
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ БЕРЕГОВ МОРСКОГО КРАЯ ДЕЛЬТЫ Р. ХОНГХА ОТ ВОЛНОВОЙ ЭРОЗИИ*

М.В. Крыленко¹, А.М. Алейникова², Р.Д. Косьян¹,
Н.Т. Виет Лиен³, Н.М. Ханг³

¹ Южное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН
ул. Просторная 1г, Геленджик, Россия, 353467

² Экологический факультет

Российский университет дружбы народов
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 113093

³ Департамент Морской механики и природопользования
Института механики ВАНТ
264 Doi Can, Ba dinh, Ханой, Вьетнам

В настоящее время глобальной особенностью береговой зоны Мирового океана является повсеместная активизация эрозионных процессов. Наиболее быстрые и масштабные изменения характерны для аккумулятивных берегов. В представленной работе проанализирована динамика берега морского края дельты р. Хонгха (Вьетнам) на протяжении последних 100 лет. Дана информация о современном состоянии некоторых участков берега и применяющихся способах защиты от наводнений и размывов.

Ключевые слова: динамика уреза, берегозащитные сооружения, поток наносов, активизация эрозионных процессов, аккумулятивные берега

Введение

Длина береговой линии Вьетнама составляет более 3800 км, включая острова и дельты рек. Морские берега Вьетнама, особенно дельты крупнейших рек Хонгха и Меконг, играют важную роль в экономике страны. 28 из 64 провинций Вьетнама и городов центрального подчинения имеют выход на береговую линию. Некоторые прибрежные районы имеют очень высокую плотность населения — 1300 чел/км² по сравнению с 225 чел/км² в среднем для всей страны [6; 11]. Главные отрасли экономики Вьетнама — сельское и рыбное хозяйство — используют природные ресурсы дельт крупных рек. Сельское хозяйство, обеспечивающее продовольственную безопасность страны, — основа экономики Вьетнама. Основные обрабатываемые земельные площади заняты под рисовые плантации. Помимо выращивания риса и других сельскохозяйственных культур, сельское население занимается рыболовством, разведением креветок в специальных водоемах, выращиванием аквакультуры, добычей соли на особых площадках. Эта хозяйственная деятельность непосредственно связана с гидрологическим режимом дельт и динамикой морского берега [1].

* Работа выполнена при поддержке РФФИ 16-05-00875 и VN Russian joint project «Research of beach dynamics and forecast of beach evolution in Vietnam and Russia Federation» 14-05-93000, VAST.HTQT.NGA.03/14-15.

Проблема эрозии берегов для Республики Вьетнам является чрезвычайно актуальной. Эрозионные процессы характерны почти для всех участков вьетнамского побережья, но особенно для морских берегов дельт рек Хонгха и Меконг. Кроме того, большая часть берегов Вьетнама песчаная и имеет высотные отметки не более 1 м над уровнем моря. Воздействие штормов и тайфунов вызывает значительные нагоны и разрушения сельскохозяйственных угодий и инфраструктуры [4]. Требуется постоянная защита от затопления населенных пунктов и сельскохозяйственных территорий. Для достоверного прогноза и эффективной защиты населения, хозяйства и береговых экосистем от негативных гидрометеорологических воздействий необходимо постоянное отслеживание тенденций эрозионных процессов на берегах Вьетнама, особенно в районах морского края дельт.

Физико-географическая характеристика дельты р. Хонгха

Река Хонгха (другие названия — Красная, Hong Ha, Red River) — вторая по величине река Вьетнама, протекает в северной части Вьетнама и впадает в залив Бакбо (Тонкинский) Южно-Китайского моря. Река формирует обширную дельту, известную в научной литературе как Red River Delta, расположенную в пределах провинций Тхайбинь и Намдинь и играет важную роль в социально-экономическом развитии страны [2; 6]. По форме дельта Красной реки имеет типичную треугольную форму и начинается в 150 км выше по течению от устья. Площадь дельты р. Хонгха составляет 14,6 тыс. кв. км, длина морского края дельты 200 км [6]. Рельеф дельты р. Хонгха низменный и плоский, средний уклон поверхности дельты ~ 6 см/км. Более 50% поверхности дельты имеет отметки менее 2 м над уровнем моря [12].

