

*На правах рукописи*



**Тон Шон**

**ДИНАМИКА МАНГРОВ ДЕЛЬТЫ МЕКОНГА  
ЗА 30 ЛЕТ (1988–2018 гг.)  
ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ**

Специальность 25.00.28 – Океанология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук

Москва – 2020



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Исследования процессов, происходящих в зоне взаимодействия океанических систем с сушей и речным стоком, – одна из актуальных задач современной океанологии. Мангровые леса – неперенный компонент прибрежных экосистем тропического пояса. Экосистемы мангров отличаются высокой продуктивностью (Jennerjahn, Ittekkot, 2002), играют важную роль в стабилизации и укреплении берегов (Alongi, 2008; Mazda et al., 1997), защищают побережье от разрушительных штормовых волн (Dahdouh–Guebas et al., 2005), служат местом нагула для молодежи многих видов рыб и беспозвоночных (Robertson, Duke, 1987; Waltone et al., 2006). Экосистемы мангров важны для экономики прибрежных зон: и сами мангры, и ассоциированные с ними виды – важный ресурс в хозяйстве тропических стран (Hong, San, 1993). Однако, по некоторым оценкам, скорость исчезновения мангровых лесов в мире максимальна среди всех типов экосистем, выше, чем для дождевых тропических лесов, со скоростью исчезновения от 0,6% до 2% в год (Valiela et al., 2001; Spalding et al., 2010).

Во Вьетнаме мангровые леса сосредоточены в двух районах – на севере, в дельте реки Красной, и на юге, в дельте Меконга. Южные мангры отличаются высоким видовым разнообразием (39 видов настоящих мангров (Trần Thị Hồng Sa et al., 2008)) и занимают наибольшую площадь – не менее 54% от суммарной площади мангровых лесов во Вьетнаме (Vu Tan Phuong et al., 2016). В дельте Меконга, как и в других прибрежных районах, мангровый лес играет важную роль в защите побережья, предотвращении штормов, ограничении эрозии, расширении площади суши, регулировании климата. Однако мангровые леса в дельте Меконга быстро исчезают по многим причинам, что сказывается на прибрежных экосистемах и населении.

Большое число исследований (более 30) для оценки площади и динамики вьетнамских мангров выполнено в последние десятилетия в различных районах

с использованием спутниковых методов (обзор и список – Veettil et al., 2019). Однако все эти работы выполнены для отдельных участков и не дают полной картины современного распределения мангровых лесов для всей дельты Меконга. Задача изучения современного состояния и динамики мангровых лесов является очень актуальной. Материалы спутниковых съемок позволяют получить полную картину современного распространения мангровых лесов и сопоставить скорости процессов деградации и восстановления мангров для всего района дельты Меконга за 30 лет (1988–2018 гг.). Полученные современные данные о распределении мангровых зарослей и тенденциях их динамики имеют важную научную и практическую ценность.

**Основная цель работы:** оценка изменений площади и пространственного распределения мангровой растительности дельты Меконга за 30 лет (1988–2018 гг.). Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи:**

- Определение площади и картографирование распределения мангровой растительности в дельте Меконга по данным спутниковой съемки с разрешением 30 метров на пиксель на 2018 год;
- На основании спутниковых снимков за 1988–2018 гг. составление серий карт и анализ пространственных изменений мангровых лесов, их исчезновения, восстановления, замещения другими типами угодий;
- Определение скоростей процессов исчезновения, восстановления и перераспределения мангровой растительности в пространстве методом сравнения серий карт для промежуточных временных срезов;
- Установление результирующей тенденции изменения площади мангров для всей дельты Меконга и для отдельных провинций.

**Научная новизна исследования.** Впервые для большого региона на единой методической основе проведено картографирование мангровых лесов. Полученные данные характеризуют распределение мангровой растительности и ее изменения во времени для всей дельты Меконга за 30 лет. Включение в анализ серий снимков для промежуточных дат позволяет не только оценить суммарную

убыль мангров, но также определить тенденции и скорости процессов исчезновения и восстановления мангровой растительности на побережье семи провинций Южного Вьетнама. Впервые для региона отмечена смена тренда от сокращения суммарной площади к ее увеличению после 2013 года. Впервые для всего пространства дельты Меконга определены участки стабильных контуров мангровой растительности, не подвергавшиеся трансформации в другие типы угодий на протяжении последних тридцати лет. Впервые для всего региона оценена степень фрагментации мангровых зарослей и выявления тенденции изменения пространственной структуры мангров во времени.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Обработка и анализ спутниковых снимков Landsat позволили оценить площадь и картографировать современное распределение мангров в дельте Меконга по состоянию на 2018 г. и получить уточненную оценку их площади – 75 507.80 га.

2. Сравнение серий снимков с различным временным шагом за тридцатилетний период позволило выявить основные закономерности и тенденции динамики мангровой растительности в регионе. Впервые для региона показано увеличение суммарной площади мангров в 2013–2018 гг.

3. Главной причиной трансформации мангровых зарослей региона является хозяйственная деятельность человека, приводящая как к деградации, так и к восстановлению мангровых лесов.

**Достоверность научных результатов.** Результаты дешифрирования спутниковых снимков заверены натурными наблюдениями на местности в ходе двух экспедиций в 2018 и 2019 гг. В ходе работ были выполнены описания типов берегов и мангровой растительности в 104 точках, которые покрывают все изученное побережье и позволяют характеризовать участки с различными типами мангровой растительности и вариантами природопользования. Для

оценки надежности классификации было использовано дополнительно 156 заверочных точек, характеризующих выделенные категории земель и растительности.

