

УДК 504.54

АНАЛИЗ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ КАМБОДЖИ**Чеа С., Паршина Т.В., Сумачев А.Э., Дмитриев В.В.***Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,**e-mail: cheasokkoch@yandex.ru*

Камбоджа сталкивается с частым проявлением опасных гидрологических явлений – наводнениями и засухами. За последние 20 лет наводнения произошли в 2000, 2001, 2002, 2011 и 2013 годах, а экстремально засушливые годы наблюдались в 2010, 2015 и 2016 годах. Берега рек Меконг, Бассак, Тонлесап и бассейн озера Тонлесап испытывают более значительное воздействие по сравнению с другими районами страны. Целью исследования является выявление и оценка зон затопления территории Камбоджи. Задачи исследования: 1 – обобщение теоретико-методологических основ решения гидрологических проблем Камбоджи; 2 – выявление особенностей гидрологического режима территории Камбоджи, на основе статистического анализа гидрометеорологической информации; 3 – построение зон затопления территории Камбоджи на основе ГИС; 4 – анализ полученных результатов и планирование дальнейших исследований. В результате работы выполнен статистический анализ гидрологических и метеорологических данных, построены кривые обеспеченности уровней воды, получены карты зон затопления территории Камбоджи на основе ArcGIS 10.8 для уровней воды 1 и 50%-й обеспеченности. В камбоджийских поймах сосредоточены наиболее плодородные земли, и поэтому исторически они были свидетелями наивысшего уровня социально-экономического развития и в тоже время являются районами рискованного земледелия. Оценка факторов формирования ущерба от затопления территорий, показывает, что в рассматриваемых районах максимальные площади затопления территории соответствуют районам с высокой плотностью населения. Это определяет максимальные риски и ущербы от затопления для населения и хозяйства страны в южных районах Камбоджи.

Ключевые слова: наводнение, Камбоджа, река Меконг, река Бассак, озеро Тонлесап, гидрологические станции

ANALYSIS OF FLOOD ZONES IN CAMBODIA**Chea S., Parshina T.V., Sumachev A.E., Dmitriev V.V.***Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, e-mail: cheasokkoch@yandex.ru*

Cambodia is facing frequent manifestations of dangerous hydrological phenomena – floods and droughts. Over the past 20 years, floods have occurred in 2000, 2001, 2002, 2011 and 2013, and extremely dry years were observed in 2010, 2015 and 2016. The banks of the Mekong, Bassak, Tonle Sap Rivers and the Tonle Sap Lake basin are experiencing a more significant impact compared to other areas of the country. The purpose of the study is to identify and assess the flood zones of Cambodia. Research objectives: 1 – generalization of theoretical and methodological foundations for solving hydrological problems in Cambodia; 2 – identification of the features of the hydrological regime of the territory of Cambodia, based on statistical analysis of hydrometeorological information; 3 – construction of flood zones of the territory of Cambodia based on GIS; 4 – analysis of the results and planning of further research. As a result of the work, a statistical analysis of hydrological and meteorological data was performed, water level security curves were constructed, maps of flooding zones of Cambodia were obtained based on ArcGIS 10.8 for water levels of 1 and 50% security. The most fertile lands are concentrated in the Cambodian floodplains, and therefore historically they have witnessed the highest level of socio-economic development and at the same time are areas of risky farming. The assessment of the factors of damage formation from flooding of territories shows that in the considered areas the maximum areas of flooding of the territory correspond to areas with a high population density. This determines the maximum risks and damages from flooding for the population and economy of the country in the southern regions of Cambodia.

Keywords: flood, Cambodia, Mekong River, Bassak River, Tonle Sap Lake, hydrological stations

Камбоджа относится к одной из стран Юго-Восточной Азии наиболее подверженных наводнениям. Это вызвано двумя различными причинами формирования гидрологического режима территории: 1 – быстрым подъемом и спадом уровней воды в горных районах на востоке и юго-западе Камбоджи, 2 – равнинным характером местности и низкими градиентами высот. В результате формируются уникальные особенности водного режима рек Верхний Меконг, Нижний Меконг, Бассак и Тонлесап, сопровождающиеся подпорными эффектами и обратными течениями реки Тонлесап в районе озера Тонлесап (рис.1). Обратный поток в реке Тонлесап обусловлен различиями

между уровнями воды в озере Тонлесап и в основном течении реки Меконг [1, 2].

