

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 556.54(282.252.9:265.72)

РЕЖИМ НАНОСОВ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ р. ХОНГХА (КРАСНАЯ)¹

© 2012 г. В. Н. Михайлов, М. В. Исупова*

Московский государственный университет

119991 Москва, ГСП-1, Ленинские горы. E-mail: vn.mikhailov@mail.ru

**Институт водных проблем РАН*

119333, Москва, ул. Губкина, 3

e-mail: misupova@yandex.ru

Поступила в редакцию 19.10.2010 г.

Рассмотрены основные особенности режима наносов в устьевой области р. Хонгха (Красная) во Вьетнаме. Показано, что в результате гидротехнического строительства на притоке Да сток наносов реки уменьшился почти в два раза. Проанализированы составляющие баланса наносов в устье реки; выявлено, что в рукавах дельты и на устьевом взморье задерживается >90% стока наносов. Подробно охарактеризованы морфологические процессы в устьевой области р. Хонгха: эволюция дельты в голоцене, динамика ее русловой сети, морского края и устьевых баров. Особое внимание уделено современным процессам выдвижения дельты в устьях основных рукавов и волнового размыва других участков морского берега дельты. Обсуждаются причины усиления этого размыва и изменения типа дельты в конце XX в.

Ключевые слова: река, море, дельта, сток наносов, баланс наносов, дельтообразование, русловые процессы, динамика морского края дельты.

Сведения о дельте р. Хонгха (Красной) – второй после Меконга реки Вьетнама – в работах отечественных исследователей устьев рек до последнего времени практически отсутствовали. Единственной публикацией на русском языке, где рассмотрены вопросы гидрологии и морфологии дельты р. Хонгха, была книга Нгуен Ван Кы [2]. Между тем, для российских специалистов опыт изучения режима дельты р. Хонгха может представить большой интерес, так как этот географический объект во второй половине XX в. подвергся большим естественным и антропогенным изменениям, которые характерны для современного состояния дельт многих крупных рек мира, включая Россию.

Авторами настоящей статьи издана работа [1], содержащая обзор результатов исследований гидрологических процессов в дельте р. Хонгха, проведенных вьетнамскими и иностранными специалистами, в которой рассмотрены вопросы гидрологического режима р. Хонгха, приемного водоема (зал. Бакбо), рукавов дельты. Особое внимание уделено процессам воздействия на гидрологический режим дельты приливов и тайфунов.

В настоящей статье изложены проблемы, связанные с процессами дельтообразования в устье

р. Хонгха, выдвижением дельты в море на одних участках морского края дельты (МКД) и активизирующимся в последние десятилетия размывом на других.

Вершина устьевой области (УО) р. Хонгха, до которой распространяются приливы и штормовые нагоны, находится в 210 км от моря, немного ниже устья притоков Да (правого) и Ло (левого). Вершина дельты (ВД) находится в 25 км ниже вершины УО; здесь от реки отходит вправо первый дельтовый рукав – Дай (рис. 1). Главный рукав дельты имеет, как и вся река, название Хонгха (Красная).

Дельта р. Хонгха имеет площадь 14.6 тыс. км², длину вдоль главного рукава 185 км, длину МКД 200 км [1]. В настоящее время сток реки поступает в море через девять основных рукавов (рис. 1), главные из которых – Балат и Дай.

Дельта р. Хонгха имеет для Вьетнама большое экономическое и экологическое значение [1]. Наиболее важная современная научная проблема, связанная с изменением режима и строения дельты р. Хонгха, – оценка тенденций в изменениях стока наносов реки, процессов дельтообразования в целом, а также прогноза процессов выдвижения дельты в море и, наоборот, размыва ее МКД и отступления. От оценки этих процессов будет зависеть характер мер по защите населения, хозяйства и экосистем дельты от негативных про-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 10-05-00061 и 11-05-00199).

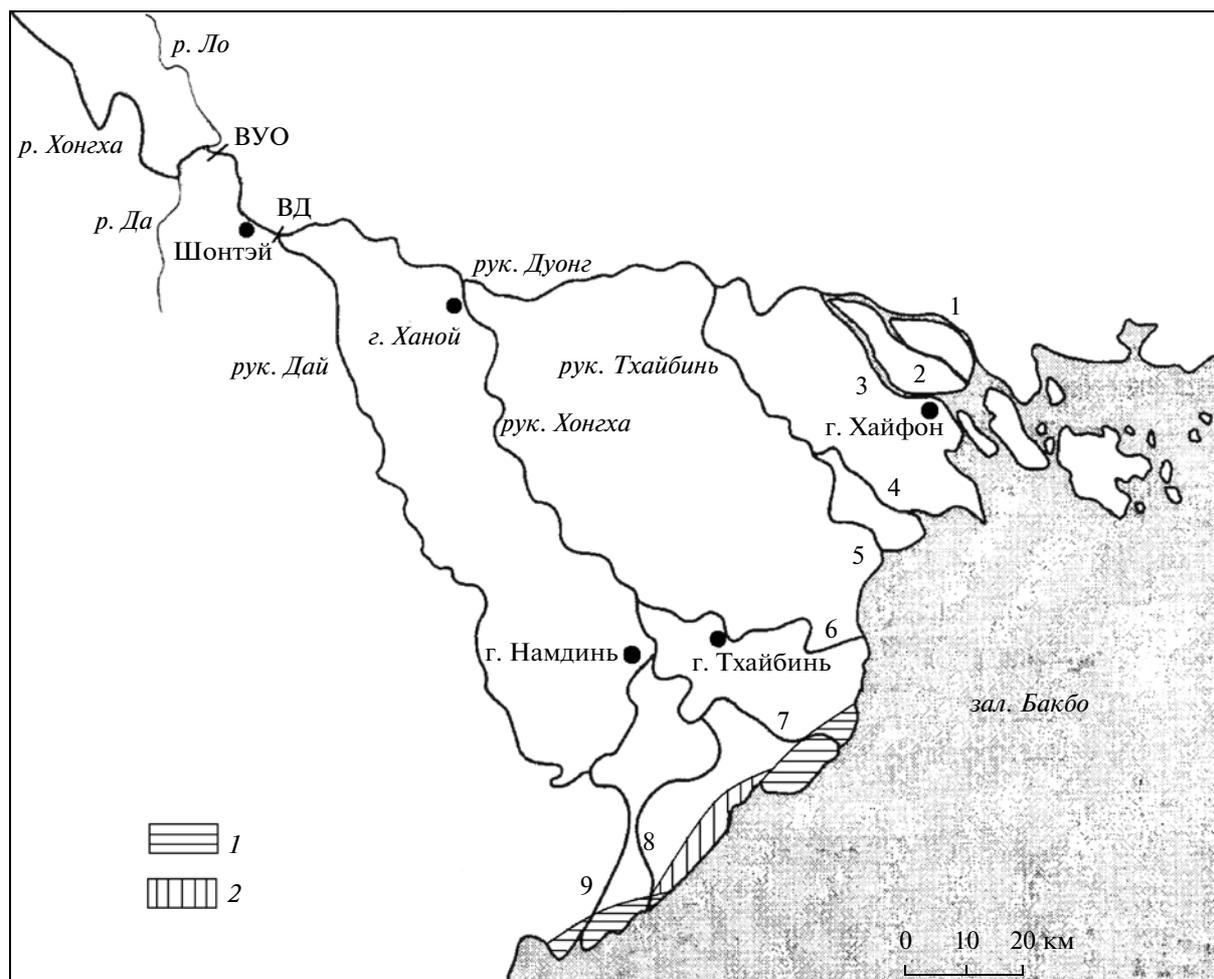


Рис. 1. Карта-схема устьевой области р. Хонгха (Красная). Устья рукавов дельты: 1 – Латьхуен, 2 – Намчьеу, 3 – Киньтхай, 4 – Ванук, 5 – Тхайбинь, 6 – Чали, 7 – Балат, 8 – Нинько, 9 – Дай; ВД – вершина дельты; ВУО – вершина устьевой области; районы сильного современного: 1 – выдвигения дельты, 2 – размыва МКД.

явлений гидролого-морфологических процессов в дельте.

При исследовании современных морфологических процессов в дельте Хонгха важнейшее значение имеет характеристика изменения двух внешних факторов – регулирования стока реки и активизации воздействия тайфунов и морского волнения. В 1979–1994 гг. на крупном правом притоке Хонгха – р. Да (в переводе – река Черная) в ~100 км выше ВД построены плотина и водохранилище Хоабинь, воздействие которых на режим дельты уже сказалось и будет несомненно проявляться в будущем. Назначение гидроузла Хоабинь – получение электроэнергии (на долю этой ГЭС приходится 30% производства электроэнергии во Вьетнаме [7]) и регулирование стока в дельте (увеличение его в сухой сезон и уменьшение опасности наводнения в период муссонного половодья). В литературе, к сожалению, послед-

ствиям для дельты и ее эволюции ввода в строй гидроузла Хоабинь пока уделено недостаточное внимание. Вторая важная проблема – оценка заметной активизации тропических ураганов и тайфунов и усиления их разрушающего воздействия на МКД. При рассмотрении упомянутых процессов большое значение приобретает вопрос о режиме и балансе наносов, чему уделено особое внимание в настоящей статье, в основу которой положены результаты исследований [1, 2, 7, 8, 11–16].

РЕЖИМ И БАЛАНС НАНОСОВ В УСТЬЕ р. ХОНГХА

Сток наносов и его временная изменчивость

Р. Хонгха приносит в свою УО довольно большое количество наносов. Это объясняется слабой

Таблица 1. Приближенные сведения о мутности воды р. Хонгха на г/п Шонтэй – s_1 до (1965–1975 гг.) и s_2 после (1993–1998 гг.) сооружения водохранилища Хоабинь по [7]

Характеристики	Период, годы	Расходы воды Q , м ³ /с											
		1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000
s_1 , кг/м ³	1965–1975	0.25	0.35	0.55	0.75	0.85	0.95	1.1	1.3	1.45	1.6	1.7	1.75
s_2 , кг/м ³	1993–1998	0.15	0.2	0.3	0.4	0.45	0.5	0.55	0.65	0.75	0.8	0.85	0.9
s_1/s_2	–	1.7	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	2.0	2.0	1.9	2.0	2.0	1.9

Таблица 2. Результаты расчета изменения среднемесячных величин расходов воды Q , мутности воды s и расходов взвешенных наносов R р. Хонгха на г/п Шонтэй в результате сооружения водохранилища Хоабинь

Характеристика	Период, годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q , м ³ /с	1902–1986	1520	1070	896	1080	1680	4680	8290	9230	5990	4200	3090	1850
s_1 , кг/м ³	1962–1975	0.35	0.25	0.22	0.25	0.32	0.82	1.35	1.47	0.95	0.77	0.55	0.33
s_2 , кг/м ³	1993–1998	0.17	0.15	0.13	0.15	0.18	0.43	0.68	0.77	0.50	0.42	0.30	0.19
R_1 , тыс. кг/с	1962–1975	0.53	0.27	0.20	0.27	0.54	3.84	11.19	13.57	5.69	3.23	1.70	0.61
R_2 , тыс. кг/с	1993–1998	0.26	0.16	0.12	0.16	0.30	2.01	5.64	7.11	3.00	1.76	0.93	0.35

противоэрозионной устойчивостью грунтов на поверхности бассейна реки, массовой вырубкой лесов для высвобождения земель под сельское хозяйство, большой неравномерностью стока воды и высокими скоростями течения. Смываемые с поверхности речного бассейна мелкие взвешенные наносы имеют преимущественно красноватый цвет, что и послужило основанием для названия реки: «hong» в переводе с вьетнамского означает красный цвет (европейцы же давно называют эту реку Красной – Red River).