**Научное и практическое значение исследования.** Построение актуальных карт распределения мангровой растительности и анализ пространственной динамики мангров имеет как научное, так и большое практическое значение. С научной точки зрения наибольший интерес вызывает выявление стабильных контуров мангровой растительности, представляющих надежный эталон для дальнейшего сравнительного анализа структурных и функциональных характеристик мангровых лесов. В практическом отношении результаты работы дают возможность оценить эффективность мер по охране и восстановлению мангровой растительности как для всего региона, так и для отдельных провинций и уездов. Выявление положительных и отрицательных трендов динамики мангров с разным временным шагом и пространственным разрешением позволяет корректировать практику природопользования в прибрежной зоне дельты.

**Личный вклад автора.** Автор лично участвовал во всех этапах работы – от постановки задачи исследования до формулирования основных результатов и выводов. Автором проведен подбор спутниковых снимков, их обработка, анализ и составление итоговых карт региона. Автор лично участвовал в полевых работах 2018 и 2019 гг., выполнил описание заверочных точек и их сопоставление с результатами дистанционного анализа. Автор лично участвовал в подготовке и написании всех публикаций по теме диссертации; все доклады на конференциях были представлены автором.

**Апробация работы.** Результаты работы были доложены на VII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование» (MARESEDU–2018, Москва, октябрь 2018 г.), XVI Всероссийской научно-технической конференции «Современные методы и

средства океанологических исследований» (МСОИ–2019, Москва, май 2019 г.) и VI Международной научно-практической конференции "Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы" (Севастополь, сентябрь 2019 г.). Результаты и выводы работы обсуждались на коллоквиумах Лаборатории экологии прибрежных донных сообществ ИО РАН и на объединенном Ученом Совете Физического направления и направления Экологии морей и океанов ИО РАН.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 8 работ, в том числе 2 статьи в рецензируемых журналах из списка, рекомендованного ВАК, 3 статьи в других рецензируемых научных изданиях и 3 публикации в сборниках трудов конференций.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 92 работ на русском, английском и вьетнамском языках и двух Приложений. Диссертационная работа изложена на 145 страницах и включает 53 рисунка и 36 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** приводится общая характеристика работы, включающая формулировку цели и задач исследования, обоснование его актуальности и новизны, основные положения, выносимые на защиту.

**В Главе 1** описаны район работ (**раздел 1.1**), источники данных и методы исследования. Дельта реки Меконг расположена на юге Вьетнама. На ее территории расположено 12 провинций и город Кантхо, их площадь – около 4 млн гектаров, общая численность населения – около 18 млн. человек.

Мангровые леса дельты расположены в прибрежных районах, на территории 7 провинций дельты Меконга: Тьензанг, Бенче, Чавинь, Шокчанг, Бакльеу, Камау и Кьензанг. Площадь исследуемого района составляет 435 728 га.

В качестве источников данных (**раздел 1.2**) были использованы космические изображения четырех периодов: Landsat 4–GS, Landsat 5–TM за 1988 г.; Landsat 5–TM за 1998 г.; Landsat 8–OLI за 2013 и 2018 годы. Изначально планировалось анализировать информацию через равные промежутки времени (10 лет), но, из-за сбоев в работе Landsat 7–ETM, вместо данных за 2008 год были использованы материалы Landsat 8–OLI, начавшего работу в 2013 году. Спутниковые снимки были получены с ноября по апрель – в период сухого сезона в дельте Меконга, с минимальной площадью облачности в кадрах от 0 до 9%. Пространственное разрешение всех спутниковых снимков, вовлеченных в анализ, составляло 30 м на пиксель.

Перед классификацией спутниковых снимков, были проведены предварительные полевые исследования в различных участках полосы мангровых лесов побережья дельты Меконга в 05–06/02/2018 г., 11–12/02/2018 г. и 04–9/03/2018 г. (**раздел 1.3**). После проведения предварительного анализа снимков, для того, чтобы проверить точность результатов классификации, мы провели дополнительное полевое исследование с 18 февраля по 2 марта 2019 года. В процессе полевых работ были заложены пробные площади (10x10 м или 5x5 м) для изучения структуры растительности. Всего описания ландшафтов и мангровых сообществ были выполнены в 104 точках, включая количественные описания на 32 площадках.

Выявление мангровой растительности было основано на спектральных признаках дешифрирования, для чего в обработку были вовлечены данные зеленого, ближнего инфракрасного и коротковолнового инфракрасного диапазонов. Геометрическая трансформация и тематическая обработка спутниковых изображений проводились в программе SCANEX Image Processor v 5.1.46. Анализ спутниковой информации в сочетании с данными полевых исследований позволил определить границу потенциального распространения мангровых лесов в дельте Меконга в 1988, 1998, 2013 и 2018 годах.

Принятая в работе система (таблица 1) включает 5 категорий земель и

растительности: 1) Мангровая растительность: лесопокрываемая площадь >10%, включая древесную и кустарниковую растительность; 2) Сельскохозяйственные земли: рисовые поля, плантации овощей, кустарниковых и древесных многолетних культур и т. д.; 3) Водная поверхность: реки, озера, пруды и морская вода в прибрежной зоне; 4) Аквакультура: водная поверхность искусственных прудов, в сочетании с дамбами и участками мангровых лесов; 5) Другие земли: населенные пункты, дороги, пустоши.

**Таблица 1.** Эталонные объекты на космических снимках и фотографиях ключевых участков района исследования

№	Категория	Цветовые комбинации Фотография	Фотографии
1	Мангровая растительность		
2	Сельскохозяйственные земли		
3	Водная поверхность		
4	Аквакультура		
5	Другие земли		

Для анализа снимков был разработан классификационный ключ для пяти типов растительного покрова в исследуемом районе дельты Меконга на основе различных цветовых комбинаций (таблица 1). В качестве основного алгоритма для анализа изображений был использован метод управляемой классификации

(Maximum Likelihood Classifier – MLC) с разделением на пять перечисленных выше классов. Для генерализации результатов классификации был использован метод Minority Analysis. Все процессы классифицирования спутниковых снимков, создания серий тематических карт и анализа пространственно-временной динамики площадей выполнены в программе ARC–GIS v.10.