Основная часть стока реки Меконг формируется за пределами территории Камбоджи (Китай, Вьетнам, Лаос, Таиланд). Основной вклад в сток реки Меконг в пределах территории Камбоджи (рис. 1) вносят реки Се Конг, Се Сан и Сре Пок [3]. Ежегодно интенсивные дожди, обусловленные тропическими штормами в бассейне реки Меконг, вызывают внезапное повышение уровня воды в водосборных бассейнах притоков реки, что приводит к развитию резких, но непродолжительных наводнений. Поскольку эти явления происходят в горных и предгорных районах, формирующий

ся поток имеет большие скорости и вызывает эрозию почв, выкорчевывание деревьев, оползни и локальные наводнения. В свою очередь это приводит к повреждению домов, дорог, мостов и другой инфраструктуры, а иногда и к человеческим жертвам. Внезапные наводнения являются основной причиной трансформации русла и поймы реки Меконг. Ливневые паводки случаются ежегодно, особенно на востоке Камбоджи, но наибольший ущерб причиняют именно наводнения [4, 5].

Целью исследования является выявление и оценка зон затопления территории Камбоджи. Задачи исследования: 1 – обобщение теоретико-методологических основ решения гидрологических проблем Камбоджи; 2 – выявление особенностей гидрологического режима территории Камбоджи, на основе статистического анализа гидрометеорологической информации; 3 – построение зон затопления территории Камбоджи на основе ГИС; 4 – анализ полученных результатов и планирование дальнейших исследований.

Материалы и методы исследования

На первом этапе исследования были получены представления о научной проблеме и подходах к её решению. При рассмотрении проблем водных объектов Камбоджи разными авторами получены следующие выводы: 1 – изменения в режиме стока реки Меконг являются главными в оценке состояния окружающей среды данной территории, 2 – необходимо учитывать антропогенное воздействие на режим водных объектов в результате планируемого строительства плотин и др. в Китае, Камбодже и Таиланде, Лаосе и Вьетнаме, которые могут иметь масштабные экологические последствия. Строительство наземных дорог также имеет негативные последствия для окружающей среды. Одним из возможных последствий отчуждения поймы является изменение характера наводнений в других частях бассейна [6]; 3 – необходимо исследовать естественные и антропогенные изменения режима озера Тонлесап и его поймы.

В результате обзора литературы выявлено, что решение проблем связано с имеющимся опытом использования методов и моделей, предложенных разными авторами. Kummu, Sarkkula [7], Johnston, Kummu [8] сравнили результаты трех сценариев по модели CIA влияния бассейна реки Меконг на озеро Тонлесап. Авторы прогнозировали более высокий уровень воды в засушливый сезон и более низкие пики паводков.

Прогнозируемая величина результирующего изменения площади озера в засушливый сезон изменялась от 6% до 30%. Wang W., Lu H., Yang D., Sothea K., Jiao Y., Gao B. [9] моделировали гидрологические последствия изменения климата в реке Меконг до 2030 года. Используя методологию учета водных ресурсов и основываясь на сценарном подходе (A1B SRES) о среднем увеличении количества осадков на 0,2 м (13%), они предсказали 21% увеличение общего стока реки и увеличение вероятности «экстремально влажных» паводков с 5% до 76%. Напротив, Arias M.E., Piman T., Lauri H., Cochran T.A., Kummu M. [10] оценили гидрологические последствия изменения климата в реке Меконг до 2039 года, используя модель SLURP. Основываясь на предположении о минимальном изменении общего количества осадков (сценарии A2 и B2 SRES), но с различными стокоформирующими комплексами бассейна р. Меконг, они предсказали уменьшение среднемесячного стока на 7–11%, с небольшим увеличением (1%) максимальных расходов, но большим уменьшением минимальных расходов.

