшегося в 1855 г. (рис. 2).

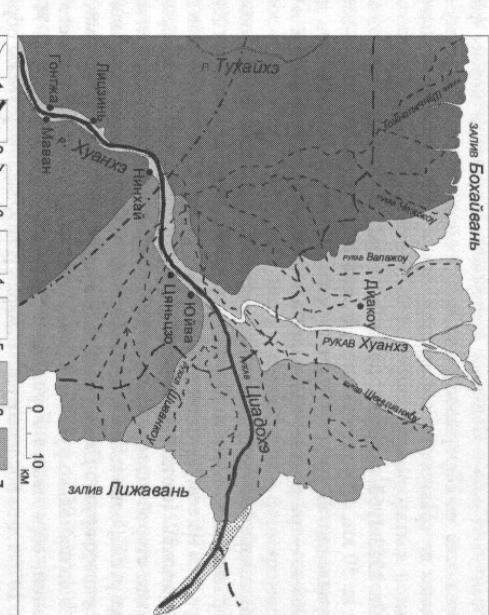


Рис. 2. Динамика гидрографической сети и формирование субдельт р. Хуанхэ [Li C.X., 1986]. 1 – русло бывшего главного русла (до 1976 г.), 2 – русло современного главного русла (после 1976 г.), 3 – остатки русла дельты, 5 – граница голоценовой дельты, 6 – субдельта 1964-1986 гг., 7 – субдельта 1947-1963 гг., 8 – субдельта 1929-1934 гг., 9 – субдельта 1904-1929 гг.

При этом каждая прицепленная дельта развивалась в запад Бояхай-бассейна как типичная дельта выдвижения. Перестройки гидрографической сети

дельты в 1953, 1964 и 1976 гг. были спровоцированы искусственным открытием стока реки с целью предотвращения наводнений. Искусственное отведение стока реки в северо-восточном направлении около населенного пункта Сюкугузы (в 50 км от моря) по углубленному деривационному руслу в период повышенного стока в июле 1953 г. привело к сокращению длины русла на 39 км. До прорыва Хуанхэ впадала в Желтое море тремя рукавами (восточным, северо-восточным и юго-восточным), а после прорыва только одним руслом Пэнсиань-гу, приблизительно параллельным старому северо-восточному руслу.

В 1960 г. наблюдался прорыв русла в 20 км от моря в восточном направлении. Расстояние до моря сократилось на 8 км. В 1963 г. несколько ниже предыдущего прорыва произошел еще один незначительный прорыв на юго-восток. В отличие от остальных, прорывы 1960 и 1963 гг. были естественными. Они возникли на небольшом расстоянии от моря и привели к формированию только небольших прилененных дельт, а новые, формирующиеся после этих прорывов русла, имели лишь небольшое преимущества в уклонах по сравнению со старым руслом и поэтому не были долговременными.

За 1953-1963 гг. русло постепенно выдвинулось в море от места прорыва на 50 км, сформировав новую дельтовую лопасть в северо-восточном направлении. В устьевой части после 1960 г. сформировались два, а после 1963 г. – три рукава, направленные на северо-восток, восток и юго-восток.

В январе 1964 г. для отвлечения стока из-за опасности наводнения была взорвана дамба около г. Лоудзупузы (в 48 км от моря), и сток Хуанхэ был направлен на север, что сократило длину русла на 26 км. Сначала образовались размыки и отдельные еще невыработанные русловые формы на поверхности старой дельты. Лишь к 1966 г. сформировались два четко выраженных русла, одно из которых отмерло к 1970 г. По мере выдвижения в море оставшееся русло Дяжоу начало меандрировать. В устьевой части оно раздилось на несколько рукавов. По-видимому, рукав, идущий в восточном направлении, образовался в результате небольшого прорыва в 1971 или 1972 г. К 1975 г. это боковое русло отмерло [Pang, Si, 1980]. Таким образом, за 1964-1976 гг. в северном направлении сформировалась новая напоженно-принесенная частная дельта общей длиной от места прорыва до моря 40 км.

