

ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 630\*91; 630\*232.43

**ИЗМЕНЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ МАНГРОВОГО ЛЕСА  
ПОЛУОСТРОВА КАМАУ (ЮЖНЫЙ ВЬЕТНАМ)  
ЗА 30 ЛЕТ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ**

© 2020 г. Шон Тон\*\*, Д.В. Добрынин\*\*\*, В.О. Мокиевский\*\*\*\*

*\*Университет Донг Тхан  
Вьетнам, провинция Донг Тхан, Район 6, г. Каолань, 783 Фам Хиу Лау  
E-mail: tonsonk28@gmail.com*

*\*\*Московский физико-технический институт,  
факультет аэрофизики и космических исследований  
Россия, 141701, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., д. 9*

*\*\*\*Центр морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова  
Россия, 119991, г. Москва, ул. Ленинские горы, д. 1. E-mail: ddobrynin@yandex.ru*

*\*\*\*\*Институт океанологии им П.П. Ширшова РАН  
Россия, 117997, г. Москва, Нахимовский пр., д. 36. E-mail: vadim@ocean.ru*

Поступила в редакцию 18.04.2020. После доработки 26.05.2020. Принята к публикации 01.06.2020

Изменение площади мангровых зарослей за тридцатилетний период (с 1989 по 2018 год) оценено для территории южной оконечности Вьетнама – полуострова Камау. Анализ выполнен с использованием снимков Landsat с разрешением 900 м<sup>2</sup> на пиксель. Общая исследованная площадь составила 37574.25 га. На этой площади в 1989 г. мангры занимали 22999 га, а в 2018 г. – 18507 га. Суммарные потери, таким образом, составили 4492 га мангровых зарослей, а средняя скорость их сокращения составила 0.6% в год от исходной. Сравнение суммарных площадей не учитывает пространственной трансформации растительности: исчезновения старых мангровых зарослей и их появление на новом месте. Сравнение контуров мангровой растительности показало, что изменениями не были затронуты только 10557 га (менее 50% от площади мангров в 1989 г.). На площади в 12442 га произошло исчезновение мангровой растительности, восстановление её произошло на площади 7950 га. Одновременно наблюдается увеличение фрагментированности мангровой растительности: доля небольших фрагментов мангровой растительности (1-100 га) увеличилась с 4% в 1989 году до 34% в 2018 г.

*Ключевые слова:* мангры, динамика дельты Меконга, Камау, Вьетнам.

**DOI: 10.24411/2542-2006-2020-10061**

Мангры – это сообщества деревьев и кустарников прибрежной зоны морей и океанов. Они растут на заиленной литорали тропических морей, а также в широких эстуариях, дельтах и вдоль русел рек, впадающих в море. Мангровые леса важны для защиты берегов от разрушающих воздействий океана, воспроизводства рыбных ресурсов, поддержания общего разнообразия видов. Корни мангровых растений задерживают донные осадки и укрепляют грунт, сдерживая эрозию берегов. Мангровые леса ослабляют разрушительное действие ураганов и цунами. Общая площадь, занимаемая этими лесами в мире, в 2005 г. оценивалась примерно в 15-18 млн. га, из которых около 30-40% приходится на долю Азии – 5.8 млн. га (FAO, 2007).

Мангровые леса относятся к числу быстро исчезающих экосистем; среднегодовая скорость сокращения площади мангров 20 лет назад оценивалась в 2% в год по миру и в 1.5% для стран Азии (Valiela et al., 2001). За последние 20 лет XX века в Азии в среднем исчезало по 62800 га мангров в год (Valiela et al., 2001). Последняя глобальная ревизия мангров мира (Spalding et al., 2010) за период с 1980 по 2005 гг. дает более низкие, но все же

существенные величины потерь с тенденцией к снижению от 1% в год в 1980-х до 0.66% в начале 2000-х. Суммарные потери мангровых лесов к началу 2000-х оцениваются в пределах 20-30% от площади на 1980 г. (FAO, 2007; Polidoro et al., 2010; Webber et al., 2016). Для Юго-Восточной Азии за период с 2000 до 2012 гг. скорость исчезновения мангровых лесов была оценена в 2.12% в год, для Вьетнама – 0.25% (Richards, Friess, 2016). Различия в оценке динамики мангровых лесов связаны как с разной точностью определения площадей мангров, так и с выбором отрезков времени, для которых приводятся данные. Последнее особенно важно для динамично развивающихся стран ЮВ Азии и Вьетнама, в частности, для тех, где характер землепользования кардинально менялся на протяжении последних десятилетий (Van et al., 2015).

Во Вьетнаме мангры распространены отдельными участками на протяжении всех 3260 км береговой линии, но наиболее крупные массивы лесов расположены на севере страны, в дельте реки Красной, и на юге (фото 1), в дельте реки Меконг (Hong, San, 1993). Флористическое богатство настоящих мангров Вьетнама оценивается в 38 видов (Veettil et al., 2019).



**Фото 1.** Участок мангрового леса во время отлива, Южный Вьетнам (здесь и далее фото В.О. Мокиевского). **Photo 1.** Mangrove forest in South Vietnam (here and below photos by V.O. Mokievsky).

Площадь мангровых лесов в дельте Меконга оценивалась (по данным на 2002 г.) в 82.4 тыс. га (Trần Thị Hồng Sa, Hà Văn Hành, 2008). Как и во всем мире, площадь мангровых зарослей в дельте Меконга постоянно сокращается. Это происходит из-за расчистки территорий под строительство, сельское хозяйство и аквакультуру. В то же время в последние десятилетия в южных провинциях Вьетнама ведется большая работа по восстановлению мангровых зарослей, площадь искусственных посадок увеличивается с каждым годом.

Помимо сокращения площадей мангров возможный вклад в деградацию этих экосистем может вносить их фрагментация. Разобщенность отдельных массивов мангровых лесов ослабляет их устойчивость как к локальным, так и глобальным факторам.