Река Хонгха приносит в устьевую область большое количество наносов. Это объясняется слабой противозэрозионной устойчивостью грунтов на поверхности бассейна реки, массовой вырубкой лесов для высвобождения земель под сельское хозяйство, большой неравномерностью стока воды и высокими скоростями течения. Величина среднего стока взвешенных наносов реки составляла до 1994 г. 100—160 млн т/год. После строительства водохранилища Хоабинь твердый сток реки сократился почти вдвое [14]. Вдольбереговое перемещение наносов (как продуктов волнового размыва морского края дельты, так и наносов, поступающих извне устьевой области) определяется воздействием волнения и вдольбереговых течений. Результирующий среднегодовой вдольбереговой поток наносов направлен с СВ на ЮЗ [6].

Наиболее сильное волнение развивается в прибрежной зоне вблизи морского края дельты р. Хонгха во время северо-восточного зимнего муссона с октября по март. Средняя высота волн равна 1,5—2 м, максимальная — до 3 м. Во второй половине лета и осенью нередки тайфуны. На берега дельты р. Хонгха в среднем в год обрушивается 4,7 тайфунов [9]. В последние десятилетия частота и сила тайфунов возрастает. Во время тайфунов возникают штормовые нагоны высотой 2,5—3 м. При совпадении штормового нагона с сизигийным приливом подъем уровня может достичь 5—6 м.

Особенности динамика морских берегов дельты р. Хонгха

Берега Вьетнама по совокупности характеристик факторов формирования и эволюции подразделяются на три больших участка: морской край дельты р. Меконг, гористое побережье средней части и морские берега дельты р. Хонгха. Последний участок, в свою очередь, подразделяется на две системы: Мон Сай (Mong Cai) — До Сон (Do Son) — стабильные берега с минимальными эрозионно-аккумулятивными изменениями и До Сон (Do Son) — Нга Сон (Nga Son) — собственно дельта р. Хонгха. Более чем 200 км морского берега дельты р. Хонгха разделены на участки девятью рукавами (рис. 1). Выраженная аккумуляция на морском крае дельты, около 80—100 м/год, отмечена около устьев рек, однако есть локальные сектора с выраженной эрозией, например, Кат Хай (Cat Hai), Giao Thuy и Хай Хау (Hai Hau), где размыв достигает 40—50 м/год [6].

Приустьевые области рукавов р. Хонгха постепенно выдвигаются в сторону моря. Средняя интенсивность выдвигения дельты в море за последние 50 лет XX в. составила 25 м/год, прирост площади дельты оказался равным 361 га/год.

Однако на побережье дельты р. Хонгха выделяют ряд участков интенсивного размыва, в том числе севернее и южнее устья рук. Балат. На северном участке за периоды 1930—1965, 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. Наибольшие величины отступления берега за 1965—1995 гг. (30 лет) составили от 160 до 340 м [5].