Угроза новых наводнений заставила в мае 1976 г. перекрыть старое русло в 64 км от моря и направить воды Хуанхэ в восточном направлении, что сократило длину русла на 22 км. После этого изменения направления стока реки стала новая дельта с магистральным руслом Диадохз.

После каждого прорыва (1953, 1960, 1964 и 1976 гг.) и возникновению стока по новому направлению выше по течению от места прорыва (прокола) начинался сильный размыв, распространявшийся вверх по течению волны [Михайлова, 1999; Чалов и др., 2000].

Прорыв 1953 г. вызвал сильную ретрессивную эрозию, распространявшуюся более чем на 200 км. Уровень воды при этом понизился на посту Цинъцзо на 1,85 м [Pang Jiazheng, Si Shuheng, 1994], на посту Липинь – на 0,9 м. Однако врезание и снижение уровня были временными и сменились вследствие устьевого удлинения новым повышением дна и уровней воды. Так, за 1953-1976 гг. уровень воды у поста Липинь повысился на 2,3 м. К

1960 г. русло выдвинулось в море на 65 км от поста Цинъцзо, а уровень воды у поста Липинь повысился на 0,5 м.

Прорыв 1960 г. привел к небольшому снижению уровня воды у поста Липинь на 0,2 м. К 1964 г. русло выдвинулось в море на 60 км от поста Цинъцзо. Изменение направления и длины русла в 1964 г. вызвали размыв и сопутствующее ему понижение уровня на посту Липинь к 1968 г. на 0,4 м. К 1976 г. русло выдвинулось на расстояние 80 км от поста Цинъцзо, уровень воды повысился на 1,4 м на посту Липинь. После изменения направления стока реки в мае 1976 г. начали формироваться новое магистральное русло Диадохз и новая частная напожено-принесенная дельта Хуанхэ.

Анализ данных полевых измерений и космических снимков (1976-1992 гг.) показывает, что, быстро прошла первые два этапа своего развития, новое русло уже в 1976 г. выступило в третий этап – формирования нового русла и его разветвления. В 1976 - 1980 гг. происходило формирование нового русла на фоне интенсивного отложения наносов на пойме. В это время направление стока сильно изменилось. Сначала (1976-1978 гг.) русло выдигалось на северо-восток, потом (приблизительно в 1979 г.) оно разделилось на два рукава, ориентированные на северо-восток и юго-восток. Русло и пойма в это время еще четко не оформились. В июне 1976 г. при среднесуточном расходе воды у поста Липинь $217 \text{ м}^3/\text{s}$ ширина русла увеличивалась в продолжении от 2500 м. С 1976 по 1980 г. русло выдвинулось на 13 км. Уровень воды у поста Липинь поднялся на 0,5 м.

Формирование единого неразветвленного русла и его активное выдвижение в запад в юго-восточном направлении началось практически одновременно после отмирания побочных рукавов. Русло и пойма полностью сформировались. В мае 1984 г. при расходе воды $285 \text{ м}^3/\text{s}$ русло стало шире, чем было раньше, и выдвинулось дальше на юго-восток. Русло меандрировало, его ширина составила 300-700 м. С 1981 по 1986 г. русло выдвинулось в море на 9 км.

Начиная с 1987 г. по настоящее время русло формируется в условиях его искусственного регулирования. После стабилизации в 1987 г. размеры русла стали постоянными, несмотря на то, что сток воды и наносов изменялся год от года.

Для стабилизации русла Диадохз строили русловыправительные дамбы, перекрывали боковые водотоки, спрямляли и углубляли некоторые участки русла. Эти меры способствовали сосредоточению стока в едином узком русле, увеличению его транспортирующей способности и увеличению стабильности русла. В ноябре 1989 г. при расходе воды $858 \text{ м}^3/\text{s}$ ширина русла сократилась на 700-1000 м. С 1987 по 1992 г. русло выдвинулось на 7 км. Уровень воды у поста Липинь за это время повысился на 0,7 м.