Высокая динамичность мангровых ландшафтов, частые смены доминирующих видов растительности и активное антропогенное воздействие затрудняют изучение пространственной структуры традиционными методами полевых описаний пробных площадей и трансект. Для большого региона одновременно оценить скорости изменения площади мангровых сообществ, их перераспределение в пространстве и степень фрагментации можно с использованием методов дистанционного зондирования Земли из космоса (Kuenzer et al., 2011). Применение спутниковых методов позволяет проводить синхронную оценку динамики удаленных и труднодоступных участков мангровой растительности и проводить экстраполяцию их характеристик с пробных площадей на окружающие территории.

Задача этой работы – оценить динамику площадей мангровых зарослей за последние десятилетия. Эта динамика является результатом противоположных процессов – трансформации мангровых лесов в другие типы биотопов и восстановления мангровых зарослей как естественным путем, так и с помощью человека.

### Материал и методы

Полуостров Камау расположен на южной оконечности Вьетнама. С юга он омывается водами Южно-Китайского моря, с запада и севера – Сиамским заливом. Низменный полуостров пронизан сетью каналов, на большей части побережья построены дамбы, предохраняющие внутренние районы от затопления. Тем не менее, южное побережье полуострова подвержено сильной эрозии (фото 2), скорость отступления берега составляет до 22.7 м в год, в то время как на северном побережье происходит аккумуляция донных отложений (фото 3) и расширение прибрежной зоны (Li et al., 2017).



**Фото 2.** Береговая абразия. Юго-восточный берег полуострова Камау.  
**Photo 2.** Mangrove shore affected by abrasion. SE coast of Cam au Peninsula.



**Фото 3.** Молодые растения ризофоры на аккумулятивном берегу у переднего края мангрового леса. **Photo 3.** Young *Rhizophora* trees growing in front of mangrove forest on the accumulative beach.

В историческое время мангровые леса занимали большую часть полуострова, их площадь в пределах провинции оценивалась в 140 тыс. га на 1945 год, но к 1983 г. сократилась почти в два раза (Trần Thị Hồng Sa, Hà Văn Hành, 2008). Большой урон мангровым зарослям нанесла обработка дефолиантами во время войны (Hong, San, 1993). После войны, с 1975 года, в провинции Камау начался рост населения и интенсификация хозяйственной деятельности, одним из основных направлений которой стала аквакультура (Van et al., 2015).

Для оценки баланса скоростей исчезновения и возобновления мангровых зарослей были использованы снимки находящейся в открытом доступе базы Landsat 4 TM за 31.01.1989 (код снимка LT04\_L1GS\_126054\_19890131\_20170204\_01\_T2) и Landsat 8 за 12.03.2018 (код снимка LC08\_L1TP\_126054\_20180312\_20180320\_01\_T1). Были выбраны снимки с минимальной площадью облачности в кадрах от 0 и до 7% соответственно. Пространственное разрешение обрабатываемых снимков – 30 м на пиксель. Границы области исследования выбраны таким образом, чтобы они попадали в пределы одного пролета и обеспечивали единство кадра для каждой из разновременных съемок. Исследованная площадь включает территорию 4 коммун провинции Камау: Дат Мой (Đat Moi), Дат Муй (Đat Mui), Вин Ан (Vien An) и Вин Ан Донг (Vien An Dong). Общая исследованная площадь в пределах снимков составила 37574.25 га.

Выявление территории, занятой мангровой растительностью, было основано на спектральных признаках дешифрирования, для чего в обработку были вовлечены данные зеленого, ближнего инфракрасного и коротковолнового инфракрасного диапазонов. Эта комбинация спектральных диапазонов позволила провести разделение мангровой зоны полуострова на 5 категорий: 1) мангровая растительность (лесопокрываемая площадь >10% включая древесную и кустарниковую растительность), 2) водная поверхность (реки, пруды, озера, болота и морская вода в прибрежной зоне), 3) сельскохозяйственные земли (рисовые чеки, поля для выращивания овощей, многолетних культур и т.д.), 4) аквакультура, 5) другие земли (населенные пункты, дороги, пустоши). При построении карт категории 3-5 были

объединены в одну – «другие земли».

Геометрическая трансформация и тематическая обработка спутниковых изображений проводилась в программе SCANEX Image Processor v5.1.46. Для формирования обучающей выборки были созданы векторные маски объектов, ограничивающие образы классов мангровой растительности и их антропогенных аналогов, с наиболее типичными спектральными характеристиками, выявленные и проверенные в процессе полевых изысканий. Дальнейшая тематическая обработка изображения проводилась методом управляемой классификации на заданное число классов. Результаты прошли векторизацию и генерализацию с исключением из анализа объектов с площадью менее 100 м<sup>2</sup>. Создание серий тематических карт и анализ динамики площадей выполнен в программе ARC-GIS v.10.

Предварительное обследование территории было проведено в марте 2018 г. Полученные результаты обработки спутниковых снимков были проверены натурным обследованием в феврале-марте 2019 г.