Литературные данные о стоке наносов р. Хонгха противоречивы. В разных источниках указаны следующие величины среднего стока взвешенных наносов реки в ВД: 100 млн т/год [11], 114–117 [2], 116 [12], 120 [8], 125 [14], 130 [10], 160 млн т/год [9].

В [2] опубликованы данные многолетних наблюдений в 1902–1986 гг. за расходами Q и мутностью s на гидрологическом посту (г/п) Шонтэй, расположенному немного выше ВД, в 185 км от моря. На основе этих материалов в [1] сделан расчет среднемноголетних, месячных и сезонных величин стока воды W_Q и взвешенных наносов W_R , поступавших в УО р. Хонгха. Согласно этим расчетам, $W_Q = 114.6$ км³/год ($Q = 3631$ м³/с), $W_R = 116.7$ млн т/год, $s = 1018$ г/м³. С учетом доли стока влекомых наносов в суммарном стоке наносов р. Хонгха, равной 5% по [2], легко рассчитать полный сток наносов реки в ее УО – ~122.8 млн т/год.

Все приведенные выше оценки стока наносов р. Хонгха относятся к периоду до окончания стро-

ительства плотины и водохранилища Хоабинь на притоке Да, т.е. до 1993–1995 гг. Зарегулирование р. Да, дающей ~1/2 стока воды и наносов р. Хонгха в ее ВД, должно было заметно изменить гидрологические условия всей реки. К сожалению, прошло еще слишком мало времени, чтобы можно было точно оценить эти изменения. В недавних публикациях отмечены лишь факты некоторого увеличения расходов воды на г/п Шонтэй и в дельте в сухой сезон и уменьшения – в период половодья [7]. Есть указания на почти двукратное уменьшение s и W_R в устье реки [7, 15].

На основе графиков зависимости s от Q , построенных в [7] по ограниченному числу данных наблюдений, составлена табл. 1, иллюстрирующая уменьшение s в 1.7–2 раза после сооружения водохранилища Хоабинь. Учитывая, что связь расходов наносов R с s и Q нелинейная, авторы решили проверить, насколько в действительности сократился сток наносов реки в результате сооружения водохранилища Хоабинь. Поскольку данных о режиме Q р. Хонгха в зарегулированных условиях стока р. Да не имеется, условно принято, что среднемесячные Q на г/п Шонтэй, рассчитанные за 85-летний период [1, 2], в настоящее время не изменились (табл. 2). Среднемесячные величины s в период условно естественного и зарегулированного режима взяты путем интерполяции из табл. 1.

Результаты расчета среднегодового стока взвешенных наносов за периоды 1962–1975 и 1993–1998 гг. оказались следующими. За пер-

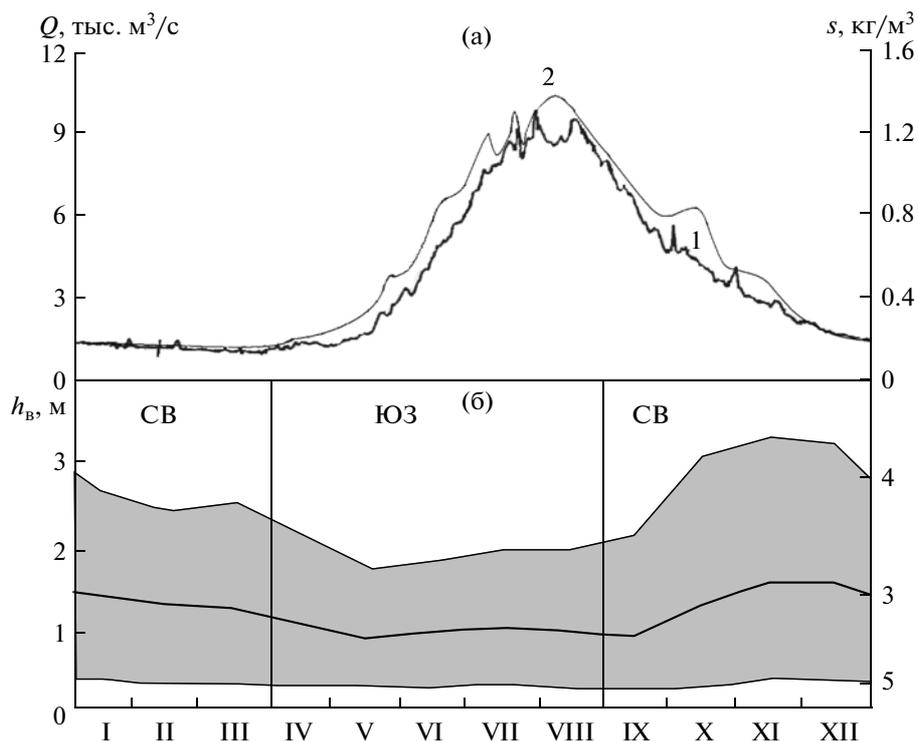


Рис. 2. Внутригодовое распределение по [15] осредненных за 1960–1998 гг. ежедневных расходов Q (1) и s (2) р. Хонгха на г/п Шонтэй (а) и высоты волн h_b в прибрежной зоне зал. Бакбо (3 – среднемесячной, 4 – максимальной, 5 – минимальной) (б). ЮЗ, СВ – преобладающие направления ветра и волн.

вый период (условно естественного режима) средний расход взвешенных наносов R_1 оказался равным 3.43 тыс. кг/с, а сток взвешенных наносов W_{R1} – 108.2 млн т/год. За второй период (зарегулированного режима) $R_2 = 1.82$ тыс. кг/с и $W_{R2} = 57.4$ млн т/год. Таким образом, сток взвешенных наносов реки при принятых при расчетах допущениях сократился в 1.9 раза, т.е. практически так же, как и средняя мутность воды. Сток влекомых наносов, видимо, уменьшился еще сильнее.

Речные наносы, поступающие в УО р. Хонгха, состоят из мелкозернистого песка, ила и глины. По данным [11], на долю этих фракций приходится соответственно 48, 43 и 9%. По данным [2], крупность взвешенных наносов реки в ВД составляет от 0.025 до 0.060 мм. Вдоль рук. Хонгха средняя крупность влекомых наносов D_{cp} уменьшается [2]: на расстояниях 120, 87, 25 и 12 км от моря она равна соответственно 0.152, 0.146, 0.129 и 0.085 мм. В [2] выявлена хорошая зависимость D_{cp} от скорости течения. В половодье доля взвешенных частиц крупнее 0.05 мм с ростом расхода воды уменьшается, а крупных фракций влекомых наносов – увеличивается. Противоположная тенденция отмечается в межень.

Многолетние и сезонные изменения стока взвешенных наносов в УО р. Хонгха в целом схо-

жи с аналогичной изменчивостью стока воды. Однако количественные оценки многолетней изменчивости стока наносов немного больше, чем стока воды: коэффициенты вариации равны соответственно 0.32 и 0.20 [2]. В XX в. периоды с наибольшим стоком воды и наносов реки были: 1906–1932 и 1967–1973 гг., с наименьшим: 1953–1966, 1974–1985 гг. [1, 2]. В многоводные годы в руслах реки и рукавах дельты происходило накопление наносов, в маловодные – их размыв. После сооружения водохранилища Хоабинь в конце 1980-х гг. количество наносов, поступающих в дельту, резко сократилось.

Внутригодовое распределение стока наносов также более неравномерно, чем стока воды. Так, вблизи ВД на период половодья при юго-западном муссоне (июнь–октябрь) ранее приходилось 74% годового стока воды и 92% годового стока взвешенных наносов; на период межени (ноябрь–май) – соответственно 26 и 8%. Наибольшее количество наносов поступало в дельту в июле и августе, наименьшее – в марте (рис. 2а). В период половодья s ранее достигала 2–3, иногда 12 kg/m^3 [7, 8].

После сооружения водохранилища Хоабинь s уменьшилась. Изменилось и внутригодовое распределение стока наносов (пока точно не оцененное). Из данных табл. 2 следует, что доля стока наносов в период половодья уменьшилась на не-

сколько процентов. В связи с перераспределением в течение года стока воды это уменьшение должно оказаться еще более значительным.

На динамику наносов в нижних частях рукавов дельты некоторое влияние оказывают приливы и нагоны. В периоды обратных течений (в приливную фазу или при нагоне) в русла поступают наносы, ранее находившиеся на устьевом взморье. Обратные потоки наносов невелики, но их необходимо учитывать при расчете выноса наносов по рукавам в море.

Вдольбереговое перемещение наносов (как продуктов волнового размыва МКД, так и наносов, поступающих из-за предела УО) определяется воздействием волнения и вдольбереговых течений. Согласно [11], в период летнего муссона преобладает перенос наносов вдоль МКД с ЮЗ на СВ, в период зимнего муссона – в противоположном направлении (с СВ на ЮЗ). Поскольку во время зимнего муссона волнение значительно сильнее, результирующий среднегодовой вдольбереговой поток наносов направлен с СВ на ЮЗ. Количество морских наносов, поступающих на взморье из-за пределов УО, по оценке [2], составляет 6.98 млн т/год.

Баланс наносов в УО р. Хонгха

Оценка баланса наносов в УО р. Хонгха пока может быть сделана только для условий условно естественного режима, т.е. до середины 1990-х гг. После сооружения водохранилища Хоабинь оценка баланса наносов в устье пока не делалась.