Для оценки точности полученных результатов использован алгоритм сравнения результатов обработки снимков с натурными наблюдениями (Maxwell, Warner, 2020). Использовано 156 заверочных точек, распределенных по району исследований. Для данных за 2018 г. целевой класс классификации – «мангры», определен с максимально возможной точностью – 97–100%. Результаты оценки точности для всей карты по всем категориям приведены в Приложении 1, а координаты всех заверочных точек – в Приложении 2 к диссертации.

**В Главе 2** представлен обзор литературных данных о современном распределении мангров во Вьетнаме и в дельте Меконга (**раздел 2.1**), возможности применения дистанционных методов для анализа распределения и динамики мангровой растительности (**раздел 2.2**) и о скорости трансформации мангровых зарослей в мире, в Юго-Восточной Азии и во Вьетнаме (**раздел 2.3**). Показаны различия в оценках современной площади мангровых лесов и скорости их исчезновения, обсуждаются причины этих различий.

По оценкам, скорость исчезновения мангровых лесов максимальна среди всех типов экосистем, выше, чем для дождевых тропических лесов. Среднегодовая скорость сокращения площади мангров 20 лет назад оценивалась в 2% в год по миру и в 1,5% для стран Азии (Valiella et al., 2001). За последние 20 лет XX века в Азии в среднем исчезало 62 800 га мангров в год (Valiella et al., 2001). Последняя глобальная ревизия мангров мира (Spalding et al., 2010) за период с 1980 по 2005 годы дает более низкие, но, все же существенные величины потерь с тенденцией к снижению: от 1 % в год в 1980-

х до 0,66% в год в начале 2000-х гг. Суммарные потери мангровых лесов к началу 2000-х гг. 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 г. 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, 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 мангровых лесов расположены на севере страны, в дельте реки Красной, и на юге, в дельте реки Меконг (Hong, San, 1993). Исследования мангровой растительности ведутся весьма интенсивно, однако последний обзор (Veettil et al., 2019) подтвердил, что большинство исследований сосредоточено на отдельных участках мангровой зоны, полной оценки динамики мангровой растительности для всей дельты Меконга не проводилось.

**В Главе 3** представлены результаты классификации спутниковых снимков (**раздел 3.1**) и проведено сравнение карт мангров за периоды 1988–2018 гг., 1988–1998 гг., 1998–2013 гг. и 2013–2018 гг. (**раздел 3.2**).

Площадь мангров дельты Меконга по данным съемки 1988 г. составила 110 649,6 га, неравномерно распределенных по административным провинциям (рис. 1, таблица 2). К 2018 году суммарная площадь мангров сократилась до 75 507,8 тыс. га (рис. 2, таблица 2).