Стабилизации русла способствовало уменьшение стока воды и наносов в современном магистральном рукаве дельты в результате отведения стока в каналы вблизи вершины дельты. Сток воды у поста Липинь в по-

следний период формирования русла (1976–1993 гг.) составил лишь 62% стока воды за 1964–1975 гг. и 58% стока воды за 1953–1963 гг. (табл. 4). Сток наносов уменьшился еще сильнее. В 1976–1993 гг. он составил, соответственно, 58 и 54% стока за 1964–1975 и 1953–1963 гг.

Таблица 4. Динамика морского края дельты р. Хунхэ

Период, годы	Прирост берега (аккумуляция), km^2	За период 1855–1998 гг.		
		Эрозия берега (размыв), $\text{km}^2/\text{год}$	Сток волын, $\text{km}^3/\text{год}$	Сток наносов, мин. т/год
06.1855–07.1953	2340	830	51,4	1110
07.1955–12.1963	286	42	47,2	1190
01.1964–05.1976	500	166	41,9	1120
06.1976–06.1986	436	60	33,5	826
06.1986–09.1992	280	152	18,6	457
06.1992–06.1996	200	148	18,7	546
10.1996–10.1996	24	2	12,9	418
10.1996–10.1997	1	11	38,8	310
10.1997–10.1998	13	3	10,1	375
			+10	+23,6

За 130-летний период р. Хунхэ в действительности текла через дельту только в течение 96 лет. Согласно литературным источникам, река в

1938–1947 гг. и другие непролongительные периоды пересыхала в низовьях [Pang, Si, 1980]. Длина вдоль главного руела и площадь дельты за это время увеличились на 28,5 км и 620 km^2 , соответственно, т.е. средние скорости выдвижения дельты в море были 0,30 км/год и 27,3 $\text{km}^2/\text{год}$, соответственно.

В период 1855–1947 гг. река формировала дельту в течение 57 лет. За это время длина русла увеличивалась на 13,3 км, площадь – на 1400 km^2 , т.е. дельта выдвигалась со средней интенсивностью 0,23 км/год и прирастала на 24,6 $\text{km}^2/\text{год}$. С 1947 по 1985 г. дельта выдвинулась в море на 12,2 км (0,39 $\text{km}/\text{год}$) и увеличила свою площадь на 1200 km^2 (31,3 $\text{km}^2/\text{год}$). Приведенные расчеты не учитывают циклов развития дельты в последние 40 лет и не позволяют дать точную оценку современной тенденции в изменении интенсивности выдвижения дельты.

В последние 40 лет прослеживается уменьшение интенсивности выдвижения дельты с 6 до 1,5 км/год. Уменьшение стока наносов основного русла дельты – главная причина снижения интенсивности ее выдвижения. Наиболее ярко это проявилось в последние десятилетия. При рассмотрении последних 40 лет (начиная с 1976 г.) наибольшая скорость выдвижения была отмечена в первый год (>10 км). В дальнейшем отмечалось последовательное снижение интенсивности с 2,9 км/год (июнь 1976 – октябрь 1980 г.) до 1,5 км/год (июль 1981 – июнь 1986 г.) и до 1,2 км/год (май 1987 – октябрь 1992 г.). Некоторые исследователи оценивали интенсивность выдвижения дельты в 1976–1985 гг. в 1,5 км/год [Keller, Prior, 1986]. Интенсивность увеличения площади дельты оставалась высокой, что связано с

относительной мелководностью залива Бояхайвань. В период 1976–1985 гг. площадь дельты при выдвижении ее в залив увеличивалась со средней интенсивностью 42 $\text{km}^2/\text{год}$ [Wolthold, Yang et al., 1986], что почти в 2 раза больше интенсивности выдвижения дельты в 1964–1976 гг., когда среднее ежегодное выдвижение составляло 23,5 $\text{km}^2/\text{год}$ [Jing Zhang et al., 1998].