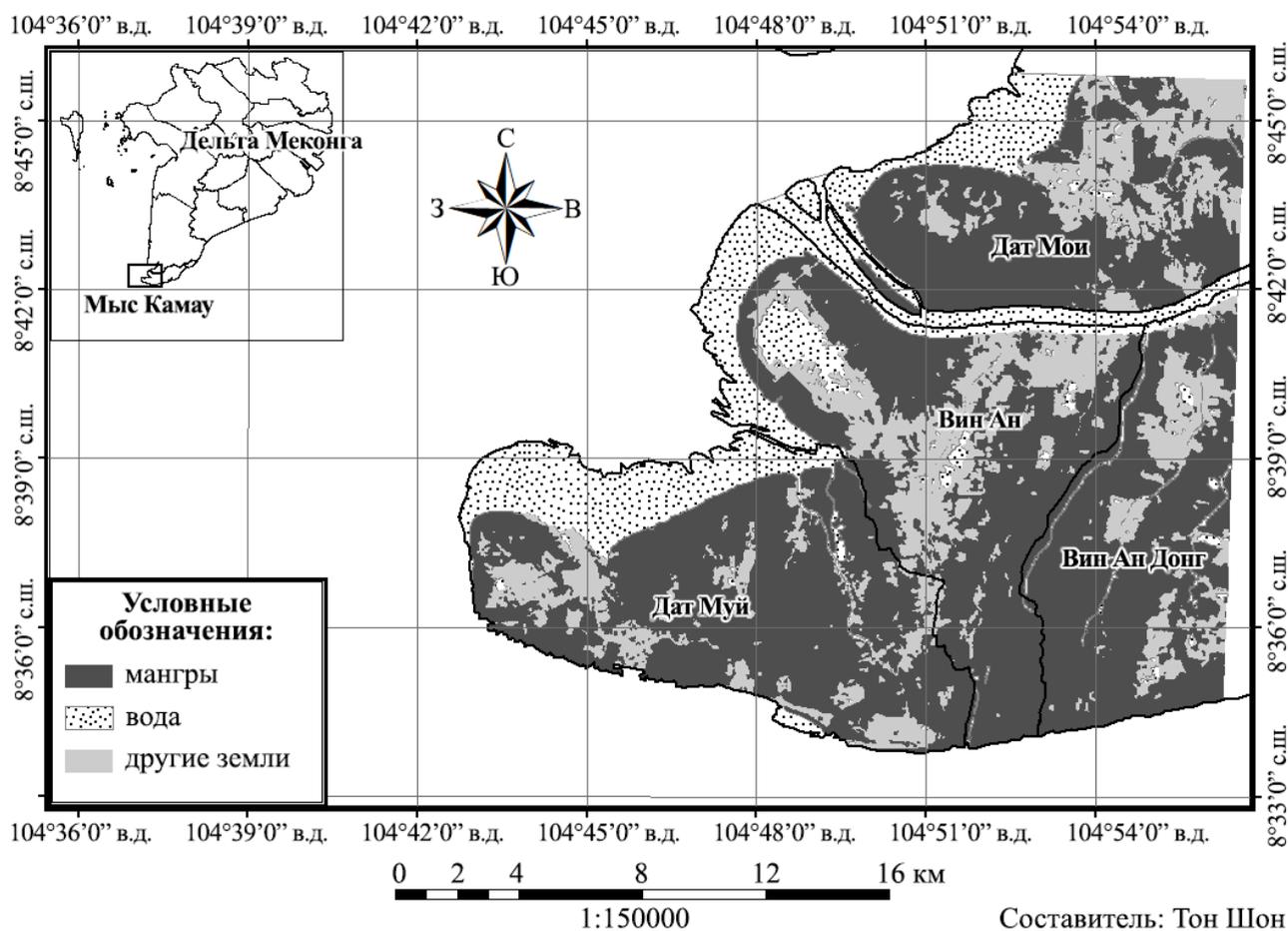
### Результаты исследования

К началу 1989 г. мангровая растительность покрывала большую часть полуострова Камау. Суммарная площадь, занятая манграми, была равна 22999 га. Мангровые леса были представлены большими массивами, внутри и по краям которых располагались населенные пункты в окружении сельскохозяйственных угодий и прудов аквакультуры (рис. 1). К 2018 г. в распределении и пространственной структуре мангров произошли значительные изменения. Площадь мангров сократилась, большие лесные массивы в восточной и северо-восточной частях полуострова исчезли, на их месте образовалась мозаика мелких пятен мангровой растительности, окруженной преобразованными угодьями (рис. 2). Большой лесной массив сохранился только на западной оконечности полуострова. Суммарная площадь мангров в 2018 г. была оценена в 18506 га. Таким образом, «чистые» потери за 30 лет составили всего около 4.5 тыс. га. Однако сопоставление результатов классификации угодий за разные годы позволило выявить более сложный характер пространственной динамики. Наложение контуров мангровой растительности за 1989 и 2018 гг. показало (рис. 3) существенные изменения границ за тридцатилетний период.

Суммарный баланс изменения площади складывается из процессов исчезновения мангров в местах прежнего произрастания и появления мангровой растительности в новых местах. Потери мангровых лесов оказались гораздо больше, чем выявляется простым сравнением площадей. Исчезновение мангров произошло на площади более 12 тыс. га (табл. 1), что отчасти компенсировалось появлением новых мангровых зарослей на площади в 8 тыс. га. Таким образом, разница площадей, занятых мангровой растительностью в 1989 и 2018 гг., не отражает реального изменения пространственной структуры. Наложение карт показало, что основные потери происходили в центральной части полуострова и на юге, а прирост происходил, преимущественно, на северном и северо-западном побережье (рис. 3). Неизменными в пространстве оставалось лишь 10.5 тыс. га, т.е. менее половины исходной площади.

Анализ по отдельным контурам показал, что основной вклад в исчезновение мангров внесло их сведение под аквакультуру – 80% суммарной потери площади (табл. 2). Следующий по значимости источник потерь – замещение мангров водной поверхностью. Это связано, прежде всего, с сильной эрозией берега на южном побережье полуострова. Граница мангровой растительности здесь отодвинулась к северу на 1-2 км. Потери из-за эрозии берегов составили около 2 тыс. га или 19% от всех потерь мангров. Расширение населенных пунктов, дорожное строительство и сельское хозяйство дают наименьший вклад в сокращение площади мангров Камау. За 30 лет замещение мангров этим типом угодий произошло на площади 167 га.

Прирост занятых манграми площадей был обеспечен прежде всего за счет естественного восстановления или искусственных посадок мангров на новых отмелях. Наибольшее увеличение площади мангровых зарослей происходило на северо-восточном побережье, в зоне интенсивной аккумуляции наносов. Здесь мангровые заросли формировались на новых береговых отложениях, продвигаясь все дальше в море. Нижняя граница распространения мангров сместилась в море на 2-4 км. Небольшие аккумулятивные участки, зарастающие или засаженные манграми выявлены и на южном побережье (рис. 3). Суммарно появление мангров на месте водной поверхности произошло на площади 5 тыс. га (табл. 3). Второй по значимости источник прироста площади мангров это аквакультура. Появление мангров на пространствах, прежде занятых прудами для выращивания рыбы и креветок, связано не с естественным зарастанием прудов, а с переходом на креветочно-мангровую аквакультуру: высаживание растений ризофоры на мелководьях и на отмелях, отгороженных дамбами прудов. Суммарно за счет появления мангров на месте прудов аквакультуры дало увеличение их площади на 2.9 тыс. га, в основном за счет участков в центральной части полуострова.