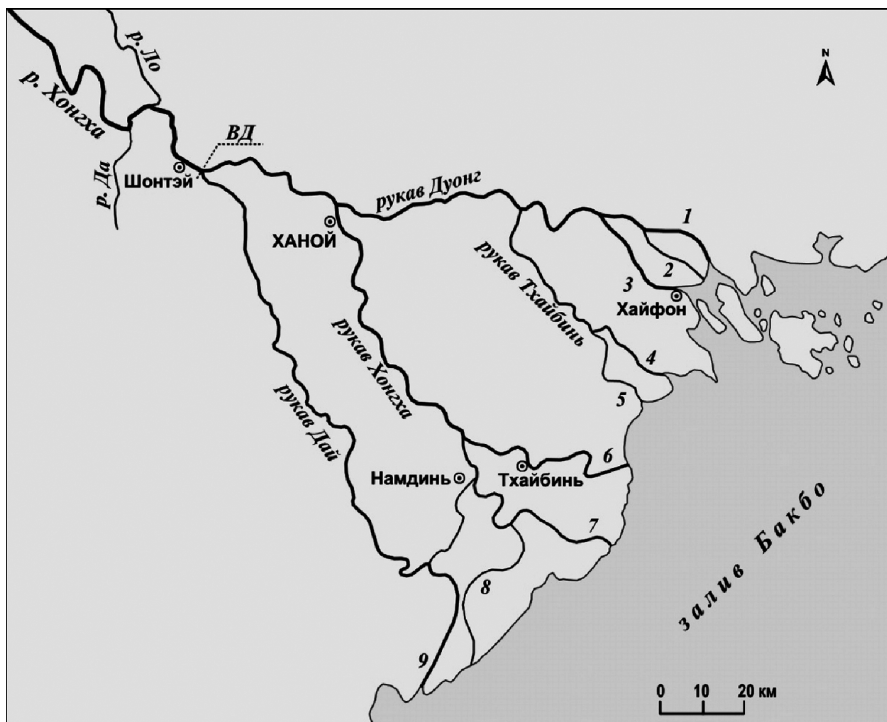


Рис. 1. Схема устьевой области р. Хонгха: устья рукавов дельты: 1 — Латьхуен, 2 — Намчьеу, 3 — Киньтхай, 4 — Ванук, 5 — Тхайбинь, 6 — Чали, 7 — Балат, 8 — Нинько, 9 — Дай; Вд — вершина дельты

В наибольшей степени подвергается волновому размыву участок Хай Хау длиной 34 км, находящийся южнее устья рук. Балат. Пляж Хай Хау подвержен эрозии по крайней мере с начала последнего столетия. Берег пляжа Хай Хау отступает со скоростью 10—15 м/год в течение полувека. За 1972—2000 гг. береговая линия отступила на ~400 м [10; 11].

На рисунке 2 показано положение наиболее размываемых участков пляжа Хай Хау. Видно, что происходит постепенное смещение зоны наиболее интенсивного размыва в южном направлении по мере развития аккумулятивных форм в устье Балат, экранирующих часть северо-восточного волнового воздействия.

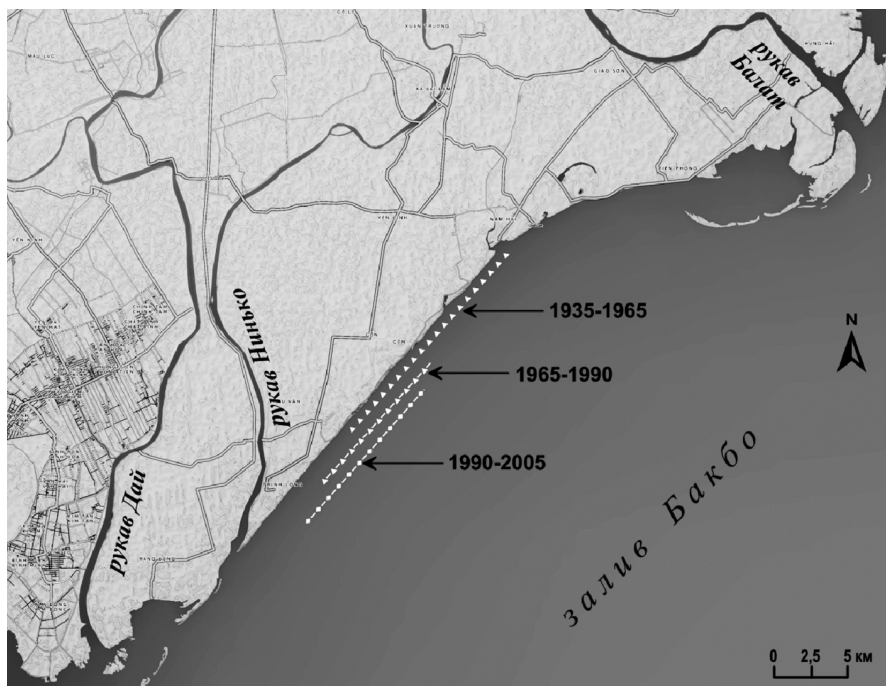


Рис. 2. Смещение зоны наиболее интенсивного размыва пляжа Хай Хау

Высокие эрозионные скорости пляжа Хай Хау не являются уникальными для рассматриваемого побережья, сильная эрозия отмечается, например, в Хай Ли и Хай Триу районах. Причинами усиления размыва берега являются: активизация тайфунов в последние десятилетия, уменьшившееся поступление песчаных наносов, перераспределение твердого стока, антропогенная деятельность [9].