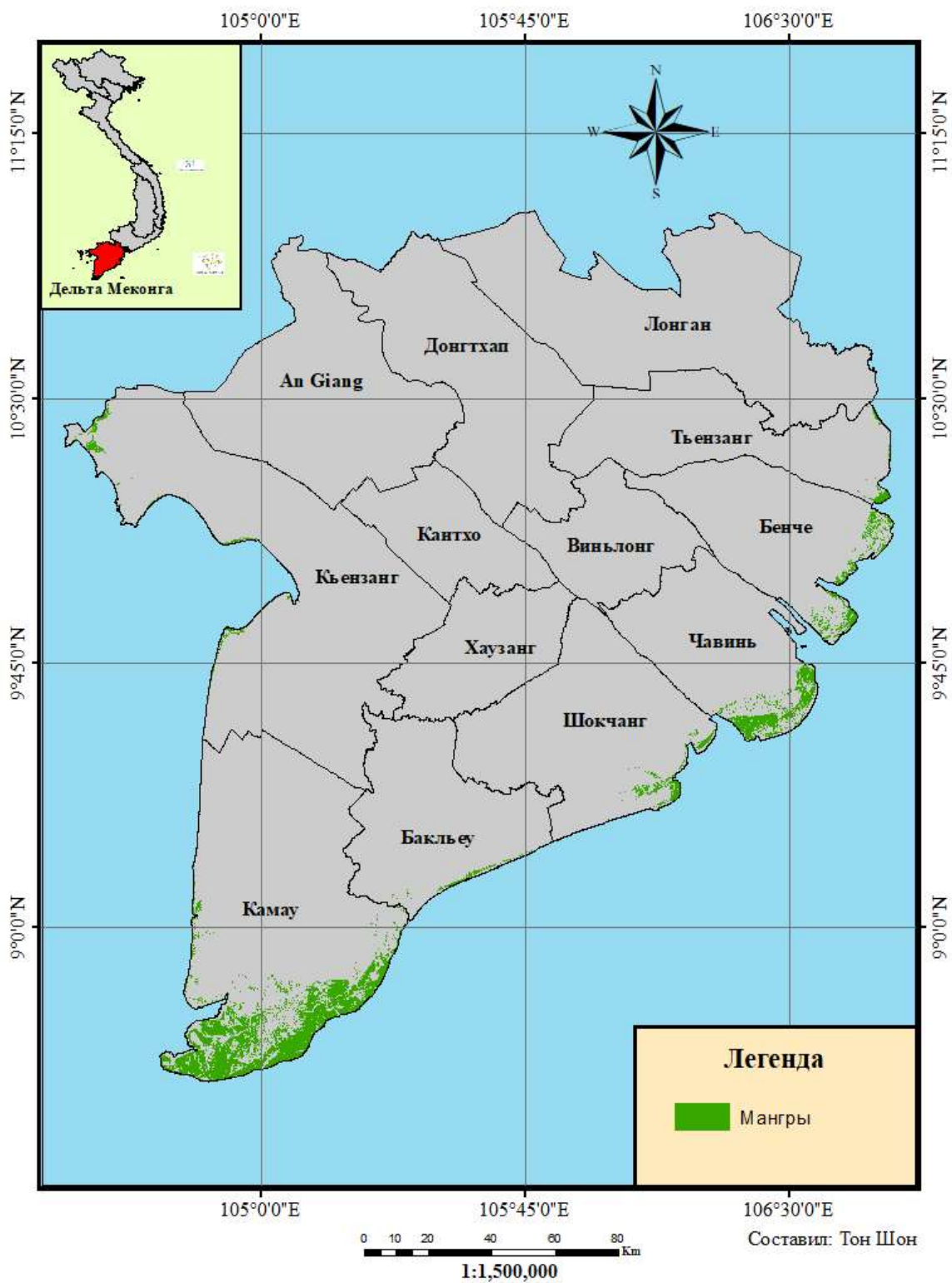
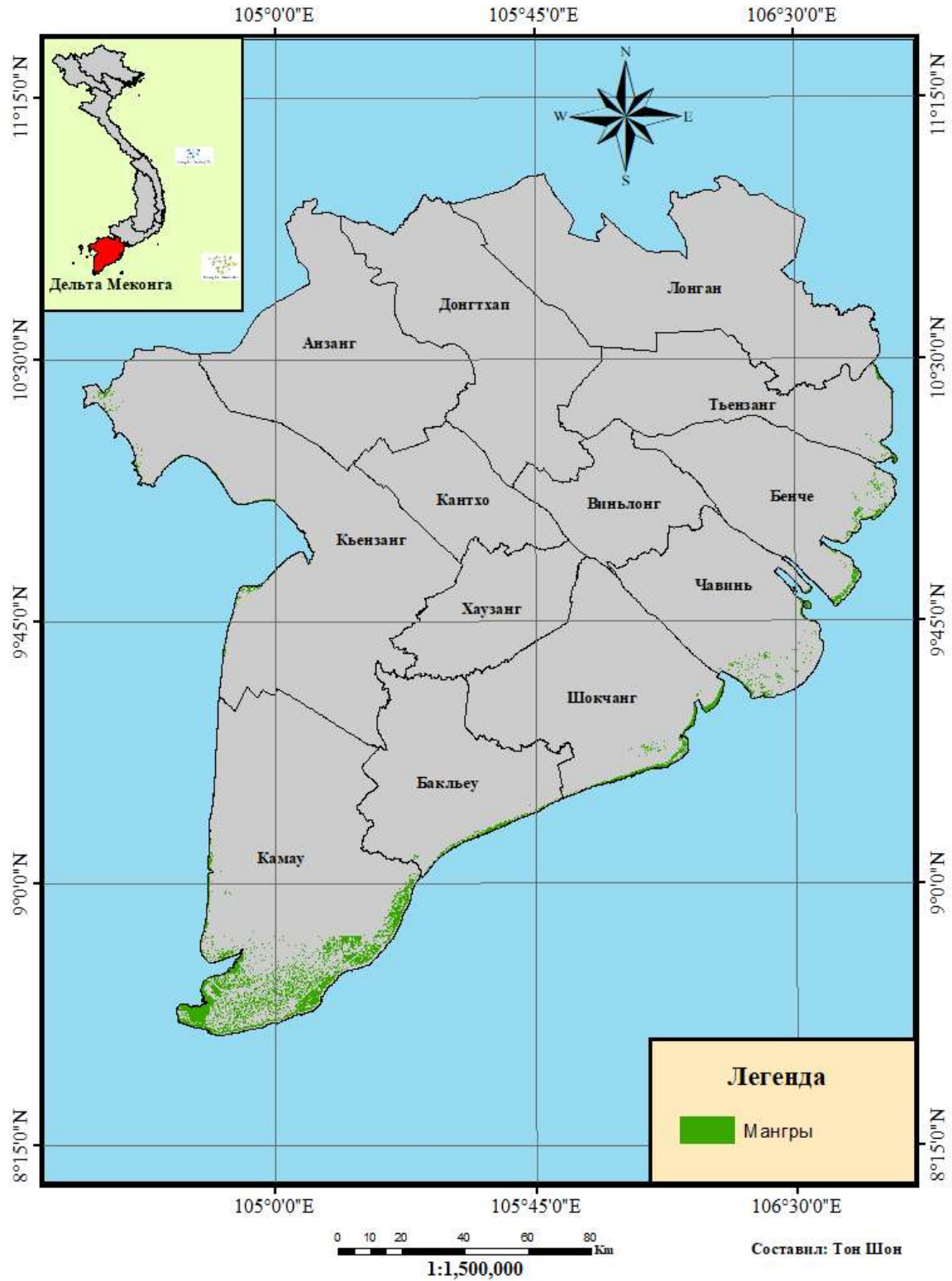


Рисунок 1. Мангровые леса в дельте Меконга в 1988 г.