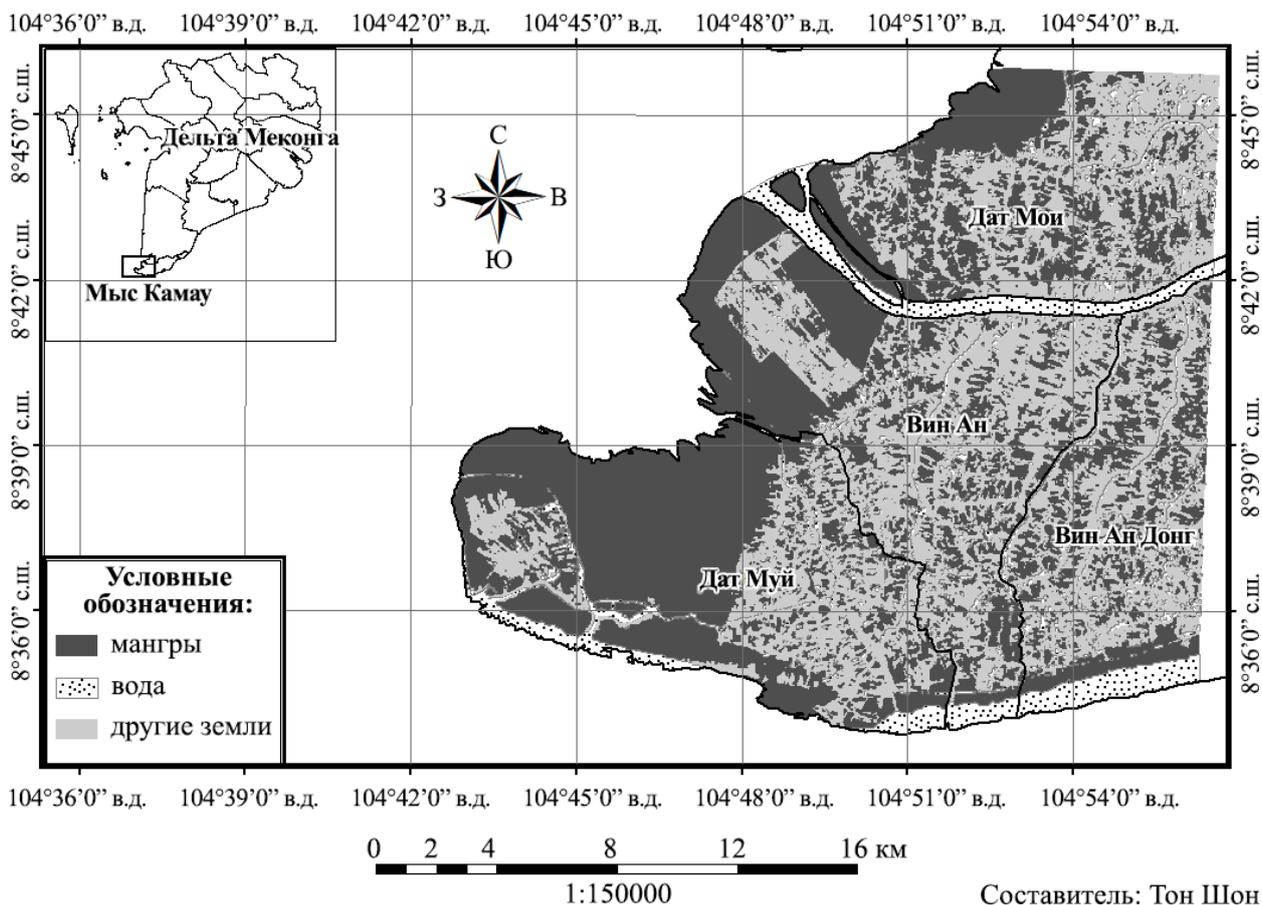


**Рис. 1.** Распределение мангровых лесов на полуострове Камау в январе 1989 г.

**Fig. 1.** Distribution of mangrove forests on the Ca Mau Peninsula in January, 1989. *Legend:* black pattern – mangroves, dots – water, gray – other lands.

Сравнение данных спутниковых съемок с тридцатилетним интервалом позволило выявить не только суммарное изменение площади и пространственного распределения мангровой растительности, но и оценить динамику пространственной мозаики мангров.

Оказалось, что фрагментация лесных массивов существенно увеличилась (табл. 4). В начале 1989 г. мангровые леса были представлены крупными непрерывными массивами. Более 80% площади занимали четыре участка, размером от 1000 га. Самый большой фрагмент имел площадь около 14 тыс. га; около 7 тыс. га занимали три фрагмента площадью от 1000 до 3850 га, суммарно – 6.7 тыс. га. На долю фрагментарной растительности (от 1 до 100 га) приходилось около 4%.