Берегозащитные конструкции морского берега дельты

Штормы и тайфуны, которым подвержена береговая зона Вьетнама, вызывают значительные подтопления и разрушения сельскохозяйственных угодий и инфраструктуры. За 1976—2005 гг. в береговой зоне дельты во время тайфунов погибло более 1000 человек, было разрушено 7 тыс. домов. Пострадали 40 тыс. га сельскохозяйственных угодий [9]. В имеющихся условиях строительство берегозащитных сооружений связано с решением важнейшей народно-хозяйственной задачи — обеспечением нормального функционирования различных промыш-

ленных и гражданских объектов, которые расположены на берегах водных объектов, берега которых разрушаются под воздействием волн и течений. Наиболее типичными берегозащитными сооружениями для Вьетнама являются откосные сооружения с различными способами крепления откосов [3]. Преобладание откосных сооружений определяется геологическим строением берегов с большим распространением песчаных пляжей и практически отсутствием выходом на поверхность скальных грунтов. В существующих условиях откосные сооружения наиболее экономичны, ремонтно-пригодны, просты при строительстве и долговечны в эксплуатации [4].

В естественном состоянии большая часть дельты р. Хонгха заливалась бы водой во время половодья, значительные затопления вызывали бы штормовые нагоны. В последние 500 лет дельту р. Хонгха защищает система продольных речных дамб, расположенных вдоль рукавов р. Хонгха. Общая длина дамб вдоль речных русел в дельте составляет около 3000 км. Приморские районы дельты защищены от затопления во время штормовых нагонов рядами вдольбереговых дамб, суммарная длина которых равна ~1500 км [6]. Как правило, используется система из двух параллельных дамб, в случае разрушения фронтальной (ближней к морю) дамбы, новая строится за дублирующей дамбой со стороны суши [8].

В настоящее время в береговой зоне пяти северных провинций дельты Красной реки построено около 360 км берегозащитных сооружений откосного типа (рис. 3). Две системы морских дамб защищают берег на участке Хай Хау.

Однако дамбы, используемые для защиты берега от волнового размыва, относительно недолговечны [4]. Задернованные откосы дамб дополнительно защищаются каменно-набросными бермами (рис. 3). В период 1890—1971 гг. защитные дамбы пришлось неоднократно переносить в сторону суши на общее расстояние до 850 м. В 1972—2000 гг. береговая линия отступила на ~400 м [6; 8]. В два последних десятилетия XX в. продолжительность успешной работы защитных дамб не превышала 10 лет. С 1973 по 2003 год участки дамбы 6 раз разрушались, три раза полностью реконструировались. С защитных дамб за 30-ти летний период оказалось смыто 1,9 млн м³ грунта и 1 млн м³ каменной наброски [9].



Рис. 3. Типичная волногасящая откосная стенка с морской стороны дамбы (2014 г.)

Часто морским волнением разрушаются не только дамбы первого ряда (расположенные ближе к морю), но и дублирующие дамбы второго ряда. Если нагон совпадал по времени с высоким уровнем воды в фазу прилива, то более 60% штормовых нагонов во время тайфунов превышали отметки гребня дамбы (4,5 м) пляжа Хай Хау и 100% превышали отметку гребня дамбы (3,3 м) пляжа Ли Хоа [8]. Роль приливной составляющей в поднятии уровня воды абсолютно преобладала.

В 2005 году на побережье дельты обрушилось восемь тайфунов, из которых самым сильным и разрушительным оказался тайфун DAMREY 27 сентября 2005 г. Скорость ветра во время этого тайфуна достигала 118—133 км/ч, высота волн в прибрежной зоне 3—4 м. Тайфун привел к разрушению защитных дамб на протяжении 25 км, затоплению 130 тыс. га полей, разрушению транспортной инфраструктуры, части оросительных систем, нарушению электроснабжения. Было разрушено ~1200 и повреждено 11600 домов [7; 9].

В приустьевых зонах дельты в берегозащитных целях практикуется создание мангровых зарослей. Однако, наличие мангровых зарослей к северу от размываемых участков морского края дельты усугубляет ситуацию, так как мангровые заросли, улавливая поток наносов с северо-востока к размываемым участкам в зимний сезон, способствуют более быстрому выдвиганию в море приустьевых областей, что приводит к усилению эрозии на межустьевых участках берега к югу от аккумулятивных участков [5] (рис. 4).