**Рисунок 2.** Мангровые леса в дельте Меконга в 2018 г.

**Таблица 2.** Площадь мангров в дельте Меконга и ее изменения с 1988 по 2018 гг.

№	Провинции	Площадь мангров (га)			
		1988 г.	1998 г.	2013 г.	2018 г.
1	Кьензанг	6 389,5	6 893,5	4 739,6	4 366,3
2	Камау	71 093,4	44 303,4	44 588,1	51 363,4
3	Бакльеу	1 757,0	2 123,4	2 529,4	2 826,4
4	Шокчанг	5 518,4	4 778,0	4 724,8	5 835,4
5	Чавинь	15 490,9	13 312,1	5 063,6	4 420,8
6	Бенче	8 638,6	6 794,3	4 602,5	5 152,0
7	Тьензанг	1 761,8	1 641,1	1 417,2	1 543,5
<b>Всего</b>		<b>110 649,6</b>	<b>79 845,8</b>	<b>67 665,2</b>	<b>75 507,8</b>

Изменение суммарной площади мангров является результатом двух противоположных процессов – исчезновения мангров и их восстановления (таблицы 3 и 4).

**Таблица 3.** Замещение мангров другими типами земель за 30 лет

№	Провинции	Замещение мангров другими типами земель (га)				Всего
		Сельскохозяйственные	Вода	Аквакультура	Прочие	
1	Кьензанг	245,0	634,4	3 606,1	420,6	4 906,1
2	Камау	41,0	9 727,6	32 409,1	357,2	42 534,9
3	Бакльеу	0,0	68,1	784,0	8,5	860,6
4	Шокчанг	816,4	443,0	2 669,9	83,2	4 012,5
5	Чавинь	359,7	1 487,0	11 679,7	156,0	13 682,5
6	Бенче	261,6	1 493,1	4 868,8	68,6	6 692,1
7	Тьензанг	63,7	413,0	824,5	6,4	1 307,6
<b>Всего</b>		<b>1 787,4</b>	<b>14 266,2</b>	<b>56 842,0</b>	<b>1 100,4</b>	<b>73 996,1</b>
Процент (%)		2,4	19,3	76,8	1,5	100,0

**Таблица 4.** Восстановление мангров на землях других типов за 30 лет

№	Провинции	Восстановление мангров на землях других типов (га)				Всего
		Сельскохозяйственные	Вода	Аквакультура	Прочие	
1	Кьензанг	558,7	1 610,8	689,2	24,2	2 882,9
2	Камау	808,2	6 218,6	15 777,6	0,6	22 805,0
3	Бакльеу	536,9	894,4	498,7	0,0	1 930,0
4	Шокчанг	272,3	3 387,3	669,8	0,0	4 329,4
5	Чавинь	230,6	1 340,9	931,8	109,2	2 612,4
6	Бенче	43,1	2 152,8	1 008,8	0,8	3 205,5
7	Тьензанг	63,0	725,9	300,3	0,0	1 089,2
<b>Всего</b>		<b>2 512,8</b>	<b>16 330,7</b>	<b>19 876,1</b>	<b>134,8</b>	<b>38 854,4</b>
Процент (%)		6,5	42,0	51,2	0,3	100,0

Наибольший вклад в исчезновение мангров в 1988–1998 гг. вносило развитие аквакультуры: площадь искусственных регулируемых прудов и дамб на месте бывших мангров составила 55 тыс. га, т.е. около половины площади побережья, занятой манграми в 1988 г. Причина в том, что в конце 1980-х и начале 1990-х годов XX века цена креветок на мировом рынке увеличилась, спрос на них был большим, поэтому жители прибрежных провинций активно вырубали мангровые леса ради устройства прудов для выращивания креветок (Phạm Văn Ngọt et al., 2012). В результате была потеряна большая площадь мангровых лесов, а площадь прудов для креветок постоянно увеличивалась.

Второй по значимости фактор – разрушение (абразия) берегов с последующим замещением участков мангровых лесов морской водной поверхностью (5,5 тыс. га или 8,7% от суммарных потерь). Расширение сельскохозяйственных территорий, сооружение новых дорог, расширение населенных пунктов давали небольшой вклад в трансформацию естественных ландшафтов побережья.

В 1998–2013 гг., как и в предыдущий период, наибольший вклад в исчезновение мангров вносило развитие аквакультуры. По сравнению с первым периодом, перевод мангровых лесов в аквакультуру к 2013 году замедлился. Причина в том, что цена на креветок снизилась, конкурентоспособность вьетнамских креветок на мировом рынке стала ниже, чем в других странах

(Индия, Китай, Эквадор, Бангладеш, Аргентина, Таиланд, Индонезия, Малайзия) (Bô NN và PTNN, 2015). Государственная политика по защите лесов начала приносить положительные результаты (GIZ, 2018). Кроме того, аквакультура без мангровых зарослей привела к ухудшению качества воды в прудах, качество креветок упало, и экономическая эффективность оказалась очень невысока (Klaus Schmitt, 2009, 2015). Поэтому местные жители ограничили вырубку лесов и начали сажать мангры в неэффективных креветочных прудах, чтобы повысить их продуктивность, т.е. начался переход к креветочно-мангровым хозяйствам.

В современный период (2013–2018 гг.) переход от мангровых лесов к аквакультуре был в 5,5 раз меньше, чем в 1988–1998 гг., и в 3,8 раза меньше, чем в следующем периоде (1998–2013 гг.). Площадь потерянных из-за аквакультуры мангровых лесов в 2013–2018 гг. составила всего 9,9 тыс. га, но она компенсировалась восстановлением мангровых зарослей или креветочно-мангровыми хозяйствами на площади 15,5 тыс. га, что в 1,5 раза больше, чем площадь исчезновения. В динамике береговой линии преобладали аккумулятивные процессы: 1,8 тыс. га мангров были замещены водной поверхностью, а на 3,5 тыс. га происходил обратный процесс – естественное и искусственное восстановление мангровых лесов. Площадь мангровых лесов, восстановленных из сельскохозяйственных угодий, составила 854 га, что почти в 4 раза больше, чем обратный процесс – 223 га.