**Рис. 2.** Распределение мангровых лесов на полуострове Камау в марте 2018 г.

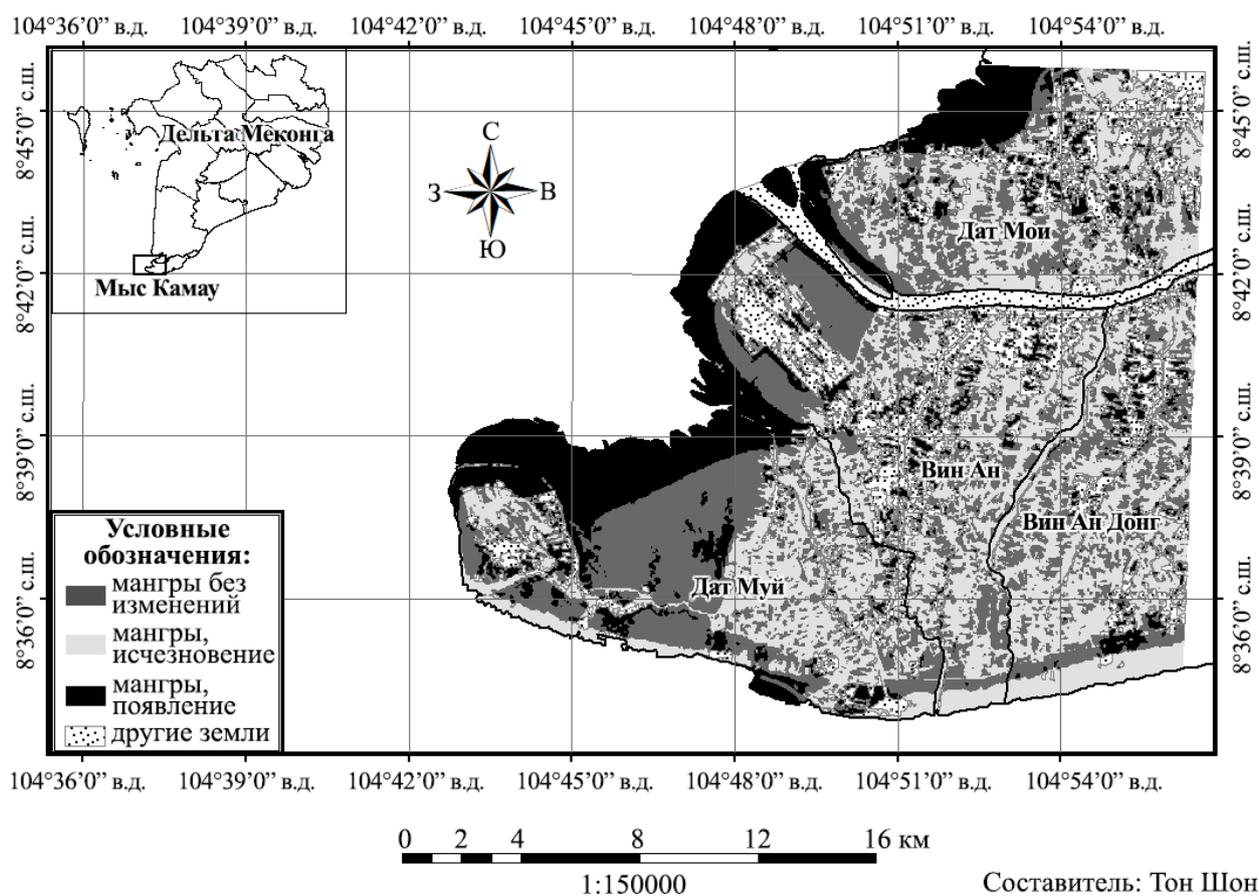
**Fig. 2.** Distribution of mangrove forests on the Ca Mau Peninsula in March, 2018. *Legend:* black pattern – mangroves, dots – water, gray – other lands.

В 2018 г. непрерывные массивы площадью более 10 тыс. га полностью исчезли, три самых крупных сплошных фрагмента занимали площадь от 1.2 до 4.3 тыс. га. Более 60% мангровой растительности в 2018 г. приходилось на долю фрагментов, не превышающих 1000 га. Доля небольших фрагментов мангровой растительности (менее 100 га) увеличилась с 4% в 1989 г. до 34% в 2018 г. Особенно сильно в суммарном покрытии возросла доля самых маленьких из выявляемых фрагментов – от 1 до 10 га, их общая площадь увеличилась с 230 до 2049 га, с 1 до 11% за 30 лет.

### Обсуждение

Сравнение результатов отдельного анализа снимков за 1989 и 2018 г. показало, что суммарная площадь мангров на полуострове сократилась за 30 лет с 23 тыс. до 18.5 тыс. га.

Скорость сокращения площади мангровых лесов, таким образом, составила 0.6% в год, что примерно соответствует средним оценкам по миру (Spalding et al., 2010). Однако приведенный нами анализ показывает, что прямое сравнение площадей ничего не говорит об изменении структуры растительности. Формально, площадь мангровой растительности полуострова Камау сократилась на 19% за 30 лет. Однако, с учетом изменения пространственной конфигурации мангров, трансформацией была затронута гораздо большая площадь – более половины от исходной. Итоговый баланс является результатом двух противоположных процессов: деградации и восстановления. Каждый из них имеет природную и антропогенную составляющую. Первая связана с процессами эрозии и аккумуляции в прибрежной зоне, вторая – с особенностями хозяйственной деятельности и ее изменениями.



**Рис. 3.** Изменение площади мангровых лесов полуострова Камау с 1989 по 2018 гг.  
**Fig. 3.** Changes in mangrove distribution on the Ca Mau Peninsula from 1989 to 2018. *Legend:* dark grey – no changes, light grey – disappearance of mangroves, black – new mangroves, dots – other land.

Современная динамика берегов полуострова Камау определяется преобладанием процессов эрозии вдоль южного побережья и ростом аккумулятивных новообразований суши на северо-западном берегу (Anthony et al., 2015; Nguyen et al., 2015). Скорость отступления берега на юге для периода 1973-2015 гг. составляет в среднем 22.7 м в год, а прирост на севере – 26.4 м в год (Li et al., 2017).

Динамика площади мангровой растительности следует за этими изменениями – она сокращается на берегах, подверженных эрозии, и растет на аккумулятивных пляжах. На

территории коммуны Дат Мои, занимающей оконечность полуострова, наблюдается положительный баланс площади мангров и максимальное увеличение новых зарослей на месте бывшей водной поверхности (рис. 3, табл. 1, 3). Для территории коммуны Вин Ан Донг, расположенной на юго-востоке, выявлена наибольшая площадь потерь мангров, заместившихся водной поверхностью (табл. 2).