По разным литературным источникам удалось установить связь между стоком взвешенных наносов и интенсивностью прироста площади дельты Хунхэ [Lin, Ivanov, 2001]. Верхняя отыбающая (рис. 3)ает представление о максимальной интенсивности изменения площади дельты, нижняя – о минимальной при одной и той же величине стока взвешенных наносов.

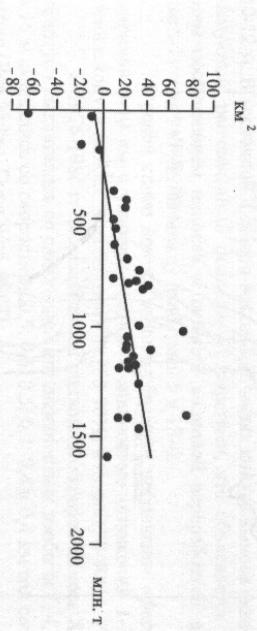


Рис. 3. График связи изменчивости стока взвешенных наносов и скорости прироста площади дельты Хунхэ

Анализ связи показывает, что при поступлении в дельту Хунхэ менее 300–350 млн. тонн взвешенного вещества площадь дельты может уменьшаться или оставаться постоянной. Другими словами, поступление такого количества наносов либо только компенсирует, либо не компенсирует разрушающее воздействие на дельту морских факторов. При поступлении большого количества наносов площадь дельты нарастает.

Динамика морского края дельты. Сравнительный анализ космических снимков, топографических и гидрографических карт дельты Хунхэ за период 1976–1998 гг. показал, что морской край дельты в целом выдвигался в море. Одновременно были выявлены участки размыва берега (рис. 4).

Результаты измерений изменения положения береговой линии за период 1855–1998 гг. приведены в таблице 4. Баланс между аккумуляцией и размывом берегов свидетельствует о постепенном выдвижении дельты за рассматриваемый период. Так, соотношение площадей аккумуляции и эрозии за период 1976–1996 гг. составило 916 и 360 km^2 , что дает возможность определить результатирующую приrost берега за 20 лет в 27,8 $\text{km}^2/\text{год}$.

В период с мая 1996 по октябрь 1998 гг. результатирующий прирост дельты уменьшился до 9,1 $\text{km}^2/\text{год}$. Это подтверждается и данными натур-

ных наблюдений за динамикой берега в устье реки в районе Кинг, где были получены сходные результаты. В период с октября 1996 по октябрь 1998 г. был получен нулевой баланс в отношении эрозии и аккумуляции. При этом в первый год преобладала эрозия и общее отступление дельты, тогда как во второй – аккумуляция и ее нарастание. Сток наносов в первом случае составил 310, а во втором 375 млн. тонн (табл. 4).

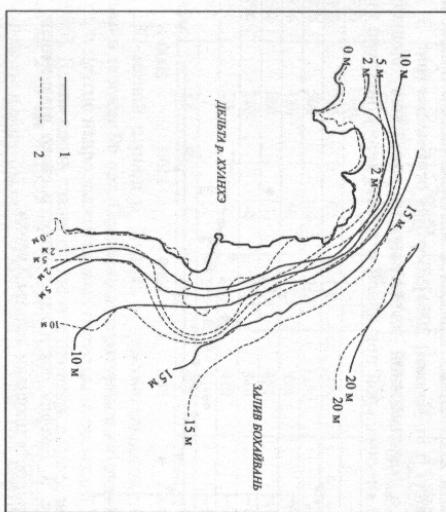


Рис. 4. Динамика морского края дельты р. Хуанхэ и подводного конуса выноса в устье реки. 1 – береговая линия и изобаты 06.1976 г., 2 – береговая линия и изобаты 06.1986 г.

Морфодинамика дна устьевого взморья (авандельты). Современная подводная часть дельты р. Хуанхэ представляет собой мощную лопасть, выделяющуюся в залив и морфологически полразделяющуюся на внутреннюю дельтовую платформу, морской склон, так называемый «фартук» и устьевой бар [Bathold, Yang et al, 1986; Prior, Yang et al, 1986].