Сопоставление карт для нескольких последовательных дат (**раздел 3.3**) позволило выявить контуры мангровой растительности, стабильные во времени, т.е. не подвергавшиеся трансформации в другие типы угодий ни разу за 30 лет. Условно «ненарушенными» мы считаем те участки, которые присутствовали на одном и том же месте в момент всех съемок, включенных в анализ. Площадь таких неизменных мангровых лесов в дельте Меконга составляла 16 693,7 га. В целом по дельте Меконга доля площадей ненарушенных мангров, т.е. присутствующих в тех же границах, что и в 1988, 1998, 2013 и 2018 годах, составила менее четверти (22,1%) от современной (на

2018 год). Для разных провинций она варьировалась в пределах от 12 до 24%. Наибольшие площади ненарушенных мангров сохранились на юге исследуемого района, небольшие участки нетрансформированных мангровых лесов выявлены в провинциях западного побережья.

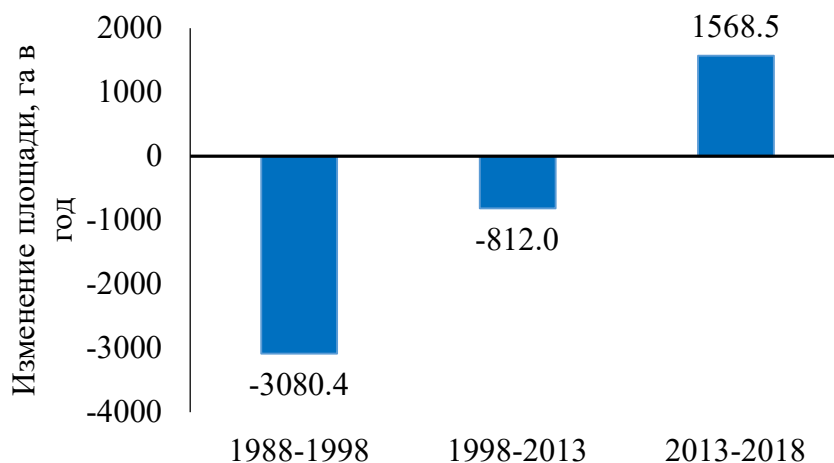
**Глава 4** посвящена обсуждению полученных результатов. Динамика мангровой растительности в дельте Меконга определяется двумя группами факторов: антропогенными, связанными с изменением характера природопользования в регионе, и природными, связанными с процессами абразии и аккумуляции донных отложений в прибрежной зоне. Следует заметить, однако, что за ними также может стоять антропогенная трансформация стока Меконга: строительство дамб в верхнем течении и каналов в нижнем, приводящая к уменьшению и перераспределению терригенного стока (Li et al., 2017).

В конце XX века основной вклад в сокращение мангровых зарослей вносила их вырубка и замещение прудами аквакультуры (Son Hong Truong et al., 2017). Естественный процесс, стоящий за динамикой мангров в дельте Меконга, это перераспределение донных отложений вдоль побережья. Побережье провинций дельты – это чередование абразионных и аккумулятивных участков, причем скорость как абразии, так и аккумуляции достигает значительных величин – до 22,7 м/год (Li et al., 2017). В результате современная динамика мангровой растительности является отражением противоположно направленных природных и антропогенных процессов, происходящих с разными скоростями.

Результаты нашего анализа (**раздел 4.1**) позволяют оценить среднюю скорость сокращения площади мангровой растительности в дельте Меконга, которая составляет около 1% в год. Она близка к минимальным оценкам, приводимым для Вьетнама, и меньше, чем средние значения для Юго-Восточной Азии и в мире – 1–2% (Duke et al., 2007).

В таблице 2 показано изменение суммарной площади мангровых зарослей в дельте Меконга с 1988 по 2018 год, а на рисунке 3 – тенденция изменения площади как разницы между площадями в смежные периоды. Видно, что после 2013 г. площадь мангровых зарослей начала увеличиваться. Таким образом, мы впервые фиксируем качественное изменение динамики мангров в масштабах большого региона (**раздел 4.2**).

Анализ с временным шагом 5–15 лет (**раздел 4.3**) позволил выявить участки мангровой растительности, сохраняющиеся в своих границах в течение всех тридцати лет исследования. В категорию «мангровые леса, сохранившиеся без изменений», отнесены те элементы, которые на всех четырех съемках были классифицированы как мангры. Современные модели предполагают для зрелого мангрового леса возраст в 80–100 лет (Duke, 2001). Различия между зрелым и молодым лесом заключаются не только в составе древостоя, но и в наборе видов и структуре сообществ бентоса (Morrisey et al., 2003), в продукционных показателях (Tan, 2002) и в организации трофической сети (Ray, 2008). По сравнению с другими участками выявленные нами ненарушенные мангровые леса отличаются более сложной возрастной структурой и более высоким локальным видовым разнообразием. В то же время, из-за небольшой площади сохранившихся участков, на них не реализуется полный профиль мангрового леса, типичного для Южного Вьетнама, с переходом от пионерной мангровой растительности у мористого края леса к сложным многовидовым комплексам на материковом краю (Hong, San, 1993).