**Таблица 1.** Изменение площади мангровой растительности на полуострове Камау.

**Table 1.** Changes in the area of mangroves on the Ca Mau Peninsula.

	Коммуна	Без изменений (га)	Изменения площади (га)		Площадь мангров в 1989 г. (га)	Площадь мангров в 2018 г. (га)	Изменение площади (га) с 1988 по 2018 гг.
			Мангры в другие типы земель	Другие типы земель в мангры			
1	Dat Moi	1988.62	2765.1	1778.6	4753.72	3767.22	-986.5
2	Dat Mui	4024.5	3163.42	3214.25	7187.92	7238.75	50.83
3	Vien An	2738.14	3220.93	2401.71	5959.07	5139.85	-819.22
4	Vien An Dong	1805.5	3292.67	555.52	5098.17	2361.02	-2737.15
<b>Всего</b>		10556.76	12442.12	7950.08	22998.88	18506.84	-4492.04

**Таблица 2.** Трансформация мангровой растительности полуострова Камау: структура потерь мангровых площадей. **Table 2.** Transformation of mangrove vegetation on the Ca Mau Peninsula: patterns of alteration.

№	Коммуна	Замещение мангров другими типами угодий (га)			Всего
		Вода	Аквакультура	Прочие	
1	Dat Moi	249.1	2512.07	3.93	
2	Dat Mui	705	2368.49	89.93	
3	Vien An	458.39	2738.78	23.76	
4	Vien An Dong	916.63	2326.94	49.1	
<b>Всего, га / %</b>		2329.12 / 18.72	9946.28 / 79.94	166.72 / 1.34	12442.12 / 100.00

Антропогенная составляющая изменения площади мангров складывается из их замещения другими типами угодий и восстановления мангровых лесов на месте старых вырубок, прудов аквакультуры (фото 4) и вдоль побережий, как абразионных, так и аккумулятивных. Основной тренд здесь негативный – почти 10 тыс. га мангров было замещено аквакультурой за 30 лет (табл. 2). Положительный вклад в динамику заключается в замещении открытых прудов аквакультуры мангрово-креветочными хозяйствами (фото 5), сочетающими участки открытой воды с посадками мангров (преимущественно – *Rhizophora apiculata*) на мелководьях и отмелях (Vo et al., 2013). Массовое развитие аквакультуры в Южном Вьетнаме пришлось на начало 1990-х годов (Binh et al., 2005), а трансформация в мангрово-креветочную культуру – на начало 2000-х (Van et al., 2015).

**Таблица 3.** Восстановление мангров на полуострове Камау. **Table 3.** Restoration patterns of Ca Mau mangroves.

№	Коммуна	Восстановление мангров на землях других типов (га)			Всего
		Вода	Аквакультура	Прочие	
1	Dat Moi	1131.05	647.55	0	
2	Dat Mui	2242.79	970.32	1.14	
3	Vien An	1610.31	791.4	0	
4	Vien An Dong	89.54	464.55	1.43	
<b>Всего, га / %</b>		5073.69 / 63.82	2873.82 / 36.15	2.57 / 0.03	7950.08 / 100

**Таблица 4.** Распределение мангровых лесов по классам площади в 1989 и 2018 гг. **Table 4.** Distribution of Ca Mau mangrove forests by size classes in 1989 and in 2018.

Размер участков (га)	1989 год			2018 год		
	Площадь (га)	% площади	число участков	Площадь (га)	% площади	число участков
>10000	14271.6	62.0	1	0	0	0
1000-10000	6772.9	29.4	3	7213.9	39.0	3
100-1000	993.3	4.3	6	4946.9	26.7	18
10-100	713.5	3.1	20	4300.1	23.2	149
<10	250.7	1.1	150	2049.3	11.1	1100



**Фото 4.** Пруды аквакультуры на месте мангрового леса. **Photo 4.** Ponds for aquaculture instead of mangroves.



**Фото 5.** Креветочно-мангровые хозяйства.  
**Photo 5.** Shrimp-mangrove culture.

Переход от «чистой» аквакультуры к смешанной, мангрово-креветочной определяется экономическими причинами: суммарный экономический эффект от смешанной культуры оказывается выше, чем от «чистой» (Vo et al., 2015). Этот эффект достигается как за счет стабилизации гидрохимических условий в прудах (Bosma et al., 2016), так и за счет дополнительного дохода от древесины (Joffre et al., 2015). Оптимальной считается 60% площадь покрытия манграми (Truong, Do, 2018). Под термином «мангрово-креветочная культура» (“mangrove-shrimps culture”), понимают не только креветок в узком смысле (Dendrobranchiata и Caridea), но всех культивируемых Decapoda, включая крабов (Brachyura). Из первой группы в Южном Вьетнаме выращивают *Metapenaeus ensis*, *M. lysianassa* и *Penaeus indicus*, а также *M. spinulatus*, *Macrobrachium equidens*, *P. styliferus* и других (Johnston et al., 2000). Среди крабов наибольшую коммерческую ценность представляет *Scylla serrata* (Johnston, Keenan, 1999), общее же число видов крабов, представляющих коммерческий интерес в Южном Вьетнаме, превышает 30 (Chertoprud et al., 2012).

Развитие креветочно-мангровой культуры, занимающей теперь внутренние районы исследованной области (рис. 2), привело к заметному увеличению общей фрагментации мангровой растительности (табл. 4). Основная площадь мангров в коммунах Вин Ан и Вин Ан Донг занята искусственными водоемами с небольшими по площади посадками мангров. Такая фрагментация неизбежно влечет за собой и сокращение разнообразия ассоциированных с манграми видов. Видовое разнообразие рыб во фрагментированных манграх оказалось в 1.8 раз ниже, чем на контрольном участке крупного массива естественного происхождения (Tran, Fischer, 2017).

Итоговые потери мангров на полуострове Камау за 30 лет составили около 4.5 тыс. га, но при оценке суммарной скорости трансформации мангровых лесов, к ним нужно прибавить и площади мангров, появившихся за этот период. Почти 8 тыс. га – это мангровая растительность, сформировавшаяся заново, на новых аккумулятивных пляжах или на месте других угодий. Возраст таких лесов не может превышать 30 лет, в то время как современные модели предполагают для зрелого мангрового леса возраст в 80-100 лет (Duke, 2001).