Внутриприливная дельтовая платформа – это подводная плоская часть конуса выноса, затапливаемая при сизигийных приливах. Эта платформа простирается напротив главного русла на расстояние до 20 км от морского края дельты. Внешний край платформы неровный, повторяет очертания дельтовой лопасти и ограничен изогатой 2 м (иногда 4 м). Отложение в дельте и на дельтовой платформе состоит из тонкого песка (74%), ила (25%) и глины (1%). Преболидание песка – это результат сортировки наносов волнами и течениями. Толщина молодых отложений достигает 10 м. Платформу пересекают подводные русла, часто изменяющие свое положение. Поэтому пересекают подводные русла, часто изменяющие свое положение. По этим руслам на дно залива опускается гиперниканальный поток, транспорти-

рующий наносы Хуанхэ. Существует несколько широких и мелких подводных русел, начинавшихся на глубине 2-4 м, направленных на юго-восток и заканчивающихся на глубине 8-10 м, русла имеют глубину до 5 и ширину 200-400 м. Во время половодья сток наносов сосредоточивается в одном подводном русле.

Далее начинается довольно крутый морской склон конуса выноса шириной 3-10 км с мощностью отложений до 3 м, обычно ограниченный изобатами 2-10 м. Морской склон в основном ровный, с уклонами 0,003-0,005 иногда повышающимися до 0,007-0,009. В каждой части конуса выноса склон ровный и выпуклый из-за высокой скорости седиментации в этой области; здесь он начинается на глубине 2-4 м и простирается до глубины 10-12 м. В восточной и северо-восточной частях конуса выноса склон менее выпуклый, расчлененный подводными оврагами, что объясняется небольшим поступлением наносов и сильной волновой переработкой дна. Эта часть склона находится между изобатами 5 и 13-м.

Морской склон конуса выноса обрамлен небольшим «фартуком» шириной 8-10 км с уклонами (0,002 и мощностью отложений 1-3 м. На склоне конуса выноса преобладают ил (60-70%) и глина (30-40%).

В 1976-1980 гг. морской склон подводного конуса выноса Хуанхэ и «фартук» выдвигались со следующей интенсивностью: изобаты 2, 4, 6, 8, 10 и 15 м сменились со скоростями 0,5; 0,6; 0,5; 0,4; 0,4 и 0,4 км/год соответственно [Ren Yucan, Dong Wan, 1987].

Устьевой бар Хуанхэ формируется в устье каждого крупного рукава в результате отложения в основном речных и частично морских наносов при взаимодействии реки и моря. При преобладании воздействия реки (многоводные периоды) бар находится на расстоянии 5 км от устьевого створа рукава (конца устьевых кос); при преобладании воздействия моря (маловодные периоды) он может быть расположен в самом устье рукава. При сопоставлении воздействия морских и речных факторов баровые отмели появляются и в устье, и на некотором расстоянии от него.

Устьевой бар при выходе современного рукава Хуанхэ – Пиадохэ состоит из руслового участка, собственно бара и морского участка. Русловой участок включает в себя речное русло со снижающимися в сторону моря отметками дна и устьевую яму глубиной до 2 м. Собственно бар состоит из речного склона с обратным уклоном дна, гребня (вершины) бара и морского крутого склона (его уклон достигает 0,002-0,006). Морской участок бара – это пологий склон у подножия бара и прилегающее морское дно (дно залива).

Анализ динамики устьевого бара р. Хуанхэ за период с 1984 по 1992 г. показывает, что устьевой бар выдвигался в море, с различными скоростями; иногда выдвижение сменяется размытием [Li Congxian, 1986]. За этот период наибольшее выдвижение бара составило 2,8 км/год, наибольшее отступление – 1,09 км/год. В период 1984-1988 гг. бар выдвигался со скоростью 1,3 км/год, между 1988 и 1992 гг. – 1,26 км/год, причем темпы

размыва в это время уменьшились. В последние годы длина бара постепенно уменьшалась, что связано с сокращением стока наносов: в 1984-1988 гг. длина бара составляла ~6 км, в 1988-1992 гг. – 5 км. Глубина на гребне бара очень мала (0,5-1 м). В маловодные годы гребень растет в высоту, в многоводные годы он размывается (рис. 5).