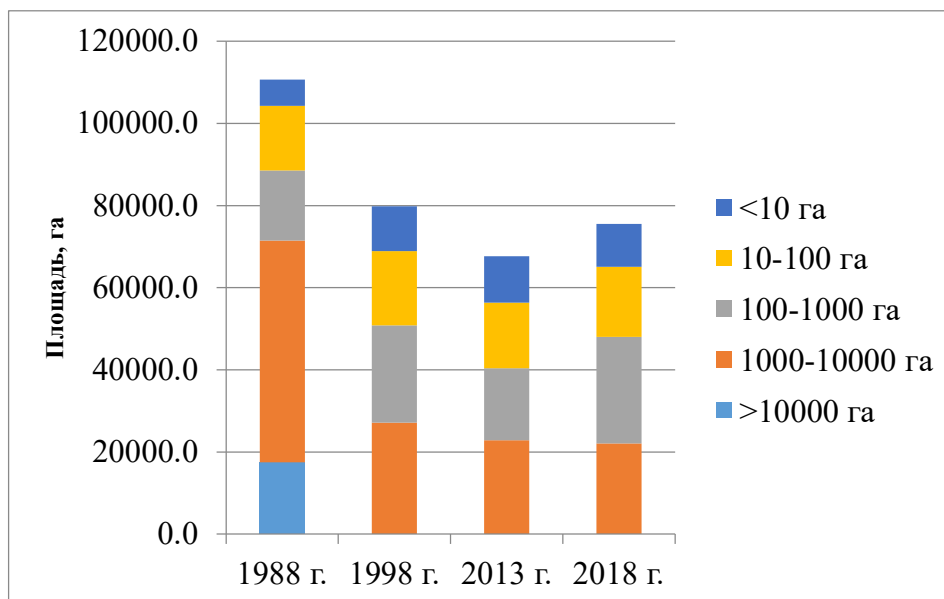
**Рисунок 3.** Скорости изменения площади мангров в дельте Меконга

Строительство дамб, окаймляющих все берега южных провинций, сильнее всего нарушило структуру растительности именно верхних отделов мангров. Эти дамбы, как правило, служат границей распространения мангровых зарослей в сторону берега, за дамбами расположены сельскохозяйственные угодья. В результате из природной зональности мангрового пояса выпадает самый верхний, супралиторальный отдел, характеризующийся наибольшим флористическим разнообразием. На дамбе мангры нижних поясов сменяются рудеральной растительностью (в первую очередь – *Pluchea indica*) и посадками культурных растений. Из видов природной мангровой флоры здесь встречаются виды *Thespessia*, *Derris* и *Hibiscus*, реже *Excoecaria agallocha*, *Acanthus iburnaceus*, виды *Acrostichum*. Они не образуют зарослей, а представлены, как правило, единичными растениями. Тем не менее, выявленные участки сохранявшихся на протяжении последних 30 лет мангровых зарослей дают хорошую основу для сравнительного изучения мангровых лесов и разработки подходов к их сохранению.

Сравнение данных спутниковых съемок с тридцатилетним интервалом (1988–2018 гг., **раздел 4.4**) показывает, что фрагментация лесных массивов существенно увеличилась (рис. 4). По сравнению с 1988 годом, в 2018 году непрерывные массивы площадью более 10 тыс. га полностью исчезли. Около

70% мангровой растительности в 2018 году приходилось на долю фрагментов, не превышающих 1000 га. Доля небольших фрагментов мангровой растительности (менее 100 га) увеличилась с 20% в 1988 году до 36% 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 6,3 тыс. га до 10,3 тыс. га, с 5,7% до 14% за 30 лет. Наиболее интенсивно фрагментация мангров происходила в период между 1988 и 1998 годами. В это время исчезли наиболее крупные непрерывные массивы мангровых лесов площадью более 10 тыс. га и существенно сократилась общая площадь участков размером от 1 000 до 10 000 га. К 1998 году заметно увеличилась доля самых мелких фрагментов, менее 10 га.

Дальнейшее сокращение площади мангров в 1998–2013 гг. пропорционально затронуло участки любой площади, соотношение площадей фрагментов заметно не изменилось, уменьшилась лишь доля фрагментов 100–1000 га. Увеличение площади мангровой растительности в последние годы происходило тоже за счет участков средних размеров – от 100 до 1000 га, их площадь выросла на 8,4 тыс. га, а доля в общем покрытии мангров – с 26 до 34%. Доля самых мелких фрагментов сократилась от 17 до 14%. Таким образом, положительные изменения в мангровых лесах дельты Меконга в последние годы относятся не только к увеличению площади мангров, но проявляются и в некотором снижении степени их фрагментированности. Однако сами леса в настоящее время фрагментированы гораздо сильнее, чем тридцать лет назад, и самые крупные массивы леса утрачены.



**Рисунок 4.** Изменение суммарной площади и фрагментация мангров: соотношение участков разной площади по годам

В **Заключении** сформулированы основные научные результаты и **выводы** работы:

1. Площадь мангровой растительности в семи прибрежных провинциях дельты Меконга по данным спутниковой съемки на 2018 год составила 75 507 га, за тридцать лет произошло сокращение суммарной площади мангровых зарослей на 35 141 га, или на 32% от площади в 1988 году. Средняя скорость исчезновения мангров за тридцатилетний период составляла 1,1 тыс. га в год.

2. Анализ динамики мангров по меньшим интервалам времени показал, что отрицательный тренд сменился в 2013 г. положительным. С 2013 по 2018 гг. площадь мангров увеличилась на 7,8 тыс. га. Для всего побережья дельты Меконга впервые зафиксировано качественное изменение динамики мангров: переход от отрицательного тренда к положительному.

3. Высокая скорость деградации мангров (6,3 тыс. га/год) в период 1988–1998 гг. не компенсировалась восстановлением (3,2 тыс. га /год), суммарные потери в этот период максимальны. На рубеже веков процесс деградации мангровых лесов замедлился, а к 2018 году скорость исчезновения мангров упала до 2,4 тыс. га в год.