При создании водно-пойменной модели озера Тонлесап [11] использовались коэффициенты обратного рассеяния радара с синтезированной апертурой L-диапазона с фазированной решеткой (PALSAR), значения нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) и преобразования с кисточкой (TC) данных спектр радиометра с изображением среднего разрешения Terra и Aqua (MODIS). Авторы отмечают, что модель изменчивости земель может использоваться для прогнозирования территориальных изменений в классах земного покрова на этапах развития и спада наводнений, а также может дать представление о динамике наводнений, тем самым позволяя управлять наводнениями в этом регионе. Модель может быть использована для изучения динамики пойменной растительности и воздействия наводнения на местных жителей.

В результате первого этапа исследования показано, что проблема наводнений и затопления земель наиболее актуальна для территории Камбоджи.

На втором этапе исследований был выполнен статистический анализ гидрологических и метеорологических данных, построены кривые обеспеченности уровней воды для территории Камбоджи. Все гидрологические станции исследуемого региона были разделены на 3 района (1 – Средний Меконг, 2 – озеро Тонлесап, 3 – Нижний Меконг) (рис. 1).

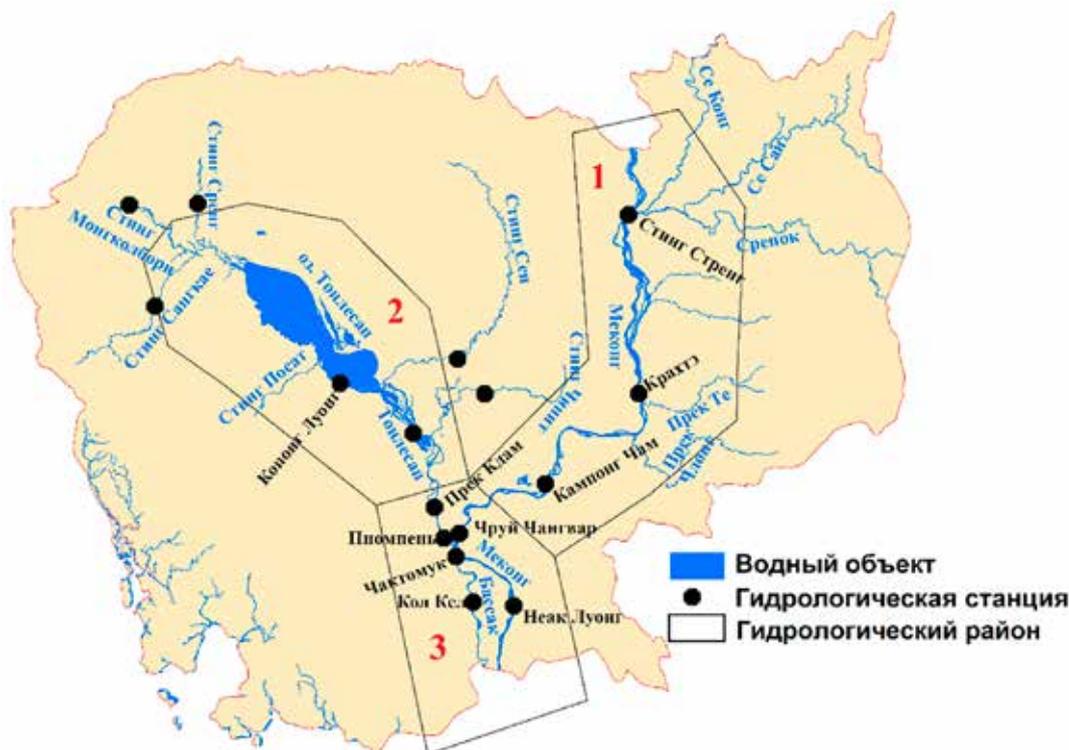


Рис. 1. Водные объекты Камбоджи, гидрологические станции и районы

Первый район включает станции Стинг Тренг, Крахтэ, Кампонг Чам. Для них характерно увеличение среднееголетних месячных расходов и уровней воды с января по апрель в сухой сезон. С мая наблюдается тенденция уменьшения среднееголетних месячных расходов и уровней воды, при этом осадки практически за все месяцы года имеют положительный тренд, в сезон дождей они статически значимы, а температура воздуха статически не значима. Это объясняется особенностью географического положения Камбоджи и тем, что 95% стока формируется выше по течению территории Камбоджи. Климат Камбоджи для данной группы станций мало влияет на речной сток.