Различия между зрелым и молодым лесом заключаются не только в структуре древостоя, но и в составе фауны и структуре сообществ бентоса (Morrisey et al., 2003), а также – в продукционных показателях (Tan, 2002). Таим образом, трансформация растительности охватила площадь в 12.5 тыс. га – более двух третей площади сохранившихся мангров полуострова.

Существующие карты и оценки площади мангровых зарослей отражают состояние на текущий момент (Spadling et al., 2010; Richards, Friess, 2016) и характеризуют суммарную скорость исчезновения мангров, но не позволяют выявить стоящие за ней разнонаправленные процессы. Прогноз дальнейшей динамики мангровых лесов возможен только при более точном учете относительных скоростей деградации и восстановления прибрежной растительности и выявлении процессов, стоящих за этими изменениями.

### Заключение

За тридцать лет с 1988 по 2018 гг. площадь мангровых лесов на юге полуострова Камау уменьшилась на 4492 га – с 22999 до 18506 га, т.е. почти на четверть. Эти изменения явились результатом двух процессов: замещения мангровых лесов землями других типов землепользования (12442 га) и появлением мангровых зарослей в новых местах или на землях других типов (7950 га). В сокращении площади мангровых лесов наибольшую роль играют хозяйства аквакультуры. Суммарная площадь аквакультуры на месте мангровых лесов составила 9946 га. Увеличение площади мангровых лесов происходит за счет введения совмещенной креветочно-мангровой культуры (36% площади) и за счет появления мангров на новых аккумулятивных отложениях по периферии мыса Камау (64% площади). В результате происходит перераспределение мангров в пространстве – большая часть прежних районов их произрастания занята землями других типов землепользования, а новые мангровые леса образуются на свежих аккумулятивных отложениях вдоль побережий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Anthony E. J., Brunier G., Besset M., Goichot M., Dussouillez P., Nguyen V.L.* 2015. Linking rapid erosion of the Mekong River delta to human activities // *Scientific Reports*. Vol. 5. No. 14745 [Электронный ресурс <https://www.nature.com/articles/srep14745> (дата обращения 19.04.2019)].
- Binh T.N.K.D., Vromant N., Hung N. T., Hens L., Boon E.K.* 2005. Land cover changes between 1968 and 2003 in Cai Nuoc, Ca Mau peninsula, Vietnam // *Environment, Development and Sustainability*. Vol. 7. No. 4. P. 519-536.
- Bosma R.H., Nguyen T.H., Siahainenia A.J., Tran H.T., Tran H.N.* 2016. Shrimp-based livelihoods in mangrove silvo-aquaculture farming systems // *Reviews in Aquaculture*. Vol. 8. No. 1. P. 43-60.
- Chertoprud E.S., Spiridonov V.A., Ponomarev S.A., Mokievsky V.O.* 2012. Commercial crabs (Crustacea Decapoda Brachyura) from Nhatrang Bay (Vietnam) // *Benthic fauna of the Bay of Nhatrang, Southern Vietnam* / Eds. T.A. Britayev, D.S. Pavlov. Vol. 2. Moscow: KMK. P. 296-344.
- Duke N.C.* 2001. Gap creation and regenerative processes driving diversity and structure of mangrove ecosystems // *Wetlands Ecology and Management*. Vol. 9. No. 3. P. 267-279.
- FAO. 2007. The World's Mangroves 1980-2005 // *FAO Forestry Paper*. No. 153. Rome, Forest Resources Division, FAO. 77 p.
- Joffre O.M., Bosma R.H., Bregt A.K., van Zwieten P.A., Bush S.R., Verreth J.A.* 2015. What drives the adoption of integrated shrimp mangrove aquaculture in Vietnam? // *Ocean and Coastal Management*. Vol. 114. P. 53-63.
- Johnston D., Keenan C.P.* 1999. Mud crab culture in the Minh Hai Province, South Vietnam //