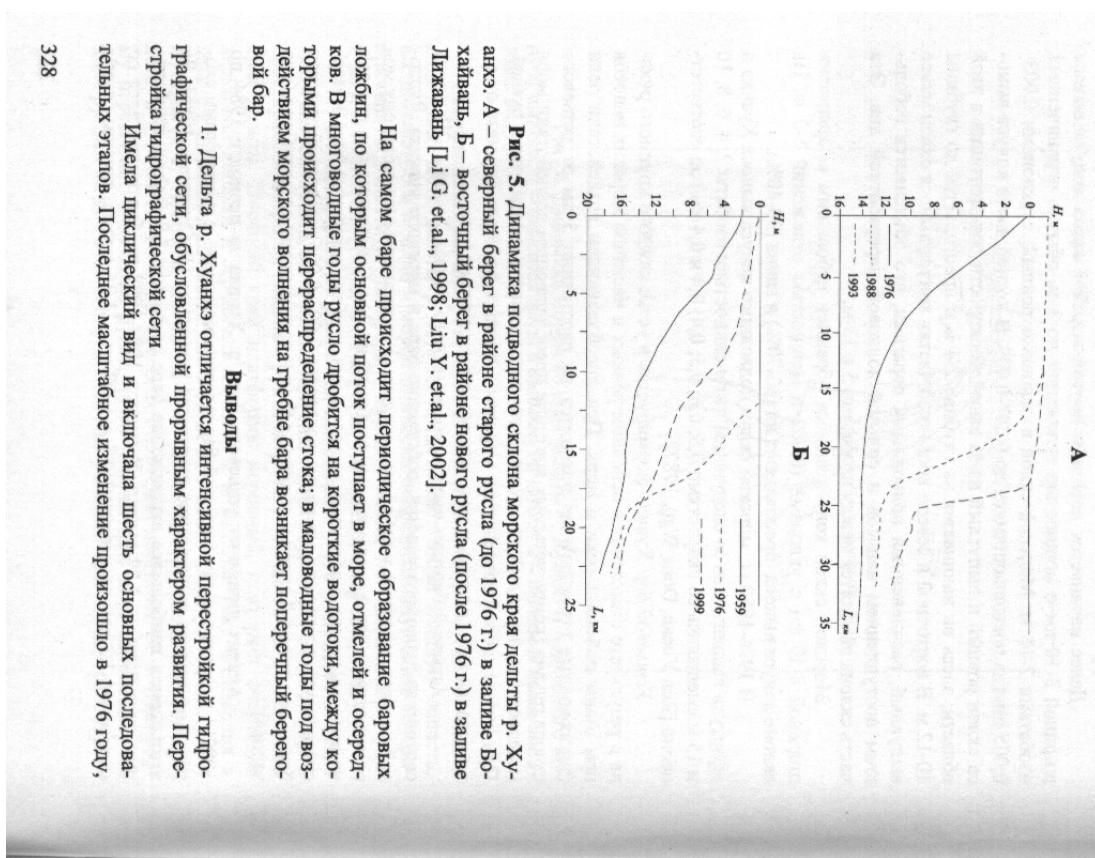


Рис. 5. Динамика подводного склона морского края дельты р. Хуанхэ. А – северный берег в районе старого русла (до 1976 г.) в заливе Боянхань, Б – восточный берег в районе нового русла (после 1976 г.) в заливе Лижавань [Li G. et al., 1998; Liu Y. et.al., 2002].

На самом баре происходит периодическое образование баровых ложбин, по которым основной поток поступает в море, отмелей и осердков. В многоводные годы русло дробится на короткие волоточки, между которыми происходит перераспределение стока; в маловодные годы под воздействием морского волнения на гребне бара возникает поперечный береговой бар.