Репрезентативной станцией для второго района является станция Кампонг Луонг. Она расположена на берегу озера Тонлесап. Здесь наблюдается тенденция уменьшения среднееголетних месячных значений уровней и осадков, а температура воздуха имеет тенденцию увеличения. Климат Камбоджи оказывает влияние на формирование речного стока этого района.

Третий район включает станции Прек Кдам и Чактомук. Они расположены ниже озера Тонлесап и здесь сохраняется тенденция уменьшения среднееголетних месячных значений уровней (статически

значимая весь год за исключение апреля и мая). На станции Прек Кдам сохраняется влияние озера и климата Камбоджи на сток, а на станции Чактомук уже отмечается уменьшение этого влияния на сток. Здесь на формирование стока существенно влияет сток среднего Меконга.

На третьем этапе исследований были рассчитаны уровни воды 1% и 50%-й обеспеченности для шести репрезентативных гидрологических станций. На основе базы данных SRTM была построена цифровая модель рельефа территории Камбоджи. На полученной модели были выделены ключевые полигоны, на которые средствами ГИС наложены значения уровней воды 1% и 50%-й обеспеченности (рис. 2).

На четвёртом этапе выполнен анализ полученных результатов и планирование дальнейших исследований. На основе картосхемы (рис. 2) получили зоны затопления при 1% и 50%-й обеспеченности уровней воды и доли этих зон от площадей выделенных районов с помощью программы ArcGIS 10.8.

Результаты исследования и их обсуждение

В таблице приведены зоны затопления при 1% и 50%-й обеспеченности уровней воды и доли этих зон от площадей выделенных районов и общей площади Камбоджи.