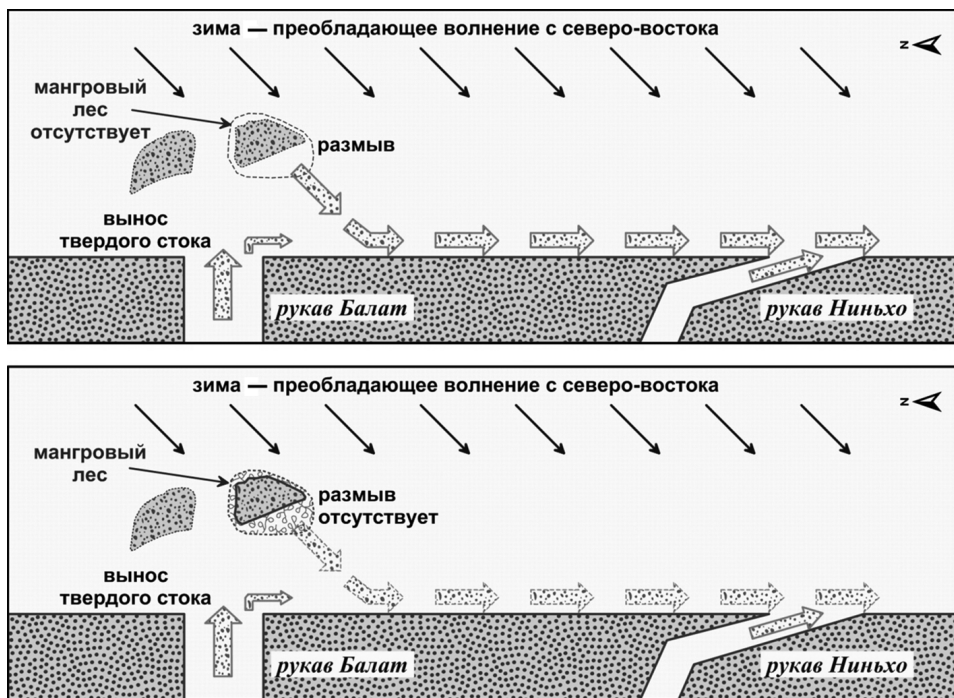


Рис. 4. Схема ослабления потока наносов мангровыми зарослями

Существующие в настоящее время берегозащитные сооружения не могут обеспечить надежную защиту населенных районов от затоплений. На отдельных участках для дополнительной защиты дамбы от волнового воздействия исполь-

зуются тетраподы или каменно-набросные бермы. Планируется переориентация на строительство комплексных берегозащитных сооружений (рис. 5), включающих в себя пляж шириной от 150 м, пляжеудерживающие конструкции и берегозащитные сооружения откосного типа с волногасящей облицовкой камнем и бетонными блоками [2; 3].

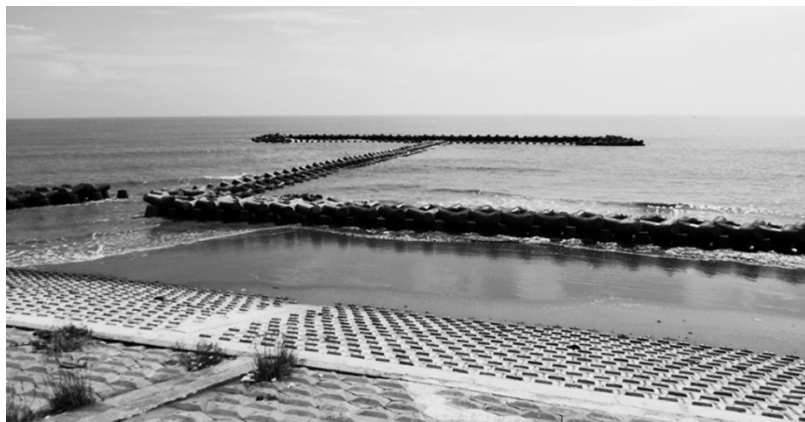


Рис. 5. Типичный комплекс берегозащитных и пляжеудерживающих конструкций (2014 г.)