Уравнение баланса наносов в УО р. Хонгха для периода условно естественного режима в [2] представлено в виде

$$W_p + W_m = \Delta W_{\text{русл}} + \Delta W_{\text{пов}} + \Delta W_{\text{взм}} + \Delta W_{\text{из}} + W_{\text{гл}},$$

где в приходной части W_p и W_m – сток наносов реки выше ВД и поступление морских наносов из-за пределов УО соответственно; в расходной части $\Delta W_{\text{русл}}$, $\Delta W_{\text{пов}}$ и $\Delta W_{\text{взм}}$ – величины отложения наносов в руслах рукавов, на поверхности дельты и дне устьевое взморья соответственно; $\Delta W_{\text{из}}$ – величина изъятия наносов из рукавов на хозяйственные нужды; $W_{\text{гл}}$ – величина выноса наносов за пределы УО на большие морские глубины. По оценкам [2] (при некоторой корректировке авторов настоящей статьи), составляющие уравнения баланса наносов в УО для периода условно естественного режима следующие: $W_p = 122.8$, $W_m = 6.98$, $\Delta W_{\text{русл}} = 40.63$, $\Delta W_{\text{пов}} = 2.64$, $\Delta W_{\text{взм}} = 71.74$, $\Delta W_{\text{из}} = 1.91$ млн т/год. В результате расчета можно установить, что на долю выноса наносов за пределы УО на большие глубины ($W_{\text{гл}}$) остается 12.9 млн т/год.

Анализ годового уравнения баланса наносов в УО и его составляющих показывает, что из поступающих в пределы УО наносов наибольшая часть отлагается в руслах водотоков дельты (40.63 млн т/год,

или ~33% стока наносов реки) и на устьевом взморье (71.74 млн т/год, или ~58% W_p). Количество наносов, отлагающихся на поверхности дельты, невелико (причина – наличие защитных дамб, препятствующих заливанию дельты). Также невелико и количество наносов, выносимых за пределы УО на большие морские глубины. Вклад отдельных составляющих в баланс наносов в УО р. Хонгха в целом соответствует оценкам по другим устьям крупных рек мира в условиях обвалованных рукавов дельты и активного отложения наносов на устьевом взморье [5].

Важные выводы могут быть получены путем сравнения результатов расчетов баланса наносов и воды в дельте р. Хонгха. Как показал расчет баланса наносов, в пределах дельты в результате отложения в руслах рукавов и на поверхности поймы, а также искусственного изъятия в сумме расходуется наносов ~45.2 млн т/год (~37% W_p). На эту величину уменьшается сток наносов реки от ВД к ее МКД. В это же время, как определено в [1, 2], вследствие превышения осадков над испарением (1900 и 1200 мм/год соответственно) в пределах дельты происходит добавление водного стока в размере 10–13 км³/год, или ~9–11% стока воды в ВД. Заметное добавление водного стока – характерная особенность крупных дельт, находящихся в условиях достаточного и избыточного увлажнения, когда индекс сухости по М.И. Будыко, равный отношению испаряемости к осадкам, <1.0 [3, 5]. Для дельты р. Хонгха этот индекс равен 0.67 [1, 2]. Из приведенных выкладок следует, что уменьшение стока наносов (на ~37%) и увеличение стока воды (на ~10%) в пределах дельты должны сопровождаться уменьшением концентрации наносов по направлению от ВД к МКД в ~1.8 раза. Надежных данных, подтверждающих этот вывод, не имеется. Однако сравнение среднегодовых величин s на г/п Шонтэй (выше ВД) и Ханой (в 45 км ниже по течению) – 1018 и 630 г/м³ соответственно [2] – указывает на правдоподобность сделанного предположения.

Распределение стока наносов по рукавам дельты р. Хонгха детально не изучено. Часто используемое предположение о приблизительно пропорциональном распределении стока воды и наносов по системам дельтовых рукавов [3] применительно к рассматриваемой дельте не проверено из-за недостатка данных. Имеющиеся отрывочные сведения о стоке наносов в некоторых рукавах [2, 12] противоречивы. Согласно данным [12], средний сток наносов в устьях рукавов (с юга на север) Дай, Нинько, Балат, Чали и Тхайбинь в конце XX в. был равен соответственно 17.5, 17.5, 23, 18 и 12 млн т/год.

Таблица 3. Изменения уровня воды H относительно современного около западного побережья Южно-Китайского моря за последние 20 тыс. лет по [13] и результаты расчета их интенсивности

Тыс. лет назад	H , м	ΔH	
		м	мм/год
20	-115		
19	-113	+2	+2.0
18	-111	+2	+2.0
17	-108	+3	+3.0
16	-104	+4	+4.0
15	-99	+5	+5.0
14	-82	+17	+17.0
13	-70	+12	+12.0
12	-58	+12	+12.0
11	-49	+9	+9.0
10	-30	+19	+19.0
9.0	-15	+15	+15.0
8.0	-5.0	+10	+10.0
7.0	+0.5	+5.5	+5.5
6.5	+1.7	+1.2	+2.4
6.0	+2.7	+1.0	+2.0
5.5	+2.9	+0.2	+0.4
5.0	+2.9	0.0	0.0
4.5	+2.8	-0.1	-0.2
4.0	+2.7	-0.1	-0.2
3.5	+2.4	-0.3	-0.6
3.0	+1.8	-0.6	-1.2
2.5	+1.3	-0.5	-1.0
2.0	+0.8	-0.5	-1.0
1.5	+0.4	-0.4	-0.8
1.0	+0.2	-0.2	-0.4
0.5	+0.1	-0.1	-0.2
0	0.0	-0.1	-0.2

ПРОЦЕССЫ ДЕЛЬТООБРАЗОВАНИЯ В УО р. ХОНГХА

Факторы, влияющие на процессы дельтообразования

На процессы формирования речных дельт воздействует комплекс естественных и антропогенных факторов [3]. Если рассматривать эволюцию дельт в геологическом масштабе времени, то главным естественным фактором, воздействующим на процессы дельтообразования, должны быть признаны крупномасштабные изменения уровня приемного водоема. Дельты и их морские берега всегда “привязаны” к изменяющемуся среднему уровню моря (у.м.). Эволюция любой УО и трансформация ее типа зависят от направленности и интенсивности изменения у.м. В эпохи морских трансгрессий затопляются речные дельты и прибрежные равнины и, как правило, возникают УО эстуарного типа (узкие ингрессионные заливы, лиманы, лагуны, эстуарии). При стабилизации у.м. в вершинах водоемов эстуарного типа зарождаются дельты, УО приобретает эстуарно-дельтовый тип. Постепенно дельта выходит на открытое морское побережье, и формируется УО дельтового или (при значительном воздействии приливов) дельтово-эстуарного типов. В эпохи морских регрессий УО обычно имеют дельтовый тип, дельта быстро выдвигается в сторону приемного водоема. Именно по таким схемам развивались и процессы дельтообразования в УО р. Хонгха.

В [13] приведены основанные на результатах исследований многих специалистов графики изменения среднего уровня Южно-Китайского моря в последние 20 тыс. лет, в том числе наиболее детальный – за последние 7500 лет. Эти графики не только представляют интерес при исследовании реакции устья р. Хонгха на изменения у.м., но и позволяют прояснить дискутируемый до сих пор вопрос о том, превышал ли уровень океана во второй половине голоцена современный уровень. Авторами настоящего исследования рассчитаны координаты графиков по [13] (табл. 3).

Из данных табл. 3 следует, что у.м. в конце последней ледниковой эпохи, т.е. 20 тыс. лет назад (л.н.), находился на ~110 м ниже современного. В период 15–8 тыс. л.н. у.м. быстро поднимался и достиг отметок, близких к современному, приблизительно к 7 тыс. л.н. В последующие тысячелетия у.м. временно превышал современный, но не более чем на 3 м.

Для развития дельты р. Хонгха наибольшее значение имели изменения у.м. в последние 9 тыс. лет. В [13] этот период разделен на три фазы. В фазу I (9–6 тыс. л.н.) у.м. с отметки 15 м ниже современного поднялся до отметки ~3 м выше современного, средняя интенсивность роста у.м. составила 6 мм/год. В фазу II (6–4 тыс. л.н.) у.м. оставался относительно стабильным, изменяясь в пределах 2–3 м выше современного. В фазу III (по-

следние 4 тыс. лет) у.м. снизился на 2–3 м, интенсивность его падения составила 0.6 ± 0.1 мм/год.

Причинами роста у.м. в первую половину голоцена считают таяние покровных ледников, а его понижения в период позднего голоцена – временным похолоданием климата и увеличением массы льда в Антарктиде [13].

В последние несколько сотен лет у.м. вновь поднимался, хотя и, в целом, с небольшой интенсивностью. Согласно [6], в период 1870–2000 гг. (130 лет) средний уровень Мирового океана повысился на 18.5 см, интенсивность его повышения составила 1.4 мм/год. В конце XX в. скорость подъема у.м. в связи с потеплением климата возросла. Если в 1961–2003 гг. у.м. повышался с интенсивностью 1.8 ± 0.5 , то в 1993–2003 гг. – уже 3.1 ± 0.7 мм/год [6]. Согласно прогнозам [6], рост у.м. в будущем еще больше ускорится и к концу XXI в. может составить ~1 м. Такой же рост у.м. ожидается и для зал. Бакбо [12].

Вторым по важности фактором дельтообразования можно считать сток наносов реки. Как указывалось, сток наносов р. Хонгха в XX в. был достаточно большим: >120 млн т/год. Следует учесть, во-первых, уменьшение стока наносов реки почти в 2 раза после сооружения водохранилища Хоабинь на притоке Да, и во-вторых, уменьшение величины стока наносов в результате их отложения в дельте к МКД.

Третий важный фактор, влияющий на интенсивность процессов дельтообразования в устье р. Хонгха, – рельеф местности, где формируется дельта, и тектонические процессы. Рельеф как прибрежной равнины (которая была затоплена во время голоценовой трансгрессии), так и дна современного мелководного зал. Бакбо (с преобладающими глубинами <50 м [1, 13]) в целом ровный, что предопределило быстрое выдвигание формирующейся дельты в море. Направление этого выдвигания совпадало с положением крупной области тектонического опускания, называемой либо грабеном [8], либо разломом [13]. Эта тектоническая структура ориентирована с СЗ на ЮВ, имеет в центральной части ширину 30–50 км и характеризуется медленным опусканием с интенсивностью 0.04–0.12 мм/год [8, 13]. Этот прогиб заполнен отложениями неогена и четвертичного периода мощностью >3 км [8, 13].