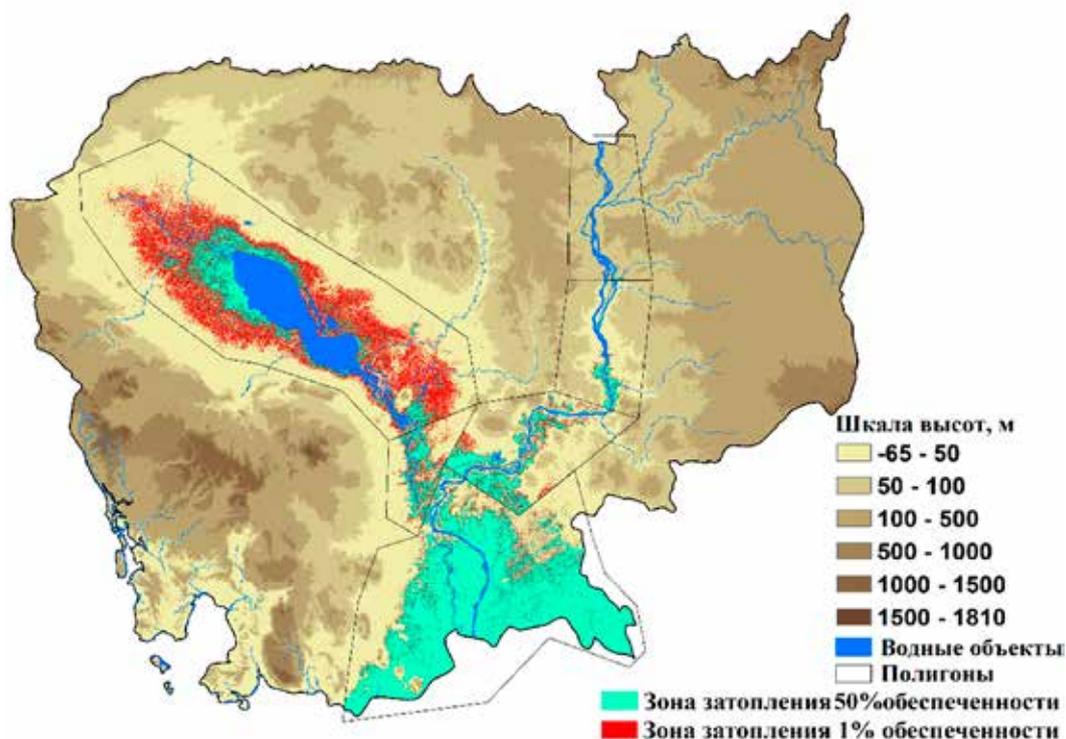


Рис. 2. Картограмма зон затопления с выделением опорных полигонов

Площадь затопления территории Камбоджи

Процентная обеспеченность уровней воды	Площадь затопления, км ² (% от площадей провинций, входящих в район)			Общая площадь затопления, км ² (% от площади Камбоджи)
	Район 1	Район 2	Район 3	
50%	1982 (7,4%)	5473 (10,1%)	10733 (71,6%)	18189 (10%)
1%	2722 (10,2%)	11785 (21,8%)	12095 (80,7%)	26603 (14,7%)

Анализ площадей затопления показал, что провинции Стинг Тренг, Крахтэ, Кампонг Чам первого района наименее подвержены наводнениям. Это объясняется тем, что эти провинции (район в целом) находятся на возвышенности. В этом районе преобладает городское население. Только южная часть этого района, занятая под сельское хозяйство (разведение риса), находится в низменности и часто затапливается.

Провинции Кампонгчнанг, Баттамбанг, Кампонгтхом, Сиамреап и Поусат (второй район) в большей степени подвержены наводнениям. В этом районе преобладает сельское население. Эти провинции находятся на равнинных участках вокруг озера Тонлесап с абсолютными отметками высот ниже уровня моря. Здесь большая часть территории отведена под сельское хозяйство (разведение риса), в прибрежных районах озера распространены мангровые леса.

Провинции третьего района наиболее подвержены наводнениям. В этом районе проживает городское и сельское население. Наиболее промышленно развитыми являются провинции Кандаль и Пномпень. На территориях провинций Преивенг, Свайриенг и Такео вплоть до границы с Вьетнамом развито сельское хозяйство (преимущественно выращивание риса).

В первом районе численность населения составляет 1,3 млн чел., плотность населения – 243 чел./км². В этом районе площадь затопления составила 7,4% при 50%-й обеспеченности уровней воды и 10,2% при 1%-й обеспеченности.

Во втором районе численность населения составляет 3,4 млн чел., плотность населения – 287 чел./км². В этом районе площадь затопления составила 10,1% при 50%-й обеспеченности уровней воды и 21,8% при 1%-й обеспеченности.

Наибольшая численность и плотность населения отмечена в третьем районе (численность 5,0 млн чел.; плотность населения 3 тыс. чел./км²). В этом районе отмечена максимальная площадь затопления 71,6% при 50%-й обеспеченности уровнем воды и 80,7% при 1%-й обеспеченности.

Предварительная оценка факторов ущерба от затопления территорий, показывает, что от 1 к 3 району увеличивается плотность населения и площади затопления, максимальные риски и ущербы от затопления для населения и хозяйства страны ожидаются в третьем районе (южная часть территории страны).

Заключение

Обобщены основные проблемы водных объектов территории Камбоджи. К ним относятся: изменения в режиме стока реки Меконг, сопровождающиеся повышением уровней воды, затоплением земель и нанесением ущерба хозяйственным объектам; антропогенное воздействие на водотоки в результате строительства плотин и др.; естественные и антропогенные изменения режима озера Тонлесап и его поймы. В исследовании мы выполнили геоинформационное моделирование затопления территорий на основе данных 2000-2021 гг. по 6 гидрологическим постам и 6 метеорологическим станциям, расположенным в бассейнах реки Меконг в пределах территории Камбоджи и оз. Тонлесап.