Выводы

1. Дельта р. Хуанхэ отличается интенсивной перестройкой гидрографической сети, обусловленной прорывным характером развития. Перестройка гидрографической сети

Имея дискуссионный вид и включала шесть основных последовательных этапов. Последнее масштабное изменение произошло в 1976 году,

когда сформировалось новое магистральное русло и новая напложено-причлененная дельта.

2. Направленность и интенсивность всех изменений в дельте определяются, главным образом, изменчивостью стока воды и наносов реки выше вершины дельты. Влияние морских факторов на изменения в дельте относительно невелико из-за низких приливов и стабильных волнений в районе дельты.

3. Постепенное уменьшение стока воды и более резкое уменьшение стока наносов после 70-х годов XX века привело к тому, что за период 1950-1996 гг. интенсивность прироста дельты постепенно уменьшилась, при сохранении тенденции выдвижения морского края дельты в море.

4. При стоке наносов менее 300-350 млн. тонн в год возможно уменьшение площади дельты. По-видимому, в этом случае воздействие морских факторов перекрывает воздействие стока наносов и определяет последующие изменения (размыв берегов) площади дельты.

ЛИТЕРАТУРА

- Михайлова М.В. Гидрологический режим и динамика гидрографической сети устьевой области Хуанхэ // Водные ресурсы. 1998. Т. 28. №1.
Муранов А.П. Река Хуанхэ. Л.: Гидрометеоиздат, 1957.
Чаплов Р.С., Лю Шуган, Алексеевский Н.И. Сток наносов и русловые процессы на больших реках России и Китая. М.: МГУ, 2000
Bornhold B.D., Yang Z.-S., Keller G.H. et. al. Sedimentary framework of the modern Huanghe (Yellow River) delta // Geo-Marine Letters. 1986. Vol. 6. No 2.
Jing Zhang, Wei Wen Huang, Mao Chong Shi Huanghe (Yellow River) and its estuary: sediment origin, transport and deposition // J. Hydrology... Vol. 120. No 1-4
Keller G.H., Prior D.B. // Geo-Marine Lett. 1986. Vol. 6. No 2
Li Congxian. Deltaic sedimentation // Modern Sedimentation in Coastal and Nearshore Zone of China. Beijing: China Ocean Press. 1986
Liu S.G., Ivanov V.V. The Rough Balance of Progradation and Erosion of the Yellow River Delta and its Geological Meaning // Marine Geology. Quaternary Geology. 2001. Vol. 21. №4.
Marabini F., Velegiani A., Qin Yunshan, Cang Shuxi Climatic variations in the coastal zone – comparison between the Po River delta (Adriatic Sea, Italy) and the Huanghe River delta (Bohai sea, China) // Chin. J. Oceanol. Limnol. 1993. Vol. 11. № 3
Pang Jiazheng, Si Shuheng // Chin. J. Oceanol. Limnol. 1984. Vol. 2. № 2
Pang Jiazheng, Si Shuheng. Fluvial process of the Yellow River estuary // Oceanologia et Limnologia Sinica 1979. Vol. 10. № 2
Pang J.-Z., Si S.-H. Fluvial process of the Huanghe River estuary (part II) // Oceanol. Limnol. Sin. 1980. Vol. 11. № 4

Prior D.B., Yang Z.-S., Bornhold B.D., Keller G.H. et. al. Active slope Failure, sediment collapse, and silt flows on the modern subaqueous Huanghe (Yellow River) Delta // Geo-Marine Letters.1986. Vol. 6

Ren Yucan, Dong Wan The evolution and sedimentation of the modern Huanghe River // Mar. Geol. Quatern. Geol. 1987. No 7

Wan Yansen Development and decline of ancient Huanghe River estuary delta in Northern Jianshu // Oceanol. Limnol. Sin. 1989. Vol. 28. No 1

Ye Qingchao On the Development of the abandoned Yellow River delta in Northern Jianshu // Acta Geogr. Sin. 1986. Vol. 41. No 2