И, наконец, в качестве дополнительных факторов, важных для понимания современных процессов дельтообразования, необходимо назвать морское волнение, приливы и штормовые нагоны, оказывающие на развитие дельты р. Хонгха “тормозящее” и “моделирующее” воздействие.

Наиболее важную роль в формировании современного МКД р. Хонгха играет морское волнение. Наиболее сильное волнение развивается в прибрежной зоне вблизи МКД р. Хонгха во время северо-восточного зимнего муссона с октября по

март. Средняя высота волн h_b равна 1.5–2 м, максимальная – до 3 м (рис. 26). Менее сильное волнение наблюдается во время южного летнего муссона с мая по август ($h_b \sim 1$ м). Преобладающее направление вдольберегового потока наносов – на СВ летом и на ЮЗ зимой. Результирующий же поток наносов направлен на ЮЗ.

Величина суточных приливов возрастает вдоль МКД в северо-восточном направлении от 2 до 4 м [15]. Во время тайфунов [1] возникают штормовые нагоны высотой 2.5–3 м. Заметное влияние на современные процессы изменения берегов дельты оказывает проявившаяся в последние десятилетия активизация тропических циклонов и тайфунов, создающих сильное волнение, размывающее МКД. Как отмечено в [7], увеличились как частота, так и сила тайфунов. Достаточно упомянуть, что лишь в 2005 г. на берега дельты обрушилось 8 тайфунов, два из которых были самыми разрушительными за 30-летний период.

Среди местных антропогенных факторов, влияющих на развитие дельты р. Хонгха, необходимо упомянуть следующие: массовую вырубку лесов (в том числе мангровых) на дельтовой равнине, усилившую ее эрозию; сооружение защитных дамб вдоль рукавов, начавшееся ~500 л.н., сдерживающее поперечную миграцию рукавов и приведшее к отложению наносов и повышению русел; сооружение дамб вдоль МКД, призванных защитить его от абразии; изъятие руслового аллювия на строительные нужды.

В ближайшей перспективе заметное и длительное воздействие на процессы дельтообразования в устье р. Хонгха будут оказывать существенное антропогенное сокращение стока наносов реки, ускоряющееся повышение у.м., морское волнение во время частых и сильных тропических штормов и тайфунов.

Эволюция дельты р. Хонгха в голоцене

В основу различных реконструкций эволюции дельты р. Хонгха в голоцене положены данные бурения отложений и их радиоуглеродной датировки, геоморфологические исследования, сведения об изменениях у.м. Обобщение результатов исследований эволюции дельты р. Хонгха, выполненных вьетнамскими, японскими и английскими специалистами, приведены в [2, 8, 13, 15]. Эти результаты довольно противоречивы. Например, по-разному трактуются вопросы о времени зарождения дельты в конце голоценовой трансгрессии, о последовательности и интенсивности выдвигания разных частей дельты в море. По данным, приведенным в [2], МКД находился в районе нынешнего г. Ханой ~4500 л.н., а в месте современного истока рук. Чали – 1000 л.н. В соответствии с материалом, представленном в [15], положение МКД в упомянутых местах датируется соответственно <4000 и ~2000 л.н., а в [13] – 7000

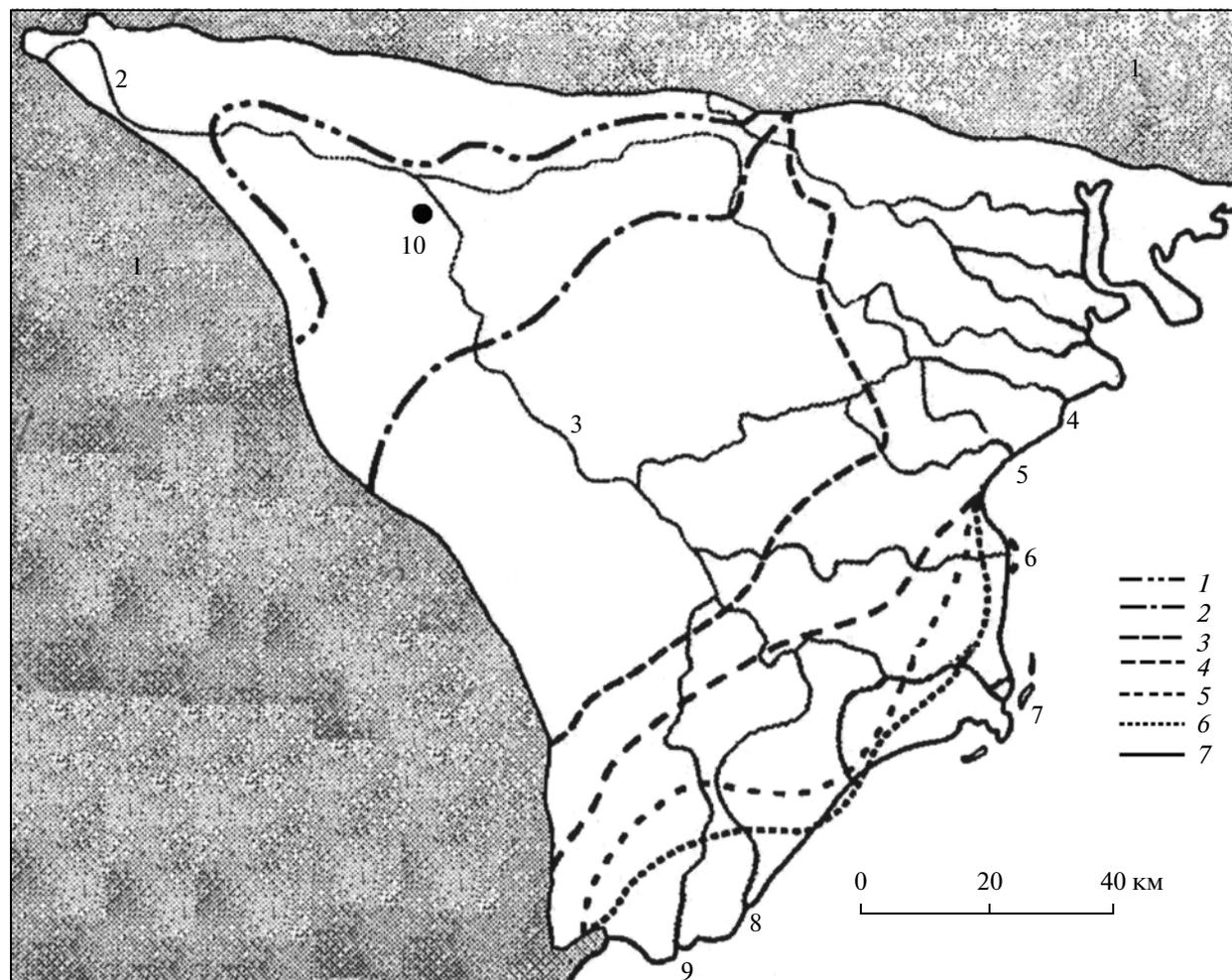


Рис. 3. Карта-схема развития дельты р. Хонгха в последние 4 тыс. лет по [15]. 1 – возвышенности за пределами дельты, 2 – р. Хонгха, 3 – рук. Хонгха, устья рукавов: 4 – Ванук, 5 – Тхайбинь, 6 – Чали, 7 – Балат, 8 – Нинько, 9 – Дай, 10 – современный г. Ханой. Положение МКД: 1 – 4000 л.н., 2 – 2700, 3 – 2000, 4 – 1000, 5 – 500, 6 – 200 л.н., 7 – современное.

и >4000 л.н. В качестве одной из версий эволюции дельты в настоящей статье приведена схема, составленная Ли с соавторами и опубликованная в [15] (рис. 3).

В позднем плейстоцене (20–16 тыс. л.н.) уровень Южно-Китайского моря стоял ниже современного не менее чем на 100 м (табл. 3). Большая – западная – часть моря, включая зал. Бакбо, представляла собой приморскую сушу. Реки современного Вьетнама впадали в море далеко от нынешнего берега. В своих устьях они имели многорукавные разбросанные русла, сложенные песком и гравием. Следы конуса выноса древней р. Хонгха (так же как аналогичные образования в месте устья древнего Меконга) находят на большом расстоянии от берега [2, 4]. В это время на месте современной дельты р. Хонгха отложились слои песка и гравия

мощностью ~50 м в районе нынешнего Ханоя и ~100 м – вблизи современного МКД [8].

Быстрое и значительное повышение уровня Мирового океана и Южно-Китайского моря (табл. 3) привело к затоплению древней дельты р. Хонгха и образованию на месте современной дельты обширного морского залива-эстуария. Произошло это 7–5 тыс. л.н., когда во время голоценовой трансгрессии уровень моря существенно поднялся и некоторое время был даже на 2–3 м выше современного (табл. 3). Именно в это время началось формирование современной дельты р. Хонгха.

Основные особенности ее эволюции следующие.

1. Интенсивность выдвигания дельты р. Хонгха сначала в залив-эстуарий, а затем в открытое море

в последние 4–5 тыс. лет была довольно большой. Согласно схеме на рис. 3, дельта за 4000 лет выдвинулась на 160–180 км (в среднем на 170 км со средней скоростью ~42 м/год). Схема эволюции дельты в [2] дает немного меньшие величины выдвигания дельты за 4500 лет: 120–130 км (в среднем 125 км, ~28 м/год).

2. Выдвижение дельты сначала в залив-эстуарий, а затем в море было неравномерным. Согласно рис. 3, на первых этапах развития дельты в вершине залива-эстуария ее выдвижение шло в юго-восточном направлении вдоль оси залива, совпадающей с плейстоценовой долиной реки и положением тектонического разлома-грабена. В период 2–1 тыс. л.н. более активно выдвигалась северная часть дельты, а в последние 1000 лет – вновь южная и юго-восточная.

3. Интенсивность выдвигания дельты по мере заполнения наносами залива-эстуария постепенно уменьшалась. Из схемы на рис. 3 следует, что в периоды 4000–2700, 2700–2000, 2000–1000, 1000–500 и 500–200 л.н. максимальная интенсивность выдвигания МКД составляла соответственно 38, 71, 60, 44 и 27 м/год. Постепенное замедление скорости выдвигания дельты объясняется тем, что по мере роста дельты увеличивались ширина области дельтообразования и глубина у внешнего края дельты. Большая скорость нарастания дельты в период 2700–2000 л.н. может быть объяснена, согласно [13], снижением у.м. в это время. В результате этого снижения значительная часть суши обнажилась и превратилась в морскую террасу, занятую мангровыми болотами. Аналогичная терраса находится и в средней части дельты р. Меконг [2, 4].