В результате статистического анализа гидрологических и метеорологических данных региона были выделены 3 района с характерными особенностями влияния климата на гидрологический режим. Для каждой гидрологической станции были рассчитаны кривые 1% и 50%-й обеспеченности максимальных уровней воды и на основе ГИС оценены площади затопления, которые составили 26603 км² (14,7% площади территории Камбоджи) и 18189 км² (10%).

На следующих этапах работы планируется оценить ущербы от затопления территории, разработать методику интегральной

оценки затопляемости территории на основе композитного индекса, подготовить рекомендации по снижению негативного влияния наводнений на хозяйствующие объекты.

Список литературы

1. Wang W., Lu H., Yang D., Sothea K., Jiao Y., Gao B., et al. Modelling Hydrologic Processes in the Mekong River Basin Using a Distributed Model Driven by Satellite Precipitation and Rain Gauge Observations. PLoS ONE. 2016. Vol. 11. No. 3. DOI: 10.1371/journal.pone.0152229.
2. Oeurng Chantha, Thomas A. Cochrane, Sarit Chung, Mathias G. Kondolf, Thanapon Piman, Mauricio E. Arias. Assessing Climate Change Impacts on River Flows in the Tonle Sap Lake Basin, Cambodia. Water. 2019. Vol. 11, No. 3. P 618. DOI: 10.3390/w11030618.
3. Mekong River Commission, State of the basin report 2018. DOI: 10.52107/mrc.ajg4wl.
4. Mekong River Commission, State of the basin report 2014. DOI: 10.52107/mrc.ajg54f.
5. Mekong River Commission, State of the basin report 2016. DOI: 10.52107/mrc.ajg7b0.
6. Ian C. Campbell, Biophysical Environment of an International River Basin. 2015. P. 53-76. Vol. 24. No. 4. DOI: 10.1016/C2009-0-01620-1.
7. Matti Kummu, Juha Sarkkula. Impact of the Mekong River Flow Alteration on the Tonle Sap Flood Pulse. AM-BIO: A Journal of the Human Environment. 2014. Vol. 37. No. 3. P. 185-192. DOI: 10.1579/0044-7447.
8. Robyn Johnston, Matti Kummu. Water Resource Models in the Mekong Basin: A Review. Water Resources Management: An International Journal, Published for the European Water Resources Association (EWRA), Springer; European Water Resources Association (EWRA). 2016. Vol. 26. No. 2. P. 429-455. URL: <https://ideas.repec.org/a/spr/waterr/v26y2012i2p429-455.html> (дата обращения: 01.02.2023).
9. Wang W., Lu H., Yang D., Sothea K., Jiao Y., Gao B., et al. Modelling Hydrologic Processes in the Mekong River Basin Using a Distributed Model Driven by Satellite Precipitation and Rain Gauge Observations. 2016. Vol. 11. No. 3. DOI: 10.1371/journal.pone.0152229.
10. Arias M.E., Piman T., Lauri H., Cochrane T.A., Kummu M. Dams on Mekong tributaries as significant contributors of hydrological alterations to the Tonle Sap Floodplain in Cambodia. Hydrol. Earth Syst. Sci. 2014. Vol. 18. P. 5303–5315. DOI: 10.5194/hess-18-5303-2014.
11. Nguyen Van Trung, Jung-Hyun Choi, Joong-Sun Won, Senior Member. IEEE. A Land Cover Variation Model of Water Level for the Floodplain of Tonle Sap, Cambodia, Derived from ALOS PALSAR and MODIS. 2013. Vol. 6. No. 5. P. 929-934. URL: <https://pure.ewha.ac.kr/en/publications/landcover-change-detection-at-tonle-sap-cambodia-using-alos-palsar> (дата обращения: 01.02.2023).