- ACIAR Proceedings. Australian Centre for International Agricultural. P. 95-98.
- Johnston D., Van Trong N., Van Tien D., Xuan T.T. 2000. Shrimp yields and harvest characteristics of mixed shrimp–mangrove forestry farms in southern Vietnam: factors affecting production // *Aquaculture*. Vol. 188. No. 3-4. P. 263-284.
- Hong P.N., San H.T. 1993. Mangroves of Vietnam. IUCN. Vol. 7. 173 p.
- Kuenzer C., Bluemel A., Gebhardt S., Quoc T.V., Dech S. 2011. Remote sensing of mangrove ecosystems: A review // *Remote Sensing*. Vol. 3. No. 5. P. 878-928.
- Li X., Liu J.P., Saito Y., Nguyen V.L. 2017. Recent evolution of the Mekong Delta and the impacts of dams // *Earth-Science Reviews*. Vol. 175. P. 1-17.
- Morrisey D.J., Skilleter G.A., Ellis J.I., Burns B.R., Kemp C.E., Burt K. 2003. Differences in benthic fauna and sediment among mangrove (*Avicennia marina* var. *australasica*) stands of different ages in New Zealand // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Vol. 56. No. 3-4. P. 581-592.
- Nguyen H.-H., McAlpine C., Pullar D., Leisz S.J., Gramotnev G. 2015. Drivers of Coastal Shoreline Change: Case Study of Hon Dat Coast, Kien Giang, Vietnam // *Environmental Management*. Vol. 55. P. 1093-1108.
- Polidoro B.A., Carpenter K.E., Collins L., Duke N.C., Ellison A.M., Ellison J.C., Livingstone S.R., Miyagi T., Moore G.E., Nam V.N., Ong J.E., Primavera J.H., Salmo S.G., Sanciangco J.C., Sukardjo S., Wang Y., Yong J.W.H. 2010. The loss of species: mangrove extinction risk and geographic areas of global concern // *PLOS one*. Vol. 5. No. 4. P. e10095.
- Richards D.R., Friess D.A. 2016. Rates and drivers of mangrove deforestation in Southeast Asia, 2000-2012 // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. Vol. 113. No. 2. P. 344-349.
- Spalding M., Kainuma M., Collins L. 2010. World Atlas of Mangroves. ITTO, ISME, FAO, UNEP-WCMC, UNESCO-MAB and UNU-INWEH. Earthscan Publishers Ltd. London Routledge. 336 p.
- Tan D.T. 2002. Biomass of *Rhizophora apiculata* forest // *Forest Science and Technology Research Report Results Period 1996-2000*. P. 165-72.
- Tran Loi X., Fischer A. 2017. Spatiotemporal changes and fragmentation of mangroves and its effects on fish diversity in Ca Mau Province (Vietnam) // *Journal of Coastal Conservation*. Vol. 21. No. 3. P. 355-368.
- Trần Thị Hồng Sa, Hà Văn Hành. 2008. Sự biến đổi tài nguyên rừng ngập mặn ở Đồng bằng sông Cửu Long và định hướng bảo tồn, phát triển // *Tạp chí Khoa học Đại học Huế*. Số. 48. Trang 135-142 [*Чан Тхи Хонг Ша, Ха Ван Хань*. 2008. Преобразование мангровых лесных ресурсов в дельте реки Меконг и задачи их сохранения и восстановления // *Научный журнал университета Хюе*. № 48. С.135-142. (на вьетнам. яз.)]
- Truong Thuy Dang, Do Luat Huu. 2018. Mangrove forests and aquaculture in the Mekong river delta // *Land Use Policy*. Vol. 73. P. 20-28.
- Valiela I., Bowen J.L., York J.K. 2001. Mangrove Forests: One of the World's Threatened Major Tropical Environments // *Bioscience*. Vol. 51. No. 10. P. 807-815.
- Van T.T., Wilson N., Thanh-Tung H., Quisthoudt K., Quang-Minh V., Xuan-Tuan L., Dahdouh-Guebas F., Koedam N. 2015. Changes in mangrove vegetation area and character in a war and land use change affected region of Vietnam (Mui Ca Mau) over six decades // *Acta Oecologica*. Vol. 63. P. 71-81.
- Veettil B.K., Ward R.D., Ngo Xuan Quang, Ngo Thi Thu Trang, Tran Hoai Giang. 2019. Mangroves of Vietnam: Historical development, current state of research and future threats // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Vol. 218. P. 212-236.
- Vo T.Q., Oppelt N., Leinenkugel P., Kuenzer C. 2013. Remote Sensing in Mapping Mangrove Ecosystems – An Object-Based Approach // *Remote Sensing*. Vol. 5. P. 183-201.
- Vo T.Q., Kuenzer C., Oppelt N. 2015. How remote sensing supports mangrove ecosystem service valuation: a case study in Ca Mau province, Vietnam // *Ecosystem services*. Vol. 14. P. 67-75.

Webber M., Calumpang H., Ferreira B., Granek E., Green S., Ruwa R., Soares M. 2016. Mangroves. Ch. 48 // First Global Integrated Marine Assessment. United Nations. [Электронный ресурс [http://www.un.org/Depts/los/global\\_reporting/WOA\\_RegProcess.htm](http://www.un.org/Depts/los/global_reporting/WOA_RegProcess.htm) (дата обращения 19.04.2019)].

UDC630\*91; 630\*232.43

**CHANGES IN SPATIAL STRUCTURE OF MANGROVE FOREST  
ON CA MAU PENINSULA (SOUTH VIETNAM)  
EVALUATED BY SATELLITE SURVEYS OF 30 YEARS INTERVAL**

© 2020. Son Ton\*\*, D.V. Dobrynin\*\*\*, V.O. Mokievsky\*\*\*\*

*\*Dong Thap University*

*Vietnam, Dong Thap, Phuong 6, TP. Cao Lanh, 783 Phạm Hữu Lầu. E-mail: tonsonk28@gmail.com*

*\*\*Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University)*

*Russia, 141701, Moscow Region, Dolgoprudny, Institutsky Per., 9*

*\*\*\*Marine Research Center of M.V. Lomonosov State University*

*Russia, 119991, Moscow, Leninsky Gori, 1. E-mail: ddobrynin@yandex.ru*

*\*\*\*\*P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences*

*Russia, 117997, Moscow, Nakhimovsky Avenue, 36. E-mail: vadim@ocean.ru*

Received April 18, 2020. After revision May 26, 2020. Accepted Juni 01, 2020.

The changes in mangrove areas were calculated for thirty-year period (1989-2018) on the Ca Mau peninsula, South Vietnam. Landsat 4 TM and Landsat 8 scenes were used for spatial analysis of mangroves in 1989 and 2018 correspondingly. Spatial resolution of both sensors was 900 m<sup>2</sup> on pixel and the size of the analyzed area was 37574.25 ha. In 1989 mangroves covered 22999 ha and in 2018 only 18507 ha. Total loss of mangroves was 4492 ha with mean rate of decline 0.6% per year, which closely corresponds with recent estimated values of degradation of mangroves in SE Asia in general. However, simple comparison of total areas for 2 years does not reflect the spatial transformation: the disappearance of the old forests in one area and its appearance on the newly accumulated tidal flats. Comparison of the spatial mosaics for these 2 years evaluates greater figures of changes. Intact area comprised 10557 ha or less than 50% of mangroves in 1989. In the area of 12442 ha the mangroves disappeared completely, and then recovered on the area of 7950 ha. Along the decrease of mangrove vegetation in the studied area the rate of fragmentation increased drastically. The relative proportion of small patches (1-100 ha) increased about tenfold – from 4 to 34% of total mangrove coverage. The study showed that decrease of total area covered by mangroves, as a difference of total coverage between comparing years, does not provide sufficient measures for mangrove transformation rates. It does not include spatial and structural changes of mangrove forests. The area of intact mangroves used to be much smaller than total area at given year, and the structural changes affect the age structure of mangrove forests.

*Keywords:* mangroves, dynamics, Mekong Delta, Vietnam, Ca Mau.

**DOI: 10.24411/2542-2006-2020-10061**