4. В последние 1000 лет процессы дельтообразования сосредоточились лишь в южной части МКД. В это время, согласно [2, 15], в этой части дельты сформировалось несколько частных дельт (дельтовых лопастей), поочередно выдвигающихся в море. Последними по времени образования были лопасти в устьях рукавов Дай и Балат. Поскольку выдвигались в море лишь отдельные части дельты, максимальная величина и скорость выдвигания МКД вновь возросла и в последние 200 лет составила в районе устья рукавов Дай и Балат ~18 км (~90 м/год).

5. Упомянутое выше более или менее равномерное по периметру МКД выдвижение дельты в море отличается от процессов дельтообразования в устьях других рек, несущих также большое количество наносов. В устьях Терека, Или, Амударьи, Хуанхэ, Миссисипи процесс дельтообразования шел скачкообразно путем формирования и последующего отмирания крупных дельтовых лопастей [3]. Как указано в [2], образованию крупных прорывов русла и частных дельт в устье р. Хонгха препятствовали два обстоятельства: во-первых, ограничение зоны дельтообразования коренными берегами не очень широкого

морского залива (рис. 3), ныне занятого дельтой; во-вторых, наличие вдоль современной дельты р. Хонгха глубокого тектонического разлома-грабена.

6. За время нарастания современной дельты слой мелкозернистых молодых голоценовых отложений составил в ее пределах от 30 до 60 м [2, 8, 14]. Полная же мощность четвертичных отложений в дельте составляет от 100 м в районе г. Ханой до 250 м в районе современного МКД [8, 14].

РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Русловые процессы в водотоках дельты р. Хонгха, как и в дельтах всех рек, несущих большое количество наносов, довольно активны. Вместе с тем, в последние 500 лет горизонтальные русловые деформации в руслах водотоков в устье р. Хонгха сдерживаются береговыми дамбами, сооруженными для защиты земель и населенных пунктов от наводнений [2].

Как и во всех дельтах, русловые процессы в рукавах можно подразделить на направленные (необратимые) и знакопеременные (обратимые) [3]. Направленные русловые деформации в дельте р. Хонгха объясняются, во-первых, крупномасштабной аккумуляцией речных наносов в процессе развития дельты в голоцене, во-вторых, выдвиганием основных рукавов в море и, в-третьих, перераспределением стока воды и наносов между рукавами. Итогом двух первых естественных процессов стало отложение большого количества наносов в рукавах и на их берегах и постепенное повышение русел рукавов над окружающей местностью. Доказательством таких процессов служит приведенная выше оценка баланса наносов в дельте. Следствие третьего процесса – естественного для всех дельт перераспределения стока воды и наносов по рукавам – это взаимное приспособление потока и русла в рукавах с неизбежным изменением морфометрических характеристик рукавов при их активизации и размыве или, наоборот, при потере активности (и даже отмирании) и заилении. Эти процессы могут быть оценены путем применения так называемых гидролого-морфометрических зависимостей, связывающих ширину B и глубину h русел с руслоформирующими расходами воды $Q_{\text{рф}}$ в рукавах. Эти зависимости имеют вид $B = K_B Q_{\text{рф}}^n s^x$, $h = K_h Q_{\text{рф}}^m s^y$. Здесь s – мутность воды в половодье, K_B, K_h, n, m, x, y – эмпирические параметры.

Для рукавов дельты р. Хонгха аналогичные зависимости эмпирическим путем получил Нгуен Ван Кы [2]. Параметры уравнений оказались следующими: $K_B = 5.4$, $K_h = 0.25$, $n = 0.58$, $m = 0.29$, $x = -0.05$, $y = -0.24$. Зависимости для рукавов дельты р. Хонгха близки к тем, которые получены в [3] для рукавов разных дельт при $s > 1$ кг/м³. Рас-

считанные в [2] зависимости, связывающие B и h с $Q_{\text{рф}}$, указывают на то, что при возрастании $Q_{\text{рф}}$ в процессе перераспределения стока между рукавами B и h рукава увеличиваются, что возможно лишь в результате эрозии русла.

Важные следствия упомянутых процессов – во-первых, существенные (и довольно быстрые в условиях большой мутности воды) процессы размыва или, наоборот, заиления русел рукавов вследствие перераспределения стока между ними, а во-вторых, увеличение размеров русла (и прежде всего его ширины) вследствие возрастания руслоформирующих расходов воды на приморских участках рукавов в результате “сложения” стокового и отливного потоков [1]. Поэтому для устьев ряда рукавов дельты р. Хонгха (особенно в северной ее части) характерны так называемые эстуарные расширения, куда в приливную фазу проникают морские воды [1, 8].

Направленные (необратимые) русловые деформации могут иметь и антропогенные причины. Существенное уменьшение стока наносов р. Хонгха после сооружения плотины и водохранилища Хоабинь должно было вызвать размыв русла ниже плотины. По проекту ГЭС Хоабинь предполагалось, что такой размыв должен был распространиться на ~100 км и составить 4 м в 38 км от плотины, 1.3 м у г/п Шонтэй (50 км) и 0.5 м у г/п Ханой (90 км) [2]. Результаты нового расчета ожидаемого размыва русла ниже плотины Хоабинь [2] показали, что максимальная величина размыва может составить 6.0–7.2 м, а длина зоны сильного размыва окажется равной 32 км. Область размыва распространится и на устьевой участок реки, и (частично) в дельту.

Несмотря на влияние защитных дамб, тенденция смещения русла на устьевом участке реки и в дельте вправо проявляется и в условиях его полного обвалования [2, 8].

Знакопеременные (обратимые) русловые деформации и на устьевом участке р. Хонгха, и в рукавах дельты связаны, во-первых, с многолетними колебаниями стока реки, во-вторых, с его сезонными изменениями, в-третьих, с процессами меандрирования, в-четвертых, с процессами перемещения вдоль русел мезо- и микроформ руслового рельефа.

Как показано в [2], в многоводные периоды в многолетних колебаниях речного стока (например, в 1960–1969 гг.) в русле реки на устьевом участке и в рукавах дельты заметно преобладали процессы аккумуляции наносов и повышения русла. В маловодные годы (например, в 1970–1980 гг.), наоборот, преобладали размыв и врезание русла. Аналогичные последствия имеют и сезонные колебания стока: в половодье происходит активное отложение речных наносов, в межень – их размыв. Такие закономерности свойственны многим устьям рек с большим количеством наносов [3]. Дельты многих рек ведут себя как огром-

ные скопления речных отложений; подобно речным перекатам, в рукавах дельты в половодье наносы отлагаются, а в межень – размываются.

Меандрирование русла было характерно для устьевого участка р. Хонгха и рукавов дельты в период, предшествующий их крупномасштабному обвалованию. В период естественного состояния русел в устье р. Хонгха (т.е. более 500 лет назад) излучины развивались очень быстро, ширина пояса меандрирования при этом достигала 18 км, а длительность полных циклов меандрирования (от прямолинейного русла к извилистому и вновь к прямолинейному после прорыва излучины) составляла от 10 до 20 лет [2].

Песчаные гряды в водотоках дельты р. Хонгха длиной 12–60 м и высотой 0.3–7.0 м [2] довольно подвижны, и их смещение приводит к периодическим изменениям глубины русел.

ДИНАМИКА МКД И УСТЬЕВЫХ БАРОВ

Современные процессы выдвигания дельты и формирования устьевых баров

Анализ динамики МКД р. Хонгха в XX в., сделанный в [2, 7, 8, 11, 12, 14–16], основан на данных топографических съемок и космических снимков. Основная выявленная закономерность в современной динамике МКД – сочетание процесса выдвигания МКД в море, обусловленного отложением большого количества речных наносов в устьях основных рукавов, и волнового размыва или абразии (в иностранной литературе применяется термин “береговая эрозия”). Как показывает схема на рис. 3, более или менее равномерное выдвигание МКД р. Хонгха в море прекратилось ~1000 л.н. В последние 500 лет активно выдвигались в море лишь участки МКД, прилегающие к устьям рукавов Балат, Нинько и Дай в центральной и южной частях дельты. То же касается и последних 200 лет (рис. 3). Приращение площади всей дельты явно превосходило величину ее возможного размыва. По оценкам [14], средняя интенсивность выдвигания дельты в море за последние 50 лет XX в. составила 25 м/год, суммарный (результатирующий) прирост площади дельты оказался равным, га/год (км²/год): 361 (3.61) при величинах нарастания дельты 386 (3.86) и волнового размыва 25 (0.25). На основе этих данных можно рассчитать величину результирующего прироста площади дельты за вторую половину XX в.: $193.0 - 12.5 = 180.5 \text{ км}^2$.

Результаты анализа динамики МКД, приведенные в [2, 7, 8, 11, 16], качественно совпадают, но количественные оценки выдвигания или отступления МКД на разных участках в публикациях иногда существенно различаются. По мнению авторов настоящей статьи, это объясняется использованием различных данных о положении МКД в

прошлом и, по-видимому, недостаточной точностью картографического материала.

Во всех упомянутых выше работах выделены участки современного активного выдвигания МКД и удлинения русел рукавов. Это участки, прилегающие к устьям наиболее водоносных рукавов дельты – Чали, Балат, Нинько и Дай (рис. 1). Наибольшая интенсивность выдвигания МКД в море характерна для устьев рукавов Балат и Дай. Согласно [2], за период 1953–1981 гг. (28 лет) рук. Балат выдвинулся в море на 3 км (интенсивность устьевого удлинения, таким образом, составила 107 м/год). За 1953–1976 гг. (23 года) благодаря воздействию искусственной продольной дамбы русло в устье р. Дай удлинилось на 7 км (интенсивность выдвигания составила 304 м/год) [2].

Несколько иные величины выдвигания некоторых рукавов дают схемы, которые приведены в [11, 14]. Согласно [11], за 1905–1992 гг. правый берег в устье рук. Балат выдвинулся на 4.0 км (46 м/год), а левый берег в устье рук. Дай – на 7.5 км (86 м/год), при этом отмечен факт замедления выдвигания обоих рукавов.

Более детальные схемы динамики устьев некоторых рукавов дельты приведены в [14]. Согласно этим данным, обобщенным в табл. 4, рук. Балат выдвинулся за 1930–1995 гг. на 8 км, причем интенсивность его выдвигания возрастала во времени. Выдвигание же рук. Дай, наоборот, постепенно замедлялось. В устье рук. Нинько МКД постепенно удлинялся в южном направлении за счет продуктов размыва прилегающего с севера участка МКД.