Выводы

В целом, для берега морского края дельты Хонгха интенсивная эрозия встречается на участках между устьями. Основным фактором, определяющими современную динамику морского берега дельты р. Хонгха, является волновое воздействие в совокупности с приливными и нагонными колебаниями уровня. Кроме того, эрозионные процессы усилились из-за двукратного сокращения твердого стока. Опыт строительства берегозащитных сооружений в береговой зоне дельты р. Хонгха показывает, что в настоящее время использование сооружений откосного типа чрезвычайно востребованно и актуально. Профилактика и контроль прибрежной эрозии на территории дельты реки Хонгха — это трудная и долгосрочная задача, которую нужно реализовывать в рамках комплексного управления прибрежными районами в согласовании с управлением состояния всего бассейна реки. Для успешного решения необходимо развивать связи между менеджерами и экспертами, улучшать исследовательские методы и поддерживать постоянный мониторинг в регионе.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Крыленко В.В., Косьян Р.Д., Горячкин Ю.Н., Крыленко М.В., Нгуен М.Х., Медведовский В.В.* Региональные особенности управления прибрежными зонами // Материалы XXV Международной береговой конференции «Береговая зона — взгляд в будущее». М.: ГЕОС, 2014. Т. 2. С. 187—190.
- [2] *Михайлов В.Н., Исупова М.В.* Режим наносов и морфологические процессы в устьевой области р. Хонгха (Красная) // *Водные ресурсы*. 2012. Т. 39. № 5. С. 459—475.
- [3] *Мордвинцев К.П., Нгуен Тхи Зьем Чи.* Анализ методов расчета высоты наката волн на берегозащитные сооружения откосного типа // *Вестник МГСУ*. 2013. № 10. С. 234—241.

- [4] *Hуен Тхи Зьем Чи*. Опыт строительства берегозащитных сооружений в Республике Вьетнам // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 5. С. 267—270.
- [5] *Deguchi I., Araki S., Nakaue T., Vinh B.T.* Monitoring of the change in coastal environment in southern part of Red-River Delta from satellite images and the mechanism of beach erosion, 2007. URL: http://ir.library.osaka-u.ac.jp/dspace/bitstream/11094/13129/1/arfyjsps2006_157.pdf
- [6] *Hung N.M.* Coastline and river mouth evolution in Vietnam, m. ed., Hanoi-2012, PHST. 369 c.
- [7] *Hung N.M., Larson M., Dien D.C.* Modeling wave transformation, nearshore currents, and morphology change in the nearshore zone of the Red River Delta // Proc. of the First scientific workshop on “Coastline evolution”, Thing Long, 2006. P. 108—122.
- [8] *Larson M., Ninh P.V., Hung N.M., Sundstrom A., Sodervall E.* The impact of typhoons on the Vietnamese coastline: A case study of Hai Hau Beach and Ly Hoa Beach // Proc. of the First scientific workshop on “Coastline evolution”, Thing Long, 2006. P. 43—63.
- [9] *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.
- [10] *Ninh P.V., Hung N.M., Hong L.X., Tan T.D. and Nga N.T.K.* Overview of the coastline evolution in Vietnam with special emphasis on the Red River Delta Proc. of the First scientific workshop on “Coastline evolution”, Thing Long, 2006. P. 1—14.
- [11] *Pruszkak Z., Nink P.V., Szymtkiewicz M., Hung N.M., Ninh P.V.* Coastal processes in the Red River delta area, Vietnam // Coastal Engin. 2002. V. 44. № 2. P. 97—126.
- [12] *Son L.H.* Summary of background paper on the Red River delta // Report of the Workshop on the planning and management of modified megadeltas. The Hague, 2003. P. 51—55.
- [13] *Vinh V.D., Ouillon S., Thanh T.D. and Chu L.V.* Impact of the Hoa Binh dam (Vietnam) on water and sediment budgets in the Red River basin and delta, Hydrol. Earth syst. SCI., 18, 2014. 3987—4005.

MODERN PROTECTION METHODS OF THE DELTA R. HONG HA SEA COASTS FROM WAVE EROSION

M.V. Krylenko¹, A.M. Aleynikova², R.D. Kosyan¹, N.T. Viet Lien³, N.M. Hung³

¹ Southern branch of the Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences
Prostornaya Ig, Gelendzhik, Russia, 353467

² Ecological Department
Peoples' Friendship University of Russia
Podolskoe shosse, 8/5, Moscow, Russia, 113093

³ Department of Marine Mechanics and Environment, Institute of Mechanics VAST
264 Doi Can, Ba dinh, Hanoi, Vietnam

In present time the intensification of erosion processes is global feature of coastal zone and the most rapid and significant changes are characteristic for accumulative coasts. The features of the sea coast dynamics of the Hong Ha River delta (Vietnam) during last 100 years are analyzed in presented paper. The Hong Ha River delta coast modern dynamics is characterized by combination of accumulation processes near delta mouths and wave erosion between its. The main factors determining the modern dynamics of the delta sea coast are the wave activity with the surge-tidal fluctuations and solid runoff reduction. Current coastal construction cannot protect populated areas from flooding. Reorientation

to the integrated coast construction which includes the beaches is realized. Control of Hong Ha river delta coastal erosion is difficult and long-range objective in the framework of the integrated coastal management.