4. Скорость восстановления мангров в период с 1988 по 2013 гг. составляла 2,2–3,2 тыс. га в год и не компенсировала их убыли. Двукратное увеличение скорости восстановления мангров в период 2013–2018 гг. на фоне снижения скорости деградации привело к перелому тенденции и увеличению суммарной площади мангров в регионе.

5. Основными выявленными причинами сокращения мангровой растительности за весь исследованный период явилось замещение мангров прудами аквакультуры и абразия берегов. Восстановление мангров происходит за счет зарастания прудов аквакультуры, перехода к совмещенным мангрово-креветочным культурам и появлению новых мангровых зарослей на аккумулятивных берегах.

6. Процессы деградации и восстановления мангров пространственно разобщены: на одних участках побережья преобладают процессы деградации мангровой растительности, на других наблюдается увеличение ее площади. Также разобщены пространственно и ведущие факторы положительной и отрицательной динамики мангров: на одних участках преобладает трансформация мангров в аквакультуру, на других – деградация за счет абразии, на третьих – формирование пионерной мангровой растительности на аккумулятивных формах, на четвертых – восстановление мангров и создание креветочно-мангровых хозяйств на месте прудов аквакультуры.

7. Сопоставление серий карт мангровой растительности за 1988, 1998, 2013 и 2018 годы позволило выявить участки устойчиво сохраняющейся мангровой растительности. Суммарная площадь стабильных контуров мангровой растительности составила 16 693,7 га, или 22% от площади мангров в 2018 году.

### **Благодарности.**

Автор благодарен руководству и сотрудникам кафедры Нелинейной термодинамики океана МФТИ и ее заведующему проф. В.В. Жмуру за предоставленную возможность обучения на кафедре, постоянное внимание и поддержку. Автор признателен сотрудникам Лаборатории экологии прибрежных донных сообществ за интерес к работе и плодотворные обсуждения результатов исследования. Автор благодарен Д.В. Добрынину за постоянное внимание к работе, за консультации, критические замечания при обработке результатов и, отдельно, за помощь и участие в экспедиционных исследованиях. Отдельная благодарность – зав. каф. Географии Университета г. Донхап Фунг Тхай Зыонгу, оказавшему большую помощь в экспедиционном этапе работы. Автор благодарен научному руководителю В. О. Мокиевскому за постоянное внимание к работе и помощь. На экспедиционном этапе исследований большую помощь в работе оказывали жители прибрежных провинций и, особенно, учителя местных школ.

### **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

*Статьи в рецензируемых журналах:*

(\* - Список ВАК, <sup>1</sup> – РИНЦ)

1. **Тон Шон**, Добрынин Д.В., Мокиевский В.О. Мангровые леса дельты Меконга (Вьетнам): изменения площади и пространственного распределения за 30 лет // Известия РАН. Серия географическая<sup>\*,1</sup>. 2020. Т. 84. № 4. С. 530–540.

2. Мокиевский В.О., **Тон Шон**, Добрынин Д.В. Динамика мангров дельты Меконга (Вьетнам): от деградации к восстановлению // Доклады Академии наук. Науки о Земле<sup>\*,1</sup>. 2020. Т. 94. № 1. С. 83–86.

3. **Тон Шон**, Добрынин Д.В., Мокиевский В.О. Изменение пространственной структуры мангрового леса полуострова Камау (Южный Вьетнам) за 30 лет по данным спутниковой съемки // Экосистемы: экология и динамика<sup>1</sup>. 2020. Т. 4. № 2. С. 82–95.

4. **Тон Шон**, Тринь Фи Хоань, Добрынин Д.В., Мокиевский В.О. Применение ГИС и спутниковых снимков для оценки изменений площади мангровых лесов в провинции Чавинь в период 1988-2018 гг. [*Ứng dụng ảnh viễn thám Landsat và công nghệ GIS đánh giá biến động diện tích rừng ngập mặn tỉnh Trà Vinh giai đoạn 1988-2018*] // Научный журнал Хошиминского городского университета образования (Вьетнам) - *Tạp chí khoa học Trường ĐHSP TP. HCM*. 2020. Т.17. № 6. С. 562–574 (на вьет. яз.).

5. Фунг Тхай Зыонг, **Тон Шон**. Оценка изменений в мангровых лесах в провинции Кьензанг по спутниковым снимкам в период 1988-2018 гг. [*Đánh giá biến động rừng ngập mặn tỉnh Kiên Giang trên cơ sở ảnh vệ tinh giai đoạn 1988-2018*] // Научно-технический журнал университета Тхай Нгуен Вьетнама - *Tạp chí khoa học và công nghệ Trường ĐH Thái Nguyên*. 2020. Т. 225. № 06. С.141–148. была опубликована онлайн <http://jst.tnu.edu.vn/jst/article/view/2937/pdf> (на вьет. яз.).

*Статьи в сборниках трудов конференций:*

6. **Тон Шон**, Добрынин Д.В., Мокиевский В.О. Изменение площади и пространственного распределения мангровых лесов на юге Вьетнама по данным съемок Ландсат за 30 лет // В сборнике: Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2019). Материалы XVI Всероссийской научно-технической конференции<sup>1</sup>. 2019. С. 286–288.

7. **Тон Шон**, Добрынин Д.В., Мокиевский В.О. Динамика мангровой растительности дельты Меконга (Вьетнам) по данным спутниковой съемки // В сборнике: Морские исследования и образование (MARESEDU-2018). Труды VII Международной научно-практической конференции<sup>1</sup>. Сборник. 2019. С. 447–450.

8. **Тон Шон**, Фунг Т.З., Добрынин Д.В., Мокиевский В.О. Обзор результатов исследований мангровых лесов в дельте Меконга (Вьетнам) // В сборнике: VI Международная научно-практическая конференция "Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы"<sup>1</sup>. 2019. С. 232–239.