Наиболее изученными можно считать процессы выдвигания в море микродельты в устье рук. Балат – основного рукава в современном устье р. Хонгха [2, 15]. На рис. 4 показано современное морфологическое строение упомянутой микродельты. Схема показывает, что с 1830 по 2000 г. (за 170 лет) устье рук. Балат выдвинулось в зал. Бакбо на 18 км (средняя интенсивность выдвигания составила ~106 м/год). За это время, судя по продольному геологическому профилю (рис. 5), сформировались 6 генераций береговых баров. Согласно [15], их возникновение датируется 1830, 1870, 1910, 1960, 1980 и 2000 гг.

Интересен геологический разрез через микродельту рук. Балат (рис. 5). Он характерен для многих активных устьевых баров [3] и иллюстрирует вертикальную инверсию отложений: песчаные толщи подстилаются илами. Мощность сложенных песком береговых баров составляет не более 10 м, ниже расположены слои илов, отложившихся в позднем и среднем голоцене (их мощность – до 40 м). Как указано в [15], современные отложения мористее устья рук. Балат представлены песками вблизи берега (на расстоянии от него до 5 км и глубинах <20 м), илами до глубин ~30 м. Далее в сторону моря распространены пески плейстоценового возраста.

Таблица 4. Величины выдвигания в море устьев рукавов Балат, Нинько и Дай в 1930–1995 гг. по [14]

Период (число лет)	Балат		Нинько		Дай	
	км	м/год	км	м/год	км	м/год
1930–1965 (35)	3.0	86	1.8	51	7.0	200
1965–1995 (30)	5.0	167	1.8	60	5.0	167
1930–1995 (65)	8.0	123	3.6	55	12.0	185

Изменения устья рук. Балат за вторую половину XX в., по данным топографических съемок и космических снимков, свидетельствуют о продолжавшемся выдвигании устьевого бара рукава в море (рис. 6). За 1952–1995 гг. (43 года) берег выдвинулся в море на 7.0 км (средняя интенсивность выдвигания ~160 м/год). За рассматриваемый период в устье рук. Балат сформировался новый устьевой бар, а на его мористой стороне – система береговых аккумулятивных форм (береговых баров и кос).

В [15] выдвинута гипотеза о цикличности развития микродельты в устье рук. Балат. Выделены четыре фазы. Первая (1900–1950 гг.) – формирование так называемой платформы дельтового фронта (дна устьевого взморья) в результате отложения взвешенных наносов, выносимых рукавом, в зоне шириной ~5 км от устьевого створа до глубин ~25 м. Вторая фаза (1950–1975 гг.) – образование на платформе дельтового фронта из влекомых наносов песчаных отмелей. Третья фаза (1975–1990 гг.) – переработка песчаных отложений волнением и образование системы береговых кос. Четвертая фаза (1990–2000 гг.) – заполнение наносами пространства между старой береговой линией и барьерными косами, образование в этой зоне мангровых болот. По [15], после 2000 г. вновь началась первая фаза – отложение взвешенных наносов мористее барьерных кос.

Предложенная в [15] модель формирования микродельты имеет существенные недостатки. Во-первых, в действительности процессы отложения взвешенных и влекомых наносов происходят одновременно, и разрывать отложение наносов на фазы не следует. Во-вторых, не учитываются многолетние изменения стока воды и наносов рукава. Как показывает опыт изучения устьевых баров речно-морского типа (устьевых баров, формирующихся при совместном воздействии стока воды и наносов рукава и морского волнения, а именно к такому типу относится бар в устье

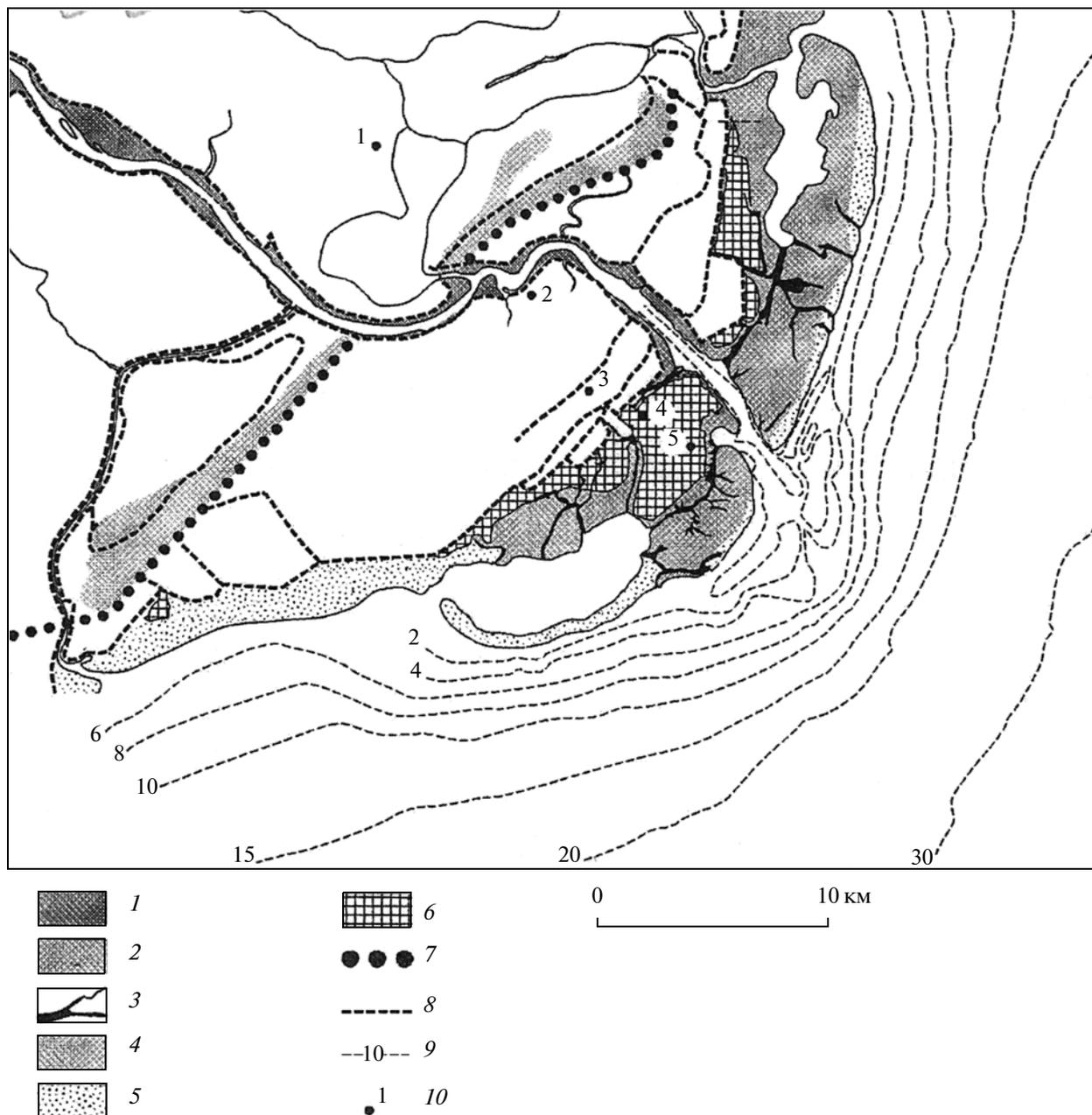


Рис. 4. Карта-схема морфологического строения современной микродельты рук. Балат по [15]. 1 – прирусловая пойма; 2 – приливные осушки, окаймленные мангровыми зарослями; 3 – приливные русла; 4 – старые береговые бары и пляжи; 5 – современные береговые бары, косы и пляжи; 6 – рыбообразные водоемы; 7 – береговая линия в 1830 г.; 8 – защитные дамбы; 9 – изобаты на устьевом взморье, м; 10 – места буровых скважин (1–5).

рук. Балат), цикличность в развитии устьевых баров и микродельт действительно существует [3]. Связана она, прежде всего, с воздействием на устье дельтового рукава значительных половодий. Во время такого половодья в устье рукава отлагается большое количество влекомых наносов, и из них формируется обширный устьевой бар. В последующие годы он перерабатывается волне-

нием, и через несколько лет из продуктов волнового размыва образуются сначала поперечные береговые бары, а затем барьерные острова и косы. Эти аккумулятивные образования формируются поперек речного потока и постепенно смещаются в сторону преобладающего направления волнения и вдольберегового потока наносов. Часто эти косы ориентированы в обе стороны от

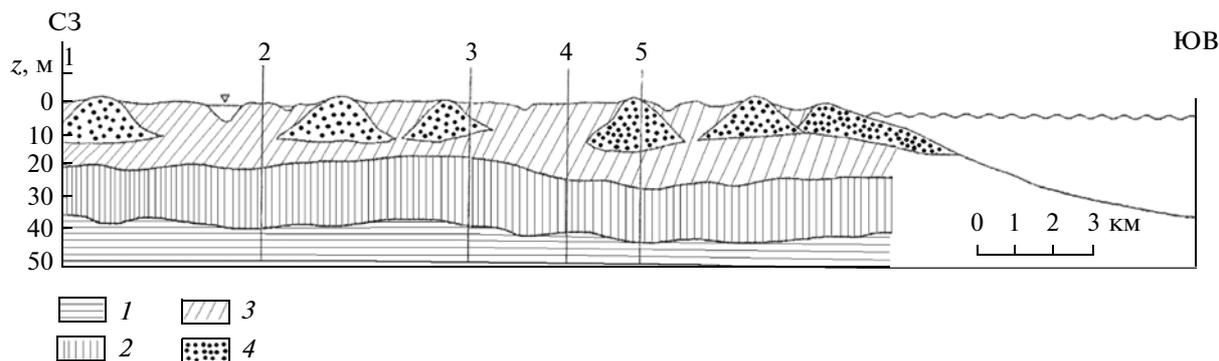


Рис. 5. Геологический разрез вдоль нижней части рук. Балат [15]. Илы и глины: 1 – раннего голоцена (12–8 тыс. л.н.), 2 – среднего голоцена (8–5 тыс. л.н.), 3 – позднего голоцена (5–0 тыс. л.н.); 4 – пески позднего голоцена (5–0 тыс. л.н.); 1–5 – места буровых скважин (см. рис. 4).