Key words: edge dynamics, coast protection construction, sediment flux, intensification of erosion processes, accumulative shore

REFERENCES

- [1] Krylenko V.V., Kos'jan R.D., Gorjachkin Ju.N., Krylenko M.V., Nguen M.H., Medvedovskij V.V. Regional'nye osobennosti upravleniya pribrezhnyimi zonami [Regional peculiarities of coastal zone management] *Materialy XXV Mezhdunarodnoj beregovoj konferencii «beregovaja zona — vzgljad v budushhee* [Proc. Of the XXV International coastal conference «Coastalzone — alookintofuture»]. Moscow: «GEOS», 2014. V. 2. P. 187—190.
- [2] Mihajlov V.N., Isupova M.V. Rezhim nanosov i morfologicheskie protsessy v ust'evoj oblasti r. Khongkha (Krasnaya) [Mode of sediment transport and morphological processes in the mouth of river Hong Ha] *Vodnye resursy* [Water resources]. 2012. V. 39, No 5. P. 459—475.
- [3] Mordvincev K.P., Nguen Thi Z'em Chi. Analiz metodov rascheta vysoty nakata voln na beregozashhitnye sooruzheniya otkosnogo tipa [Analysis of methods for calculating the run-up wave height on coastal face type constructions]. *Vestnik MGSU* [Bulletin MSUCE]. 2013. No 10. P. 234—241.
- [4] Nguen Thi Z'em Chi. Opyt stroitel'stva beregozashhitnyj sooruzhenij v Respublike V'etnam [Experience in the construction of coastal protection in the Vietnam Republic]. *Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja*. [Scientific and technical Bulletin of the Volga region], 2013. No 5. P. 267—270.
- [5] Deguchi I., Araki S., Nakaue T., Vinh B.T. Monitoring of the change in coastal environment in southern part of Red-River Delta from satellite images and the mechanism of beach erosion, 2007. http://ir.library.osaka-u.ac.jp/dspace/bitstream/11094/13129/1/arfjysps2006_157.pdf
- [6] Hung N. M., Coastline and river mouth evolution in Vietnam, m. ed., Hanoi-2012, PHST. 369 c.
- [7] Hung N.M., M. Larson, Dien D.C. Modeling wave transformation, nearshore currents, and morphology change in the nearshore zone of the Red River Delta. Proc. of the First scientific workshop on “Coastline evolution”, Thing Long, 2006, P. 108—122.
- [8] Larson M., Ninh P.V., Hung N.M., Sundstrom A., Sodervall E. The impact of typhoons on the Vietnamese coastline: A case study of Hai Hau Beach and Ly Hoa Beach. Proc. of the First scientific workshop on “Coastline evolution”, Thing Long, 2006 P. 43—63.
- [9] 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.
- [10] Ninh P.V., Hung N.M., Hong L.X., Tan T.D. and Nga N.T.K. Overview of the coastline evolution in Vietnam with special emphasis on the Red River Delta Proc. of the First scientific workshop on “Coastline evolution”, Thing Long, 2006. P. 1—14.
- [11] Pruszk Z., Nink P.V., Szmytkiewicz M., Hung N.M., Ninh P.V. Coastal processes in the Red River delta area, Vietnam. *Coastal Engin*. 2002. V. 44. № 2. P. 97—126.
- [12] Son L.H. Summary of background paper on the Red River delta / Report of the Workshop on the planning and management of modified megadeltas. The Hague, 2003. P. 51—55.
- [13] Vinh V.D., Ouillon S., Thanh T.D. and Chu L.V. Impact of the Hoa Binh dam (Vietnam) on water and sediment budgets in the Red River basin and delta, *Hydrol. Earth syst. SCI.*, 18, 2014. 3987—4005.