устья рукава. Именно такие противоположно ориентированные косы образовались из продуктов волнового размыва устьевого бара в устье рук. Балат в конце XX в. (рис. 6). Как убедительно показано в [16], косу к северу сформировало волнение во время летнего юго-западного муссона, а косу к югу и юго-западу от устья – волнение при более сильных ветрах во время зимнего северо-восточного муссона. В следующее крупное половодье система береговых баров или барьерных островов и кос прорывается речным потоком, и процесс нового барообразования перемещается в сторону моря. Образовавшаяся ранее коса ближним к устью рукава концом причленяется к берегу, образовавшаяся лагуна постепенно заполняется взвешенными наносами и зарастает. На новом устьевом баре со временем образуется новая генерация береговых баров и кос. По такой схеме шло, например, формирование устьевых баров в неприливных и микроприливных дельтах Дуная, Террека, Сулака, Куры, Эбро и др. [3]. Так, по-видимому, развивалась и микродельта в устье рук. Балат, о чем свидетельствует серия параллельных морскому берегу старых, сложенных песком береговых баров (рис. 5). Отсутствие данных о многолетних изменениях стока рук. Балат не позволяет проверить высказанные предположения.

Сильное воздействие на устьевые бары оказывают тайфуны. В это время, во-первых, на барах отлагается большое количество вынесенных из рукавов наносов, а во-вторых, бары подвергаются сильному воздействию волнения. В результате устьевые бары во время тайфунов сильно изменяют свое строение. Например, во время тайфуна в августе 1969 г. бар рук. Балат был прорван, сформировалось новое русло, а старое в последующий период отмерло [2].

Современные процессы размыва и отступления МКД

Фиксация процессов отступления МКД в результате его волнового размыва более сложна (здесь космические снимки не всегда могут помочь). Поэтому в количественной оценке величин размыва берега много неточностей и противоречий.

Для количественной оценки интенсивности размыва берегов дельты в [14] предложена следующая типизация степени отступления МКД: слабая (0–0.5), умеренная (2.5–5), сильная (5–10) и очень сильная (>10 м/год). Сходная типизация МКД была ранее предложена в [3]. В [14] выделено несколько основных участков размыва МКД, в том числе севернее и южнее устья рук. Балат.

На северном участке МКД за 1930–1965 и 1965–1990 гг. зафиксировано преобладание сильной эрозии берега, при этом интенсивность размыва суши в среднем за два упомянутых периода составила соответственно 17.2 и 9.9 га/год (0.172 и 0.099 км²/год). Наибольшие величины отступления МКД здесь за 1965–1995 гг. (30 лет) составили от 160 до 340 м [14].

В наибольшей степени подвергся волновому размыву южный участок МКД, находящийся южнее устья рук. Балат. Это отмечено во всех упомянутых выше публикациях, посвященных динамике МКД р. Хонгха. На этом участке особо выделяется район Хайху – между устьями отмершего протока Халан и рук. Нинько длиной ~34 км. Оценки интенсивности размыва МКД здесь в разных публикациях, однако, противоречивы. В [14] зафиксировано преобладание на этом участке сильной и очень сильной эрозии. По данным этой публикации, за 1930–1965 и 1965–1990 гг. интенсивность размыва суши составила соответственно 15.1 и 38.0 га/год (0.151 и 0.38 км²/год). Наибольшие величины отступления МКД за

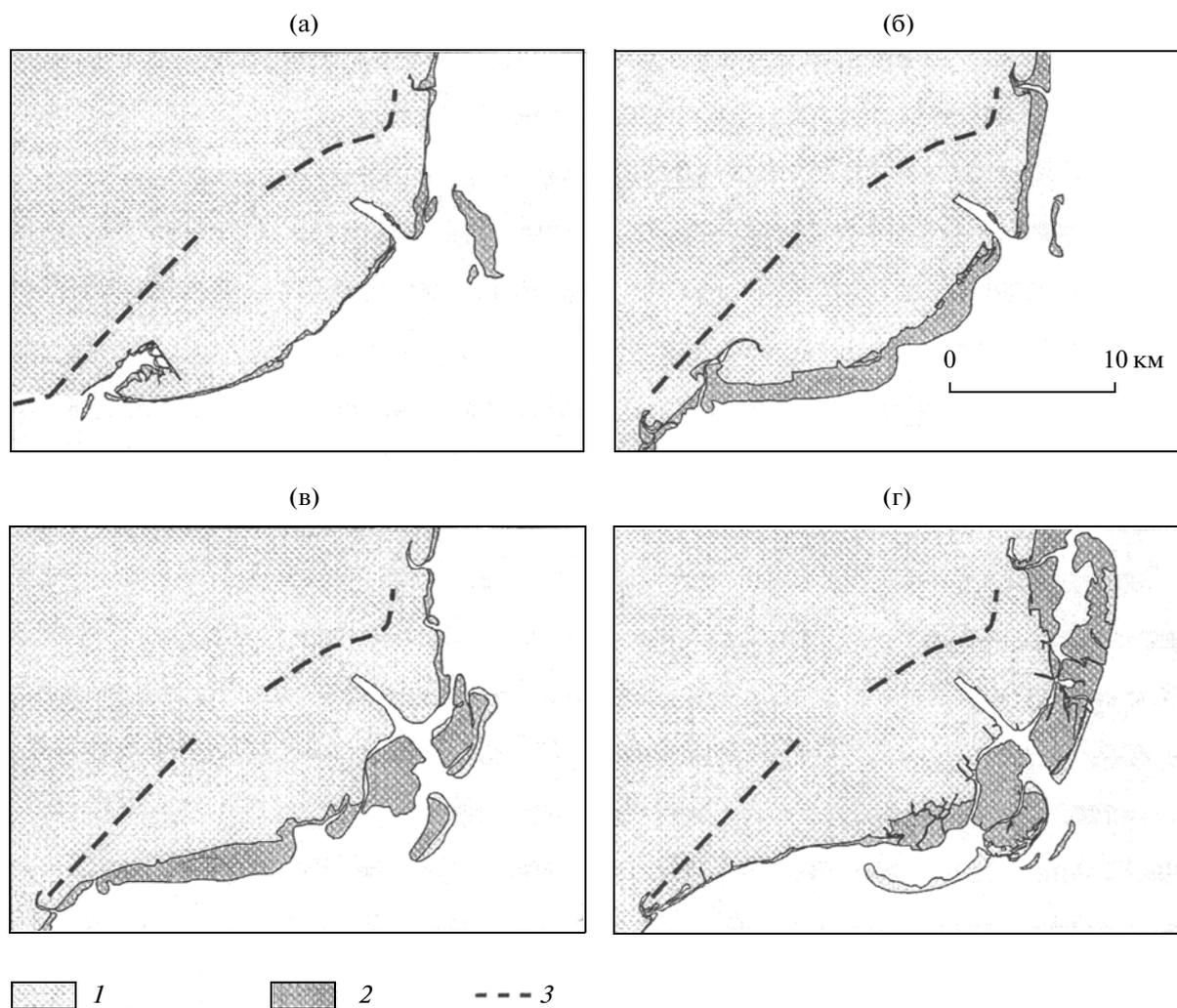


Рис. 6. Карта-схема изменения устья рук. Балат во второй половине XX в. по [15]: 1952 г. (а), 1965 г. (б), 1985 г. (в) и 1995 г. (г). 1 – приливные осушки; 2 – береговые бары, косы и пляжи; 3 – береговая линия в начале XX в.

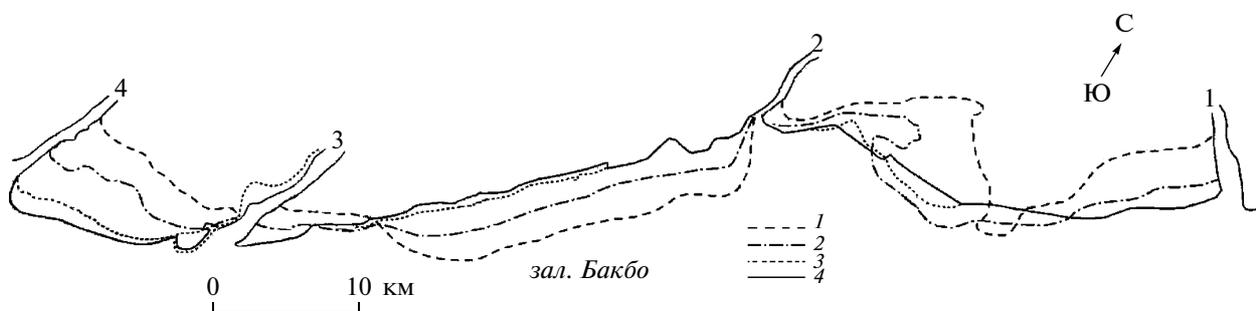


Рис. 7. Схема изменения МКД на участке между устьями рукавов Балат и Дай (район Хайхау) по [11]. Русла водотоков: 1 – Балат, 2 – Халан, 3 – Нинько, 4 – Дай. Положение береговой линии: 1 – 1905 г., 2 – 1927 г., 3 – 1966 г., 4 – 1992 г.

1965–1995 гг. составили здесь от 130 до 500 м (преобладающие – 200–370 м, т.е. 7–12 м/год) [14]. О сильном размыве МКД на рассматриваемом участке сказано и в [7]. Так, в 1890–1971 гг. защитные “морские” дамбы приходилось неоднократно переносить в сторону суши на общее расстояние до 850 м. В 1972–2000 гг. МКД отступил на ~400 м. В качестве причин усиления размыва МКД в последние 100 лет упомянуто уменьшившееся поступление песчаных наносов на рассматриваемый участок МКД вследствие сосредоточенного выноса наносов в море по рук. Балат и перекрытия в 1955 г. плотинной протока Халан, выходявшего ранее на МКД к югу от устья рук. Балат. В конце 1990-х гг. проток Халан был снова прокопан в сторону моря, но это уже не изменило ситуацию на МКД. Причиной усиления размыва МКД могла также стать активизация тайфунов в последние десятилетия [7].

В [11] приведены несколько иные сведения (рис. 7). На рассматриваемом участке МКД с 1905 по 1992 г. (за 87 лет) морем была размыта полоса берега длиной 15–20 км и шириной ~2.5 км, при этом средняя интенсивность отступления берега определена в 25 м/год. Данные рис. 7 позволяют оценить максимальные величины отступления МКД. За 1905–1927 гг. берег отступил на расстояние до 2.0 км (интенсивность размыва – 91 м/год), за 1927–1966 гг. – на 1.7 км (44 м/год), за 1966–1992 гг. – на 0.3 км (11 м/год), а за весь период 1905–1992 гг. (87 лет) – на ~4 км (46 м/год).

По данным [7, 11, 14] получены разные оценки не только интенсивности отступления наиболее размываемого участка МКД р. Хонгха, но и тенденции развития процесса в прошлом и будущем. В [14] отмечено усиление интенсивности размыва МКД в последние десятилетия, что объяснено увеличением частоты сильных штормов, повышением среднего уровня моря, влиянием просадки грунта, уменьшением стока наносов реки после сооружения водохранилища Хоабинь, а также плохим состоянием земляных защитных дамб и вырубкой мангровых зарослей, защищающих берег от размыва. В будущем, согласно [14], прогнозируется дальнейшее усиление размыва МКД. В [11], наоборот, отмечено ослабление процессов отступления МКД. Отмечено, что в начале XX в. интенсивность размыва была больше, чем в конце века. Замедление темпов эрозии МКД в [11] объясняется тем, что, во-первых, в процессе размыва берега поперечный профиль дна в прибрежной зоне приобрел состояние, близкое к равновесному, и, во-вторых, отступление МКД сдержали более современные защитные дамбы. Как указано в [11], за 1905–1992 гг. средняя величина отступления берега составила 20–30 м/год, а в последние два десятилетия XX в. – всего 5 м/год. В

будущем прогнозируется ослабление процессов размыва МКД.

Интересные и важные данные, касающиеся размыва южного участка МКД, приведены в [16]. Путем сравнения космических снимков с 1975 по 2001 г. установлено, что берег за это время отступил на 150 м. Исследованиями установлено два интересных факта: во-первых, смещение зоны размыва к северу, в сторону устья рук. Балат со скоростью ~2 км/год; во-вторых, отрицательная роль мангровых зарослей, восстановленных на болотах непосредственно к югу от устья рук. Балат.

Обычно полагают, что мангровые заросли вдоль МКД служат хорошей защитой от волнового размыва. Такие заключения получены, например, в результате исследований усилившегося в последние десятилетия размыва МКД в устьях рек Ганг и Брахмапутра, Голавари, Иравати, Чаупхрая, Инд и др. В данном случае получен парадоксальный результат: мангровые заросли стали перехватывать вдольбереговой поток песчаных наносов с севера, наносы перестали поступать на расположенный южнее эрозионный участок МКД и частично защищать его от размыва.

Противоречия, содержащиеся в [7, 11, 14, 16] относительно интенсивности и тенденции отступления МКД, возможно, объясняются недостаточной точностью карт, использованных при анализе. Очевидно, что очень актуальные для науки и практики исследования динамики МКД р. Хонгха должны быть продолжены.

Несмотря на противоречивые оценки интенсивности размыва МКД в разных публикациях, сильный современный размыв берега в районе Хайхау – факт доказанный. Этот размыв объясняется удаленностью указанного участка МКД от устьев рукавов, выносящих большое количество наносов в море, открытостью взморья в этом месте МКД и отсутствием на взморье островов, а в прибрежной полосе – приливных осушек или устьевых баров, которые служили бы некоторой защитой берега от морского волнения.

Размыв МКД в районе Хайхау создал ряд проблем, в частности – потребовалось принять дополнительные меры по защите земель и населенных пунктов. Необходимо отметить, что в этом районе плотность населения – одна из наибольших во Вьетнаме – 1300 чел/км² (225 чел/км² – для всей страны) [11]. В районе Хайхау проживает ~340 тыс. чел.; большая часть населения занимается выращиванием риса, добычей соли или рыбной ловлей, марикультурой. “Морские” дамбы, которые здесь строят для защиты берега от волнового размыва, оказываются недолговечными: в два последних десятилетия XX в. продолжительность существования защитных дамб не превы-

шала 10 лет [11]. В [7, 16] отмечено, что в последнее время морским волнением были размыты не только “морские” дамбы первого ряда (расположенные ближе к морю), но и дублирующие дамбы второго ряда.

Содержащиеся в [7, 14] выводы относительно современных тенденций в динамике МКД р. Хонгха и возможного усиления его размыва в будущем, представляются более обоснованными, чем оценки, сделанные в [11]. Во-первых, необходимо учитывать происходящие и ожидаемые изменения основных факторов дельтообразования: антропогенное сокращение стока наносов, продолжающееся повышение у.м., увеличение повторяемости и силы ураганов и штормовых нагонов, активизация морского волнения. Эти тенденции касаются не только устья р. Хонгха [1, 2, 7, 14], но и других прибрежных районов мира [6]. Во-вторых, дельта р. Хонгха вышла на довольно большие морские глубины, что, безусловно, повлияло как на замедление ее выдвигания в море, так и на усиление морского воздействия. В-третьих, в последние десятилетия явно возрос ущерб, наносимый морским воздействием населению, хозяйству и экосистемам дельты (об этом отмечено во многих исследованиях). В-четвертых, опыт изучения многих устьев рек, полученный при участии авторов настоящей статьи, свидетельствует о реальной активизации морского воздействия на дельты многих рек мира и усилении их размыва и деградации. Многие дельты изменили свой тип, трансформировавшись из объектов, сформировавшихся при преобладании речных факторов, в объекты с преобладанием воздействия морских факторов. Дельта р. Хонгха также постепенно изменяет свой тип. Хотя в этой дельте до последнего времени процессы выдвигания в море преобладали над процессами размыва МКД, соотношение воздействия речных и морских факторов в настоящее время изменяется в пользу вторых. Большая часть МКД р. Хонгха уже не выдвигается в море, а отступает. Продолжают выдвигаться в море лишь устья некоторых рукавов (Балат, Дай). В будущем можно ожидать дальнейшего усиления процессов размыва и отступления дельты и ее деградации.

ВЫВОДЫ

Формирование современной (голоценовой) дельты р. Хонгха (Красной) началось 7–5 тыс. л.н. после прекращения значительной морской постледниковой трансгрессии. Вследствие большого стока наносов реки (не менее 120 млн т/год), мелководности и относительной закрытости залива-эстуария, возникшего в результате трансгрессии, дельта очень быстро выдвигалась преимущественно в юго-восточном направлении в зал. Бакбо. В последние 500 лет более или менее

равномерное выдвигание дельты в море из-за расширения фронта этого выдвигания и выхода на большие глубины сменилось сосредоточенным удлинением нескольких дельтовых лопастей в устьях наиболее крупных дельтовых рукавов. Самыми последними в последовательности выдвигания в море были рукава Дай, а затем Балат.

В связи с усилением не только относительного, но и абсолютного (в связи с активизацией тайфунов) воздействия волнения в последние 100 лет усилились процессы размыва морского края дельты. В настоящее время еще один фактор начал воздействовать на размыв и отступление морского края дельты, — почти двукратное уменьшение стока наносов реки в конце XX в. после сооружения водохранилища на притоке Да.

В будущем следует ожидать дальнейшего усиления процессов размыва и деградации береговой зоны дельты. Этому будет способствовать и прогрессирующее повышение у.м., связанное с глобальным потеплением климата. В настоящее время дельта р. Хонгха изменяет свой тип: из дельты, формирующейся в результате преобладающего влияния речных факторов (прежде всего стока наносов реки), она переходит в дельту, в морфодинамике которой преобладает воздействие морских факторов (прежде всего ветрового волнения).

Помимо анализа эволюции дельты в прошлом и ее современного состояния, а также прогноза изменений в будущем, в статье рассмотрены процессы стадийного развития микродельты и бара в устье главного рук. Балат. Выявлены периодические изменения морфологического строения устья этого рукава, обусловленные колебаниями речного стока и воздействием волнения, особенно во время тайфунов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исупова М.В., Михайлов В.Н. Гидрологические процессы в устьевой области р. Хонгха (Красная) // Вод. ресурсы. 2011. Т. 38. № 5. С. 524–537.
2. Кы Н. В. Устьевые области рек Вьетнама. Одесса: Астропринт, 2004. 360 с.
3. Михайлов В.Н. Гидрология устьев рек. М.: Изд-во МГУ, 1998. 175 с.
4. Михайлов В.Н., Аракельянц Д.А. Особенности гидрологических и морфологических процессов в устьевой области р. Меконг // Вод. ресурсы. 2010. Т. 37. № 3. С. 259–273.
5. Михайлов В.Н., Магрицкий Д.В., Михайлова М.В. Баланс воды и наносов в устьях рек // Маккавеевские чтения — 2005. М.: Изд-во МГУ, 2006. С. 47–64.
6. Climate Change 2007. Synthesis Report. Summary for Policymakers // <http://www.ipcc.ch>
7. Mai C.V., Stive M.J.F., Selder P.H.A.J.M. Coastal protection strategies for the Red River delta // J. Coastal Research. 2009. V. 25. № 1. P. 105–116.

8. *Mathers S., Zalasiewicz J.* Holocene sedimentary architecture of the Red River // *J. Coastal Research*. 1999. V. 15. № 2. P. 314–325.
9. *Meade R.H.* River-sediment inputs to major deltas // *Sea-level rise and coastal subsidence*. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Academic Publishers, 1966. P. 63–85.
10. *Milliman J.D., Rutkowski Ch., Meybeck M.* River discharge to the sea. *Global River Index (GLORI)*. LOICZ Reports and Studies. 1995. 125 p.
11. *Pruszek Z., Nink P.V., Szymtkiewicz M. et al.* Coastal processes in the Red River delta area, Vietnam // *Coastal Engin.* 2002. V. 44. № 2. P. 97–126.
12. *Pruszek Z., Nink P.V., Szymtkiewicz M. et al.* Hydrology and morphology of two river mouth regions (temperate Vistula delta and subtropical Red River delta) // *Oceanologia*. 2005. V. 47. № 3. P. 365–385.
13. *Tanable S., Hori K., Saito Y. et al.* Song Hong (Red River) delta evolution related to millennium-scale Holocene sea-level changes // *Quaternary Science Reviews*. 2003. V. 22. P. 2345–2361.
14. *Thanh T.D., Saito Y., Huy D.V. et al.* Coastal erosion in Red River Delta: current status and response // www.megadelta.ecnu.edu.cn
15. *Van Maren D.S.* Morphodynamics of a cyclic prograding delta: the Red River, Vietnam // *Proefschrift Universiteit Utrecht*, 2005//<http://igitur-archive.library.uu.nl/dissertations/2005>
16. *Vinh B.T., Deguchi I., Araki S. et al.* The mechanism of beach erosion in southern part of Red River delta, Viet Nam // *Proc. Seventeenth Intern. Offshore and Polar. Eng. Conf. Lisbon*, July 1–6, 2007. Lisbon: ISOPE, 2007. P. 2461–2466.